



MÁSTER OFICIAL EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO
DE SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN
EL ÁMBITO INDUSTRIAL

Autor: Álvaro González García

Directora: María Romero Cuadrado

Madrid

Agosto de 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO DE SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN
EL ÁMBITO INDUSTRIAL en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro González García Fecha: 22/ 08/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto

Fdo.: María Romero Cuadrado Fecha: 30/08/22



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER OFICIAL EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO
DE SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN
EL ÁMBITO INDUSTRIAL

Autor: Álvaro González García

Directora: María Romero Cuadrado

Madrid

Agosto de 2022

CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO DE SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EN EL ÁMBITO INDUSTRIAL

Autor: Álvaro González García.

Directora: María Romero Cuadrado

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

Este Trabajo Final de Máster se titula “Creación de un índice sintético de sostenibilidad medioambiental en el ámbito industrial”, y trata sobre la creación mediante un modelo cuantitativo de un índice que permita la asignación de una unidad de medida a los bienes ambientales. En muchas ocasiones valorar económicamente la sostenibilidad de una empresa cuenta con una complejidad elevada, ya que lleva asociado componente de subjetividad que influye en el resultado y es difícil de eliminar. Contrastando el concepto de sostenibilidad de forma empírica, este trabajo pretende eliminar esta componente subjetiva mediante una técnica cuantitativa. De la misma forma, busca valorar los bienes medioambientales, permitiendo evaluar el impacto de la sostenibilidad en el coste global de la empresa.

Lo verdaderamente novedoso de este trabajo es el hecho de emplear un método científico basado meramente en los datos disponibles. En lugar de conseguir una unidad de medida a partir de valoraciones subjetivas de los usuarios como puede ser mediante el empleo de encuestas, se seleccionarán una serie de indicadores de impacto ambiental (emisión de gases, consumo de energía y agua, inversión social, formación de empleados...), a partir de los cuales se generará el índice a través de un modelo matemático. Una vez generado, el centro decisor solo deberá introducir sus preferencias para así dar con el esquema que se corresponde con cada empresa.

Palabras clave: Sostenibilidad, Indicador, Índice, Técnica cuantitativa.

2. Definición del proyecto

Teniendo en cuenta el objetivo previamente descrito, es importante planear la estructura que va a tener el proyecto y que pasos se van a llevar a cabo para lograr la consecución de los objetivos establecidos. Para ello, se dividirá en una serie de secciones en función de la parte que traten y de esta forma poder descomponer un problema grande en una serie de paquetes de menos tamaño que tratan fases diferentes del proceso.

La primera sección será la introducción, en la que se presentará el proyecto, dando sus características y retos. A esto se le suma establecer los objetivos, ya que es necesario establecer un marco claro y unos criterios de aceptación que establecerán cual sería un proyecto exitoso, que se conseguiría al cumplir con estos objetivos. Por último, pero no menos importante, se enumerarán las motivaciones personales que han dado lugar a la elección de este trabajo.

A continuación, viene la sección de antecedentes. Es una parte muy importante del trabajo ya que se evalúa el estado del arte y la situación actual del proyecto. Se comenzará por definir el marco teórico de la sostenibilidad, indicando los conceptos existentes hoy en día en cuanto a los requisitos para las empresas y las expectativas de desarrollo sostenible esperadas para el futuro. Por otro lado, se analizarán tanto las técnicas cuantitativas como las cualitativas que son empleadas hoy en día para evaluar la sostenibilidad medioambiental de una corporación. Es de suma importancia entender cuál es la situación actual para la valuación de bienes para fijar un punto de partida para nuestro proyecto.

La tercera sección engloba la preparación de la creación del índice sintético. Esto quiere decir establecer los indicadores que se van a utilizar para la valoración y la elección de la metodología para saber qué se va a hacer con estos datos de partida para obtener los resultados esperados.

La siguiente sección es la propia creación del índice de una manera genérica, es decir, sin el empleo de datos reales y ejemplos. En este apartado se explicará el proceso que van a sufrir los indicadores desde su obtención hasta la creación del índice. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Tratamiento de datos
- Análisis multivariante
- Normalización de los datos
- Ponderación de los indicadores simples
- Agregación de los indicadores simples

La última sección es probablemente la más importante, y es la conclusión. Determinará si los objetivos han sido cumplidos y si es así, de qué forma. Un buen análisis y una buena interpretación de los resultados numéricos son básicos para poder establecer las líneas de investigación futuras y la aplicabilidad de este proyecto.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para el caso práctico, es necesario tratar los datos reales de las empresas y así llegar al índice que representará como de sostenible es la empresa. Debido a esta razón se debe hacer uso de un software estadístico que permita obtener la información que nos sea útil.

El software que se va a emplear es MATLAB por diversas razones:

- Está muy extendido en el ámbito científico y matemático por lo que puede ser entendido e implementado con relativa facilidad
- Es un software con el que se ha trabajado durante la realización del máster y por lo tanto existe una alta familiarización.
- MATLAB destaca por la rapidez y sencillez de su código, lo que hace más fácil trabajar con él y transmitir la información de manera más clara y concisa.

MATLAB será de gran utilidad en la fase final del trabajo en las que hay que manejar datos concretos y analizarlos estadísticamente como en la imputación de datos faltantes, el análisis multivariante o la agregación.

4. Resultados

Los resultados referentes al indicador sintético para las cuatro empresas es el siguiente:

<i>Indicadores</i>	<i>Iberdrola</i>	<i>Orsted</i>	<i>Atlantica</i>	<i>Engie</i>
<i>Valor</i>	-0,0417	0,8853	-0,4019	-0,4416

Que ordenadas las empresas por lo sostenibles que son en cuanto el indicador creado:

<i>Empresas</i>	<i>Posición</i>	<i>Valor</i>
<i>Orsted</i>	1	0,8853
<i>Iberdrola</i>	2	-0,0417
<i>Atlantica</i>	3	-0,4019
<i>Engie</i>	4	-0,4416

Como se puede observar, los resultados indican que la empresa con una mayor nota en cuanto a sostenibilidad es Orsted, seguida de Iberdrola, Atlantica y en último lugar Engie.

Esto se comparará con los resultados del estudio realizado por *Corporate Knights*, en el que se hacía su propio orden. En este estudio, referente al año 2022, estas empresas se posicionaron en el siguiente orden (de las 100 analizadas):

<i>Empresas</i>	<i>Posición</i>	<i>Nota</i>
<i>Orsted</i>	7	A-
<i>Atlantica</i>	8	A-
<i>Engie</i>	23	B+
<i>Iberdrola</i>	25	B+

Comparando en una misma tabla los resultados de este trabajo con los del estudio:

<i>Empresas</i>	<i>Posición trabajo</i>	<i>Posición estudio</i>
<i>Orsted</i>	1	1
<i>Atlantica</i>	3	2
<i>Engie</i>	4	3
<i>Iberdrola</i>	2	4

5. Conclusiones

Como se puede observar en el apartado anterior, la primera conclusión que se puede extraer es que el modelo creado en este trabajo ha dado un resultado parecido al estudio de *Corporate Knights*. Sólo difieren en la empresa Iberdrola, que en nuestro caso ha puntuado como la segunda más sostenible, pero en el informe original es la tercera de las cuatro estudiadas y en la posición 25 global.

Una pregunta final que debe ser planteada es: ¿de qué forma se puede expandir esta área de estudio o cómo se puede continuar mejorando la creación del índice de forma que sea más preciso, fiable y elimine aún más la componente subjetiva presente en los indicadores de hoy en día de forma que se valore de forma más eficiente la sostenibilidad de las empresas?

Para responder a esto es necesario ver los mayores puntos débiles y así poder enfocar las partes de este proyecto en las que existe un margen de mejora.

De esta forma, la parte que representa un terreno en el que poder seguir evolucionando es la ponderación. La razón detrás de esto es que a pesar de a ver empleado una ponderación estadística basada en el Proceso Analítico Jerárquico se sigue necesitando establecer la relación en cuanto a la importancia entre los diferentes indicadores. Éste es el primer paso del proceso que se vio en la sección IV, y que requería la creación de una matriz que relacionase entre sí los diez indicadores. Para esto el centro decisor tenía que decidir sobre el peso relativo entre los pares de indicadores y mediante una transformación llegar al peso relativo global de cada indicador.

De esta forma sería interesante encontrar una forma de no tener que decidir sobre la importancia de los indicadores iniciales, aunque a decir verdad es una tarea difícil. Al final la sostenibilidad es un término muy extenso que engloba muchos parámetros, definiciones y conceptos por lo que a la hora de definir algo como sostenible es necesario situar el caso en un correcto marco teórico que explique de qué forma. Puede que una investigación de sostenibilidad haga un enfoque en el ámbito social y establezca que los parámetros más relevantes de una corporación son aquellos relacionados con este ámbito como puede ser la inclusión de minorías o la igualdad de sueldos entre géneros, mientras que por ejemplo en nuestro caso al medir sostenibilidad ambiental se ha asignado un peso mayor a variables como la productividad del CO₂ o la del agua.

Por otro lado, uno de los descubrimientos de este trabajo es la cantidad de posibles combinaciones posibles entre metodologías que pueden resultar en un exitoso indicador compuesto.

Para cada paso en su creación, se han evaluado en el capítulo IV numerosas formas de analizar los datos. Tanto para el análisis multivariante, como para la normalización, ponderación y agregación existen numerosas formas de tratar con los datos. Y cabe decir que no hay procedimientos más correctos que otro. Cada uno cuenta con ventajas y desventajas asociadas. Puede que una metodología simplifique los resultados y haga más sencillo su análisis, pero a costa de una menor precisión, por ejemplo.

Con esto mente, sería interesante seguir investigando las diferentes posibilidades y combinaciones a la hora de crear un indicador compuesto. El campo es muy extenso y hay una infinidad de metodologías resultantes que se pueden dar. Como curiosidad, cogiendo las partes de imputación de datos faltantes, análisis multivariante, normalización, ponderación y agregación y asumiendo que hay cinco posibles formas para cada una (siendo conservador ya que existen más para cada etapa), empleando la combinatoria se llegaría a un total de:

$$\text{Combinaciones} = 5^5 = 3125$$

Por lo que habría 3125 formas diferentes de crear un índice sintético variando la metodología.

CONSTRUCTION OF A SYNTHETIC INDEX OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN THE INDUSTRIAL SPHERE

Author: Álvaro González García.

Supervisor: María Romero Cuadrado

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

ABSTRACT

1. Introduction

This Master's thesis is entitled "Creation of a synthetic index of environmental sustainability in the industrial field", and deals with the creation, by means of a quantitative model, of an index that allows the assignment of a unit of measurement to environmental goods. In many cases, economically assessing the sustainability of a company is highly complex, as it is associated with a component of subjectivity that influences the result and is difficult to eliminate. By contrasting the concept of sustainability empirically, this work aims to eliminate this subjective component using a quantitative technique. In the same way, it seeks to value environmental goods, allowing the impact of sustainability on the overall cost of the company to be assessed.

What is truly novel about this work is the fact that it employs a scientific method based purely on available data. Instead of obtaining a unit of measurement based on subjective assessments by users, such as using surveys, a series of environmental impact indicators will be selected (gas emissions, energy and water consumption, social investment, employee training, etc.), from which the index will be generated by means of a mathematical model. Once generated, the decision-making center will only have to enter its preferences to find the scheme that corresponds to each company.

Keywords: Sustainability, Indicator, Index, Quantitative technique.

2. Definition of the project

Considering the previously described objective, it is important to plan the structure of the project and the steps to be carried out to achieve the established objectives. To do this, it will be divided into a series of sections depending on the part that they deal with and in this way be able to break down a large problem into a series of smaller packages that deal with different phases of the process.

The first section will be the introduction, in which the project will be presented, giving its characteristics and challenges. This is followed by setting the objectives, as it is necessary to establish a clear framework and acceptance criteria that will establish what a successful project would look like, what would be achieved by meeting these objectives. Last but not least, the personal motivations that have led to the choice of this work will be listed.

Next comes the background section. This is a very important part of the paper as it assesses the state of the art and the current situation of the project. It will start by defining the theoretical framework of sustainability, indicating the concepts existing today in terms of requirements for companies and the expectations of sustainable development expected for the future. On the other hand, both quantitative and qualitative techniques that are used today to assess the environmental sustainability of a corporation will be analyzed. It is of utmost importance to understand what the current situation is for asset valuation to set a starting point for our project.

The third section covers the preparation of the creation of the synthetic index. This means establishing the indicators to be used for the assessment and the choice of methodology to know what to do with these starting data to obtain the expected results.

The next section is the actual creation of the index in a generic way, i.e., without the use of real data and examples. This section will explain the process that the indicators will undergo from their collection to the creation of the index. The steps to be followed are as follows:

- Data processing
- Multivariate analysis
- Normalization of the data
- Weighting of simple indicators
- Aggregation of the simple indicators

The last section is probably the most important, and that is the conclusion. It will determine whether the objectives have been met and if so, in what way. A good analysis and a good interpretation of the numerical results are basic to be able to establish future lines of research and the applicability of this project.

3. Description of the model/system/tools

For the practical case, it is necessary to treat the real data of the companies to arrive at the index that will represent how sustainable the company is. For this reason, it is necessary to make use of statistical software that allows us to obtain useful information.

The software to be used is MATLAB for several reasons:

- It is very widespread in the scientific and mathematical field and can therefore be understood and implemented relatively easily.
- It is a software with which we have worked during the master's degree and therefore there is a high degree of familiarity with it.
- MATLAB stands out for the speed and simplicity of its code, which makes it easier to work with and to transmit information more clearly and concisely.

MATLAB will be very useful in the final phase of the work in which specific data must be handled and analyzed statistically, such as in the imputation of missing data, multivariate analysis, or aggregation.

4. Results

The results for the synthetic indicator for the four companies are as follows:

<i>Indicators</i>	<i>Iberdrola</i>	<i>Orsted</i>	<i>Atlantica</i>	<i>Engie</i>
<i>Value</i>	-0,0417	0,8853	-0,4019	-0,4416

Which companies are ranked by how sustainable they are in terms of the indicator created:

<i>Companies</i>	<i>Position</i>	<i>Value</i>
<i>Orsted</i>	1	0,8853
<i>Iberdrola</i>	2	-0,0417

<i>Atlantica</i>	3	-0,4019
<i>Engie</i>	4	-0,4416

As can be seen, the results indicate that the company with the highest score for sustainability is Orsted, followed by Iberdrola, Atlantica and lastly Engie.

This will be compared with the results of the study conducted by Corporate Knights, which did its own ranking. In this study, referring to the year 2022, these companies were positioned in the following order (out of the 100 analysed):

<i>Companies</i>	<i>Position</i>	<i>Score</i>
<i>Orsted</i>	7	A-
<i>Atlantica</i>	8	A-
<i>Engie</i>	23	B+
<i>Iberdrola</i>	25	B+

Comparing the results of this work with those of the study in the same table:

<i>Companies</i>	<i>Position thesis</i>	<i>Position study</i>
<i>Orsted</i>	1	1
<i>Atlantica</i>	3	2
<i>Engie</i>	4	3
<i>Iberdrola</i>	2	4

5. Conclusions

As can be seen in the previous section, the first conclusion that can be drawn is that the model created in this work has given a similar result to the Corporate Knights study. The only difference is in the Iberdrola company, which in our case has scored as the second most sustainable, but in the original report it is the third of the four companies studied and in 25th position overall.

A final question that must be asked is: how can this area of study be expanded or how can the creation of the index be further improved so that it is more accurate, reliable and further eliminates the subjective component present in today's indicators in order to more efficiently assess the sustainability of companies?

In order to answer this question, it is necessary to look at the major weaknesses in order to focus on the parts of this project where there is room for improvement.

In this way, the part that represents an area for further development is weighting. The reason behind this is that despite the use of statistical weighting based on the Analytical Hierarchical Process, it is still necessary to establish the relationship in terms of importance between the different indicators. This is the first step in the process discussed in section IV, which required the creation of a matrix relating the ten indicators to each other. For this, the decision-making center had to decide on the relative weight between the pairs of indicators and by means of a transformation arrive at the overall relative weight of each indicator.

In this way it would be interesting to find a way of not having to decide on the importance of the initial indicators, although this is a difficult task. In the end, sustainability is a very broad term that encompasses many parameters, definitions, and concepts, so when defining something as sustainable it is necessary to place the case in a correct theoretical framework that explains in what way. Sustainability research may focus on the social sphere and establish that the most relevant parameters of a corporation are those related to this sphere, such as the inclusion of minorities or equal pay for men and women, whereas in our case, for example, when measuring environmental sustainability, greater weight has been given to variables such as CO₂ or water productivity.

On the other hand, one of the discoveries of this work is the number of possible combinations of methodologies that can result in a successful composite indicator.

For each step in its creation, numerous ways of analyzing the data have been evaluated in section IV. For multivariate analysis, as well as for normalization, weighting and aggregation, there are numerous ways of dealing with the data. And it must be said that there is no one procedure that is more correct than another. Each has advantages and disadvantages associated with it. One methodology may simplify your results and make them easier to analyze, but at the cost of lower precision, for example.

With this in mind, it would be interesting to further investigate the different possibilities and combinations when creating a composite indicator. The field is vast and there are an infinite number of resulting methodologies that can be used. As a curiosity, taking the parts of missing data imputation, multivariate analysis, normalization, weighting, and aggregation and assuming that there are five possible ways for each (being conservative as there are more for each stage), using combinatorics would lead to a total of:

$$\text{Combinations} = 5^5 = 3125$$

So, there would be 3125 different ways to create a synthetic index by varying the methodology.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 MOTIVACIÓN.....	4
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES.....	6
2.1. INTRODUCCIÓN A LA SECCIÓN II.....	7
2.2. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.....	8
2.2.1 EL INFORME BRUNTLAND	9
2.2.2 COMISIÓN DE LA ONU PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	10
2.2.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	11
2.2.4 LA SOSTENIBILIDAD EN EL ÁMBITO EMPRESARIAL: LA RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA (RSC).....	13
2.3. CARÁCTER DE LA TÉCNICA.....	18
2.3.1 TÉCNICAS DE CARÁCTER CUALITATIVO.....	18
2.3.2 TÉCNICAS DE CARÁCTER CUANTITATIVO	34
2.3.3 CONCLUSIONES.....	40
CAPÍTULO III: PREPARACIÓN.....	41
3.1 INTRODUCCIÓN A LA SECCIÓN III.....	42
3.2 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES	42
3.3. SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA	46
3.3.1 AGREGACIONES SIMPLES	48
3.3.2 MÉTODOS PARTICIPATIVOS	49
3.3.3 TÉCNICAS DE ANALISIS MULTIVARIANTE.....	49
3.3.4 INDICADORES BASADOS EN DISTANCIAS	50
3.3.5 TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO.....	51
3.3.6 CONCLUSIONES.....	52
CAPÍTULO IV: CREACIÓN DEL ÍNDICE	54

4.1 INTRODUCCIÓN A LA SECCIÓN IV	55
4.2 TRATAMIENTO DE DATOS	55
4.2.1 IMPUTACIÓN DE DATOS FALTANTES	55
4.2.2 DETECCIÓN DE VALORES ATÍPICOS	58
4.3. ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	58
4.3.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	58
4.4. NORMALIZACIÓN DE VARIABLES	60
4.4.1 RANKING	61
4.4.2 STANDARIZACIÓN (MÉTODO Z-SCORE)	61
4.5 PONDERACIÓN	62
4.5.1 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)	63
4.6. AGREGACIÓN	64
CAPÍTULO V: CASO PRÁCTICO	65
5.1 INTRODUCCIÓN A LA SECCIÓN V.....	66
5.2 SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	66
5.3 CREACIÓN DEL ÍNDICE SINTÉTICO	68
5.3.1 TRATAMIENTO DE DATOS	68
5.3.2 ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	71
5.3.3 NORMALIZACIÓN DE LOS INDICADORES	75
5.3.4 PONDERACIÓN	76
5.3.5 AGREGACIÓN.....	79
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	83
6.1 INTRODUCCIÓN A LA SECCIÓN VI	84
6.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	84
6.3 POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	86
ANEXO A: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	88
ANEXO B: CÓDIGO PARA LA IMPUTACIÓN DE DATOS FALTANTES.....	91
ANEXO C: CÓDIGO PARA EL ANÁLISIS MULTIVARIANTE.....	93
ANEXO D: CÓDIGO PARA LA NORMALIZACIÓN.....	95
ANEXO E: CÓDIGO PARA LA PONDERACIÓN Y AGREGACIÓN	96
BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Diagrama de Venn del desarrollo sostenible.....	10
Ilustración 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	12
Ilustración 3: Pirámide de la RSC. Fuente: Carroll (1991)	14
Ilustración 4: Fases del Choice Modelling	30
Ilustración 5: Ejemplo de función de transformación para el parámetro paro.....	37
Ilustración 6: Imputación por media.....	57
Ilustración 7: Empresas seleccionadas para el caso de estudio	67
Ilustración 8: Recta de ajuste	69
Ilustración 9: Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fases del modelo de valoración contingente.....	23
Tabla 2: Ejemplo de tabla de parámetros del método Batelle-Collumbus	36
Tabla 3: Objetivos e Indicadores de Naciones Unidas	45
Tabla 4: Unidades de los indicadores.....	46
Tabla 5: Ventajas y desventajas de los indicadores compuestos	47
Tabla 6: Valores para las relaciones entre variables.....	63
Tabla 7: Datos de las cuatro empresas analizadas	68
Tabla 8: Datos de las cuatro empresas tras la imputación.....	70
Tabla 9: Matriz transformada	71
Tabla 10: Matriz de Covarianza	72
Tabla 11: Matriz de Autovectores.....	72
Tabla 12: Matriz de Autovalores.....	72
Tabla 13: Primer componente principal.....	74
Tabla 14: Valores para las relaciones entre variables.....	77
Tabla 15: Matriz de los indicadores	77
Tabla 16: Matriz normalizada	78
Tabla 17: Ponderación para cada indicador	79
Tabla 18: Matriz normalizada y ponderada.....	80
Tabla 19: Función objetivo para los indicadores	81
Tabla 20: Matriz tras aplicar la función objetivo	81
Tabla 21: Valores de sostenibilidad	82
Tabla 22: Valores de sostenibilidad	84
Tabla 23: Orden de las empresas según su sostenibilidad.....	84
Tabla 24: Posición y nota de las empresas según Corporate Knights.....	85
Tabla 25: Comparación de posiciones obtenidas y observadas	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula de la función de utilidad	28
Ecuación 2: Probabilidad elección m	29
Ecuación 3: Fórmula de la unidad de impacto ambiental	37
Ecuación 4: Puntuación RIAM.....	39
Ecuación 5: Fórmula de la agregación simple	48
Ecuación 6:Fórmula de las ponderaciones por métodos participativos	49
Ecuación 7: Fórmula para obtener las componentes principales.....	50
Ecuación 8: Fórmula para indicadores basados en distancias.....	51
Ecuación 9: Fórmula de la media no condicional	57
Ecuación 10: Matriz de datos para el análisis de componentes principales	59
Ecuación 11: Matriz de covarianza muestral de los datos	59
Ecuación 12: Matriz de correlaciones	59
Ecuación 13: Fórmula para el cálculo de r_{ij}	59
Ecuación 14: Representación de las componentes principales.....	59
Ecuación 15: Forma matricial de las componentes principales.....	60
Ecuación 16: Fórmula que relaciona los atuovalores con las desviaciones típicas.....	60
Ecuación 17: Fórmula para el uso del método Ranking.....	61
Ecuación 18: Fórmula de normalización según los Z-Score.....	61
Ecuación 19: Fórmula de agregación simple	64
Ecuación 20: Ecuación para la normalización.....	75

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Final de Máster se titula “Creación de un índice sintético de sostenibilidad medioambiental en el ámbito industrial”, y trata sobre la creación mediante un modelo cuantitativo de un índice que permita la asignación de una unidad de medida a los bienes ambientales. En muchas ocasiones valorar económicamente la sostenibilidad de una empresa cuenta con una complejidad elevada, ya que lleva asociado componente de subjetividad que influye en el resultado y es difícil de eliminar. Contrastando el concepto de sostenibilidad de forma empírica, este trabajo pretende eliminar esta componente subjetiva mediante una técnica cuantitativa. De la misma forma, busca valorar los bienes medioambientales, permitiendo evaluar el impacto de la sostenibilidad en el coste global de la empresa.

Lo verdaderamente novedoso de este trabajo es el hecho de emplear un método científico basado meramente en los datos disponibles. En lugar de conseguir una unidad de medida a partir de valoraciones subjetivas de los usuarios como puede ser mediante el empleo de encuestas, se seleccionarán una serie de indicadores de impacto ambiental (emisión de gases, consumo de energía y agua, inversión social, formación de empleados...), a partir de los cuales se generará el índice a través de un modelo matemático. Una vez generado, el centro decisor solo deberá introducir sus preferencias para así dar con el esquema que se corresponde con cada empresa.

1.1 MOTIVACIÓN

Hay diversas razones por las que se ha escogido este proyecto como Trabajo Final del Máster. En primer lugar, considero que el tema es altamente interesante y del que puedo aprender mucho. Es el único gran reto al que me enfrentaré antes de adentrarme en la vida laboral, por lo que es de suma importancia absorber todo el conocimiento posible y desarrollarme tanto como persona, cómo como profesional.

En segundo lugar, creo que plantea solucionar un problema real y que se puede observar. En las últimas décadas ha aumentado una concienciación por parte de la sociedad de tratar de cuidar el medio ambiente y proteger el planeta ante su creciente deterioro por diversas razones desde la época de la industrialización. El calentamiento global cada vez se hace más presente, entre otros síntomas de que a este ritmo de producción y consumo no podremos dejar un planeta decente a las generaciones venideras. Al tratar este proyecto de un tema tan relevante para esto como es la sostenibilidad de las empresas, me ha parecido una oportunidad perfecta para aportar tanto como pueda y arreglar en medida de lo posible la situación.

Además, considero que el proyecto puede conllevar una gran cantidad de retos y dificultades que pueden hacer que me desarrolle como ingeniero y, sobre todo, como profesional. Crear un índice de sostenibilidad ambiental para las empresas en el ámbito industrial no es tarea fácil, ya que requiere innovar y crear un modelo cuantitativo, algo que no se ha tratado extensamente con anterioridad, ya que históricamente se ha hecho uso de las técnicas de carácter cualitativo. Esta falta de recursos disponibles creará una

situación desfavorable y que requerirá del desarrollo de habilidades para superarla, como la creatividad debido al carácter innovativo del proyecto.

En cuarto lugar, he escogido este proyecto por combinar dos mundos que considero fascinantes y que formarán parte de mi futuro. Por un lado, el uso de un modelo cuantitativo para la creación de un índice sintético guarda estrecha relación con la carrera que he estudiado, ingeniería industrial. El trabajo con problemas complejos y números es lo que me llevo a estudiar este grado y lograr resolver una problemática es algo que siempre me ha motivado. Por otro lado, el ámbito empresarial y financiero está presente en este trabajo ya que es el campo de aplicación del índice.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Para abordar cualquier problema y encontrar una solución, es necesario fijar unos objetivos que deben tenerse presentes durante el transcurso del proyecto con el fin de tener las ideas claras y ser conscientes de a qué punto se desea llegar. De esta forma, se han marcado como metas:

- Crear un índice sintético de sostenibilidad ambiental para las empresas en el ámbito industrial: a pesar de ser bastante obvio y tratarse del título del proyecto, la base de este trabajo es poder valorar los bienes medioambientales de la manera más objetiva posible. Si este objetivo no es alcanzado, es difícil catalogar el trabajo como un éxito, aunque se alcancen el resto.
- Cumplir con los tiempos establecidos: un proyecto de semejante tamaño y complejidad requiere de un orden y una consistencia a la altura. No es realista realizar toda esta carga de trabajo en un par de meses, sino que es necesario desglosar el plan en objetivos de menor tamaño e importancia, e ir cumpliéndolos a medida que se desarrolla la tesis.
- Aprender sobre la materia: un proyecto de semejante magnitud es una oportunidad perfecta para conocer más no sólo sobre el tema de la sostenibilidad y el medio ambiente, sino también sobre los métodos que hay hasta la fecha para valorar bienes medioambientales.
- Desarrollar aptitudes: no sólo es importante profundizar en el tema que se va a tratar, sino que además es positivo mejorar aptitudes como por ejemplo la consistencia a la hora de trabajar o el trabajo en solitario, ya que a pesar de tener el trabajo en equipo una creciente influencia hoy en día también es importante saber alcanzar metas uno mismo.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO II

El primer paso que debe ser realizado antes de comenzar con la creación del índice sintético es el de llevar a cabo el estado de arte, es decir, evaluar la situación actual que hay sobre la valoración de los bienes ambientales y los diferentes métodos establecidos hasta el momento para poder cuantificar económicamente el desarrollo sostenible de una empresa en particular. Para ello se estudiará lo existente hasta el momento. A pesar de no ser un campo de actuación extenso en el que hay mucho escrito, se han desarrollado desde el siglo pasado una serie de métodos de carácter cualitativo que pretenden resolver este problema. Sin embargo, este carácter presenta numerosas desventajas, por lo que hay una demanda en alza de encontrar una manera objetiva y cuantitativa de evaluar el impacto medioambiental de una empresa, asignando medidas concretas a los parámetros que han de ser estudiados en particular para cada empresa. A continuación se explicarán y desarrollarán los aspectos más importantes que deben ser comprendidos para un mejor entendimiento del trabajo.

En primer lugar, debido a que este trabajo trata el tema de la sostenibilidad ambiental en el ámbito industrial, se deberá entender el concepto de sostenibilidad ambiental y su impacto sobre las empresas. Para ello se tendrán en cuenta determinados informes y declaraciones de entidades y organizaciones de nivel mundial, para así englobarlo en un marco teórico y tener en cuenta la visión internacional que se tiene sobre el tema evaluado. Más adelante, se analizarán los *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, para entender que parámetros son los más relevantes a la hora de alcanzar un nivel de sostenibilidad adecuada, ya que este proyecto debe ir en la misma línea que los intereses a nivel global de las entidades reguladoras.

En segundo lugar, se hará un enfoque más exhaustivo en la propia empresa o entidad que más adelante se va a evaluar, ya que uno de los objetivos de este proyecto es poder emplear de forma práctica el índice con empresas existentes en el ámbito industrial. Es por eso por lo que se profundizará en el tema de la *Responsabilidad Social Corporativa*, que acoge todo lo relevante a la actuación ética por parte de las corporaciones, siendo en este caso la responsabilidad en el ámbito del cuidado del medioambiente de gran relevancia.

Por último y como se ha comentado con anterioridad, se presentarán los métodos y formas de llegar a un índice que evalúe el impacto medioambiental de una empresa que hay hasta el momento, distinguiéndolos entre cualitativos y cuantitativos en función de la subjetividad asociada al modelo.

2.2. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Es de suma importancia entender con claridad qué se va a evaluar mediante las diferentes técnicas y cuál es el objetivo principal. Con esto en mente, se ha de definir lo que es la sostenibilidad ambiental en el ámbito de las empresas del sector industrial y como puede repercutir en el coste global de la empresa, ya que el desarrollo económico tiene diversos eslabones, siendo uno de ellos el medioambiente.

El desarrollo sostenible es planteado por primera vez en el año 1987, cuando se publicaba el informe *Informe Bruntland (Oxford University Press, 1987)*, en el que se alertaban de las posibles consecuencias medioambientales de un desarrollo industrial con una repercusión negativa en él, debidas entre otras cosas a la industrialización y al continuo crecimiento poblacional. Se definió como la eficiente utilización de recursos naturales en el ámbito productivo, con el fin de permitir su perseverancia para necesidades futuras. La sostenibilidad ambiental defiende que a naturaleza no es una fuente inagotable de recursos, sino que cuenta con unas cantidades limitadas que deben ser manejadas de forma apropiada para satisfacer las necesidades humanas. Para ello se han propuesto diferentes formas como las energías renovables, el ahorro de agua o la arquitectura sostenible.

Uno de los mayores objetivos de la sostenibilidad es concienciar a la población y fomentar una cultura que sepa las repercusiones que tienen las actividades desarrolladas por el ser humano como servicios o productos en el medio ambiente. De acuerdo con esto, es necesario un equilibrio entre promover el desarrollo económico, pero sin llegar a poner en peligro a los recursos naturales necesarios no solo para nuestra vida, sino para las de las generaciones venideras.

Para ello, son de especial interés los siguientes aspectos (Thornton 2021):

- Consumo de energía: es una prioridad hoy en día redirigir la obtención de energía de fuentes no renovables a aquellas que sean renovables. A pesar de las dificultades que todavía presentan como en el almacenamiento de su energía o la intermitencia, es necesario sacar el máximo provecho a energías como la solar, eólica o hidráulica).
- Consumo de agua: la escasez de agua dulce para el consumo humano es un problema grave que afecta a aproximadamente al 25% de la población, según la *Organización Mundial de la Salud*.
- Consumo de combustible: hoy en día la movilización de las personas y productos requiere de una gran cantidad de energía. Se intentan promover nuevas técnicas para reducirla como el *car-sharing*.
- Reciclaje: el ritmo de producción y forma de desechar los productos después de su utilización tiene un impacto perjudicial en el medio ambiente, por lo que en los últimos años ha habido un incremento en la concienciación de lo necesario que es reciclar, así como otras técnicas como reutilizar y reducir.

En España, la sostenibilidad ambiental se centra en tener una economía circular. A diferencia de la economía linear, que propone usar los productos y tirarlos, la circular se centra en reutilizar, reparar y reciclar los materiales. La *Estrategia Española de Economía Circular* tiene como intención para el año 2030 varias medidas como pueden ser lograr un mínimo desperdicio de comida en los hogares y un uso lo más eficiente posible del agua, ya que es un bien escaso.

Con el fin de establecer unas bases comunes que describan la problemática del momento y traten de abordarla mediante propuestas y objetivos, se han llevado a cabo diferentes convenciones, documentos, etc., como puede ser *El Informe Brundland* (1987) o la *Comisión de la ONU para el Desarrollo Sostenible* (2002).

2.2.1 EL INFORME BRUNTLAND

Como se ha comentado con anterioridad, el *Informe Brundland* o también llamado *Our Common Future* (Oxford University Press, 1987) fue un auténtico pionero de la sostenibilidad medioambiental, en lo que a escritos respecta. Liderado por la primera ministra noruega Gro Harlem Brundland junto a más de una decena de otros miembros de la comisión, redactaron en nombre de Naciones Unidas una crítica al modelo económico de la época y al estilo de vida de los individuos debido a su consumo desmesurado en un régimen dictado por la oferta y la demanda, que conlleva un consumo abusivo de recursos naturales para la producción de bienes que no son de primera necesidad.

Este informe ha sido desde la década de los ochenta un referente en cuanto a desarrollo sostenible. Cuenta con 383 páginas que describen una serie de restricciones y pasos a seguir para lograr un desarrollo sostenible, principalmente en el marco ecológico, aunque también en el económico y social. Se señaló que “Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible para asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”.

El informe cuenta con tres capítulos bien diferenciados (ONU, 1987). En primer lugar, presenta las preocupaciones comunes que afectan a la sociedad en su conjunto, seguido de las tareas comunes y responsabilidades que se nos atribuyen para intentar cambiar la dirección en la que se dirigía el planeta. Por último, plantea los esfuerzos que deben ser tomados para poder lograr estas tareas de forma exitosa. De forma paralela, indica una serie de objetivos que deben ser tenidos en cuenta para poder reducir el impacto medioambiental y aumentar el crecimiento económico y social, entre las que destacan:

- Promover el desarrollo económico para aliviar la pobreza: con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas, ya que la desigualdad es más propensa a acabar generando crisis sociales, económicas y medioambientales. Para ello se deben asegurar las necesidades básicas: higiene, trabajo, agua, alimentación y energía.
- Control demográfico, principalmente en cuanto a la tasa de natalidad. Este objetivo tiene como principales actuadores a los países en vías de desarrollo e intenta

equilibrar la población que reside en el planeta con los recursos disponibles en éste, para así garantizar un reparto lo más equitativo posible.

- Tener en cuenta al medio ambiente en la toma de decisiones, como por ejemplo al producir un bien, en el que se han de controlar las emisiones al exterior. Con esto en mente se deben conservar los ecosistemas y hacer un uso lo más eficiente posible de los recursos no renovables.

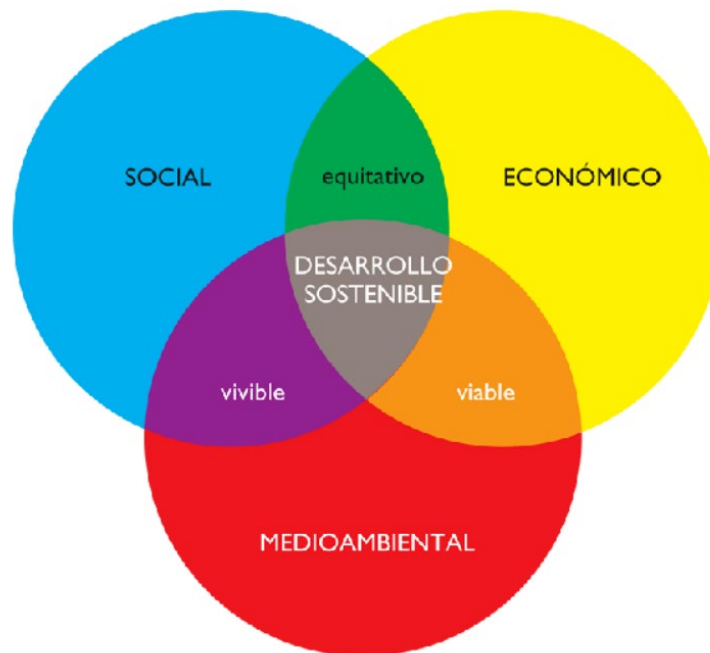


Ilustración 1: Diagrama de Venn del desarrollo sostenible

Todo esto se materializaría en la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro (*Rio de Janeiro, 1992*) con la *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Esta declaración recoge 27 principios importantes que, a pesar de no tener fuerza jurídica vinculante, busca desarrollar y reafirmar los puntos vistos en conferencias previas.

2.2.2 COMISIÓN DE LA ONU PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

En diciembre de 1992, la *Organización de Naciones Unidas* decidió crear una comisión que se encargase de implementar los principios expuestos en la *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*, mencionada en el apartado anterior. La comisión pretendía ser "*un foro excepcional de las Naciones Unidas que reúne a funcionarios públicos y representantes de muy diversos sectores de la sociedad civil para analizar y recomendar soluciones que promuevan el Desarrollo Sostenible*" (Cumbre de

la Tierra, 1992). Se encarga de transmitir directamente las directrices a los Estados miembros.

PROBLEMÁTICA Y RETOS

Lograr un desarrollo sostenible a nivel global es una hazaña de suma complejidad, que requiere de una coordinación precisa y de una voluntad a nivel mundial por el cambio y el cuidado del medio ambiente. Es por eso, que desde la creación de la comisión ha habido muchos retos y objetivos que aún están por cumplir, entre los que destacan:

- Aclarar el concepto de Desarrollo Sostenible a nivel global: A pesar de estar familiarizados con el concepto de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente en muchos de los países desarrollados, todavía hay un gran desconocimiento. Por ejemplo, entre 2015 y 2018 el 80% de los vehículos ligeros exportados en el mundo fueron destinados a países de ingresos medios y bajos, siendo la mayoría en África (ONU, 2020) y se sabe que al menos una cuarta parte de las emisiones globales son producidas por el sector del transporte, cabiendo destacar las emisiones de óxidos de Nitrógeno, responsables en gran medida de la polución urbana.
- Efectividad de las políticas nacionales: hay un gran número de problemas a la hora de delegar la educación sobre la sostenibilidad a las políticas nacionales, entre los que están la falta de fondos, la falta de compromiso o la mala orientación del personal docente. Para servir de guía a los estados, la UNESCO ha creado mecanismos de colaboración con por ejemplo las ONG.
- Mejorar la educación: no está del todo claro la diferencia entre educación para el Desarrollo Sostenible y educación sobre el Desarrollo Sostenible. Además, es necesario aumentar la inversión en educación.

2.2.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Recientemente, en el año 2015, los países líderes mundiales acordaron establecer 17 *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* con el fin de terminar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de la sociedad en un plazo de unos 15 años (ONU, 1987). Para alcanzar estas metas, se requiere que todo el mundo aporte su grano de arena, desde individuos hasta empresas y líderes mundiales. A partir de estos objetivos saldrá en el año 2030 una agenda de desarrollo sostenible para transformar nuestro mundo. A pesar de que se incluirá en el trabajo una sección para estos 17 objetivos, se presentarán brevemente a continuación debido a su relevancia.

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. Agua, industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumos responsables
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr sus objetivos



Ilustración 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible

Estos 17 objetivos se deben tener en cuenta ya que son de gran relevancia a la hora de escoger los parámetros que conformarán el modelo. Estos indicadores deben alinearse no sólo con el tema de la sostenibilidad medioambiental en el ámbito industrial, que es el tema principal del proyecto, sino también con las pautas de desarrollo que son formadas a nivel mundial y que pretenden guiar los comportamientos y acciones de los individuos y la sociedad hacia un futuro sostenible.

2.2.4 LA SOSTENIBILIDAD EN EL ÁMBITO EMPRESARIAL: LA RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA (RSC)

En los últimos años, han sucedido numerosos acontecimientos que han abierto un debate sobre la necesidad de que las empresas, las instituciones y los estados actuales mantengan una postura responsable a la hora de ejercer sus actividades, sean en el sector que sean. Esto se debe a cambios recientes que han surgido con el planeta y que conllevan respuestas drásticas para modificar el modo con el que nos desarrollamos como sociedad.

A esta necesidad de mejorar la forma en la que nos relacionamos con el planeta se le ha denominado Responsabilidad Social Corporativa (RSC). Sin embargo, sigue habiendo un debate acalorado sobre la definición exacta de la RSC y que engloba exactamente, debido a su ambigüedad y al largo abanico de ámbitos y actividades en la que se aplica. Henderson (2001) apuntaba que la responsabilidad social corporativa es demasiado amplia en cuanto al alcance que tiene para las corporaciones, ya que no hay un consenso establecido que sienta las bases de la RSC. Las pocas definiciones que han llegado a ser universales y de relevancia global han sido consideradas demasiado vagas e imprecisas para una implementación realista y con utilidad. En un estudio en el año 2006, Dahlsrud identificó aproximadamente 37 definiciones diferentes, no llegando a cubrir todas las definiciones existentes.

2.2.4.1 DEFINICIONES

William R. Avendaño (2013) señalaba que la responsabilidad social (RS) es la expresión de la ética entre el entorno y los individuos. Es por eso por lo que los criterios éticos se deben imponer al resto de criterios a la hora de tomar decisiones que puedan tener un impacto perjudicial no solo en el medio ambiente, sino en otros aspectos. A esto se le suma las expectativas que tienen diferentes grupos de interés (clientes, socios, comunidades locales...) con el objetivo de alcanzar un desarrollo ambiental y social que sea primero económicamente viable y segundo, sostenible a lo largo del tiempo.

Archie B. Carroll defendió que *“La RSE implica la realización de un negocio de manera que sea económicamente rentable, respetuoso de la ley, ético y socialmente solidario. Por tanto, ser socialmente responsable, significa que la rentabilidad y la obediencia a la ley son ante todo las condiciones para debatir la ética de la empresa y el grado en el que se apoya a la sociedad, con las contribuciones de dinero, tiempo y talento”*. Llegó a crear una pirámide que recogía los cuatro componentes o responsabilidades de la Responsabilidad Social Corporativa y que son: filantrópico, ético, legal y económico. Cabe destacar que estos componentes se deben cubrir de forma integral y no secuencial, es decir, se deben cumplir en su totalidad y conjuntamente y no uno al finalizar el anterior.

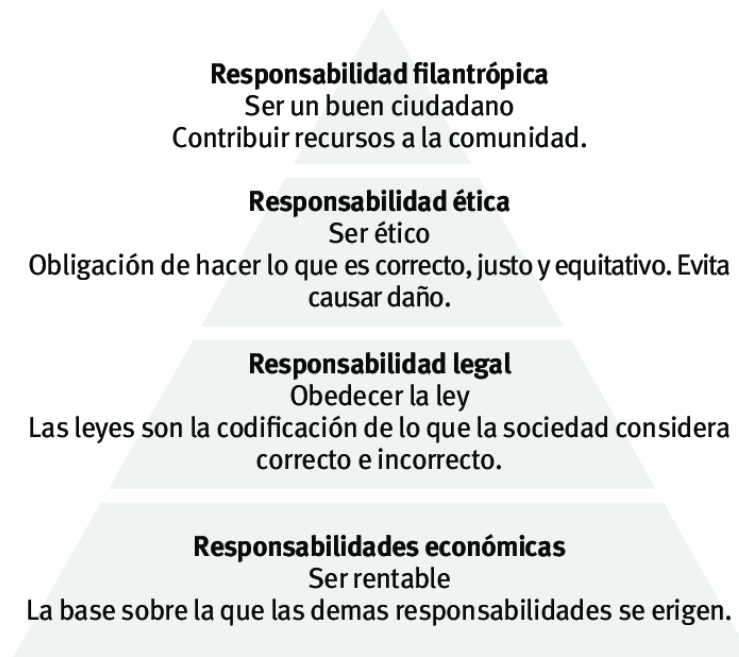
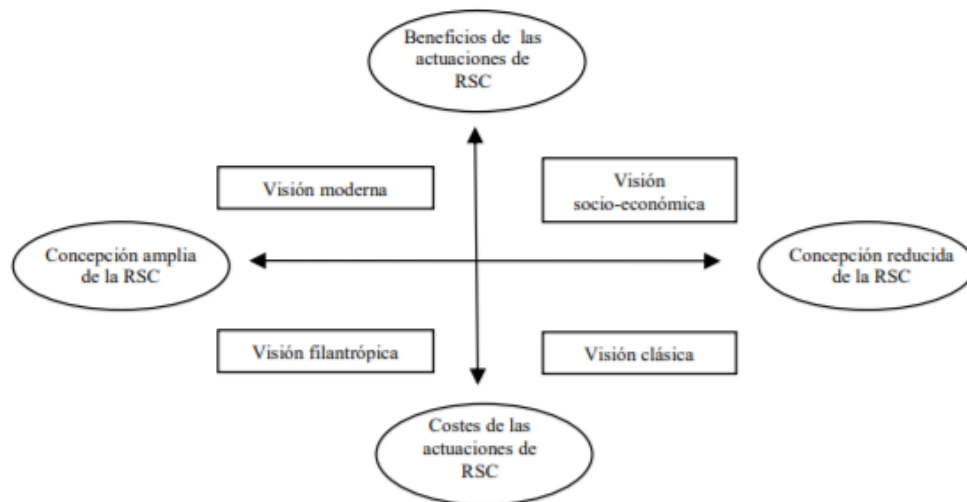


Ilustración 3: Pirámide de la RSC. Fuente: Carroll (1991)

- **Responsabilidad económica:** como bien se indica en la figura, es la base de la pirámide a partir de la cual se sostienen las demás responsabilidades. Se enfoca en mantener una alta eficiencia operativa y una posición competitiva para así ser rentable. Por mucho que una organización se rija bajo valores éticos y sostenibles, si no es rentable, entonces no tendrá continuidad. Esta responsabilidad se corresponde con la definición básica de empresa o corporación, cuyo enfoque principal es generar un beneficio
- **Responsabilidad legal:** es de suma importancia seguir los pasos que dictamina la ley, debido a que estos son los valores que la sociedad considera aceptables.
- **Responsabilidad ética:** seguir unas normas de conducta adecuadas que no tengan un impacto social o medioambiental negativo. Se centra en la moralidad del individuo y en exceder las expectativas legales que tiene la sociedad.
- **Responsabilidad filantrópica:** actuar en el beneficio de la sociedad y prestar asistencia y ayuda a la comunidad, mejorando la calidad de vida de ésta, además de participar proactivamente en actividades caritativas y en el desarrollo de proyectos que tengan un impacto beneficioso en la sociedad.

Por otro lado, cabe destacar la aportación de Quazi y O'Brien (2000), que propusieron un modelo bidimensional para poner un enfoque desde la perspectiva organizacional. A diferencia de Carroll, proponen solo dos dimensiones, siendo una el ámbito de la responsabilidad social, pudiendo distinguir entre amplio o reducido y las consecuencias de las acciones de las empresas, distinguiendo entre beneficios o costes.



Estas dos dimensiones forman cuatro sectores que se diferencian en el modo de ver la responsabilidad de la empresa y sus objetivos.

2.2.4.2 ENFOQUES

Melé y Garriga (2002) establecieron cuatro enfoques diferentes pertenecientes al campo de la Responsabilidad Social Corporativa, a pesar de ser todas complejas y no claramente diferenciables. Cada enfoque engloba diferentes teorías, agrupándolas así según sus dimensiones estén relacionadas con el ámbito político, los beneficios, los valores éticos y las demandas sociales. A continuación, se presentan los cuatro grupos de teorías sistematizadas:

1. Enfoque instrumental (teorías del valor del accionista o *Shareholders*): está formado por aquellas teorías en las que la empresa o corporación es vista única y exclusivamente como medio para la creación de beneficio y riqueza, siendo sus actividades sociales un instrumento para conseguir resultados económicos. Este enfoque incluye teorías que maximizan el valor del accionista como criterio último de decisión para evaluar las actividades sociales corporativas. Por otro lado, otras teorías instrumentales buscan estrategias con el fin de obtener ventajas competitivas. Por último, incluye aquellas teorías centradas en el marketing como medio de generación de beneficios, amoldando una imagen para la marca en el ámbito de la responsabilidad social o la ética.

2. Enfoque político (teorías de la ciudadanía empresarial): recoge aquellas teorías relacionadas con el poder de la empresa en la sociedad y el ejercicio responsable de este poder. Un sector importante son las teorías que tratan el tema del constitucionalismo corporativo, donde las empresas son consideradas instituciones sociales con la obligación de ejercer el poder responsablemente. Además, Melé y Garriga hacen un énfasis en la ciudadanía corporativa, teniendo tres subniveles: en primer lugar, la visión limitada que acoge las responsabilidades respecto de la comunidad local; en segundo lugar, la visión equivalente a la RSC y por último una visión amplia en la que las empresas intervienen ante fallos de los gobiernos en la protección de la ciudadanía, incluso internacionalmente.
3. Enfoque integrador (teorías instrumentales de Stakeholders): teorías en las que la empresa centra sus actuaciones en captar y responder a las demandas sociales. Un caso es el principio de responsabilidad pública, en el que el comportamiento de las empresas proviene de una política pública exitosa, en el que la dirección provenga de la demanda social. Es de gran importancia en este enfoque la gestión de los *stakeholders*, personas que se ven directamente afectas por las prácticas y políticas de la empresa.
4. Enfoque ético (teorías normativas de Stakeholders): trata las teorías que hacen referencia a las responsabilidades éticas de las empresas, que deben actuar para mejorar la sociedad. Este enfoque hace referencia a los derechos humanos y el desarrollo sostenible, con el objetivo de preservar el desarrollo de las generaciones futuras. Con esto se establecen tres objetivos simultáneos: los económicos, sociales y medioambientales. También trata las teorías del bien común, en las que la empresa, al pertenecer activamente en la sociedad, debe actuar en su beneficio y no en su detrimento, ya sea generando riqueza, respetando derechos sociales o proveyendo bienes.

2.2.4.3 BENEFICIOS

Los beneficios que presenta para una empresa la Responsabilidad Social Corporativa fueron ya expuestos por FORETICA en el año 2002. Entre los más relevantes destacan:

- Mejora en la reputación de la empresa: en el informe realizado “Market and Opinion Research International” (1999), se realizó una encuesta que señalaba que la percepción que tenían los individuos estaba en gran parte asociada a su responsabilidad social (56%) frente a otros aspectos como pueden ser la calidad de la marca (40%) o la gestión del negocio (34%). Esto demuestra en parte que la imagen que da una organización está fuertemente influenciada por las relaciones que ésta tiene con el medio ambiente, los derechos humanos y los empleados.
- Mejora la gestión del riesgo: la RSC se basa en involucrar a diferentes sectores con el fin de escuchar sus preocupaciones e intereses para asegurar el éxito. Este

constante diálogo supone conocer más detalladamente las percepciones y preferencias de los consumidores, lo que conlleva un mejor control del riesgo.

- Aumenta la competitividad: una buena relación entre proveedores y clientes o incluso entre diferentes entidades favorece un ambiente positivo que logra una mayor captación y retención de talento, lo que aumenta el valor de la empresa. Además, permite tener una innovación y calidad superior a la vez que una mayor eficiencia.
- Una mayor responsabilidad conllevará una mayor confianza por parte de los inversores, ya que la mejora en la reputación no es exclusiva a los consumidores. Por otro lado, puede favorecer la incentivación fiscal por parte de organismos públicos.

Sin embargo, en contraposición a estos beneficios, podría tener algún efecto negativo sobre la empresa, como el aumento de los precios de los productos obtenidos por el consumidor o la división de los recursos y poderes, ya que con anterioridad el objetivo principal era maximizar las ganancias, y al contemplar una perspectiva responsable se destinan esfuerzos a mejorar la situación social y medioambiental.

2.2.4.4 LA RSC LLEVADA A LA PRÁCTICA

En los últimos años, ha habido un crecimiento en la concienciación de las empresas por ser responsables social y medioambientalmente. Según el informe publicado por el Club de la Excelencia en Sostenibilidad, llamado *VII Estudio de Multisectorial sobre el Estado de la Responsabilidad Corporativa de la gran empresa en España 2019*, el 90% de las grandes empresas españolas establecen **una estrategia de Responsabilidad Corporativa transversal**, un siete por ciento más que en año 2017. Este informe recoge resultados en diferentes ámbitos como pueden ser el ético, el medioambiental o el social. Debido al carácter de sostenibilidad del trabajo, se centrará la atención en la dimensión medioambiental.

Se ha visualizado un aumento de las empresas con certificaciones externas (del 47% al 52%) pero ha habido una disminución en los últimos años en aquellas con gestión de la eficiencia energética (del 83% al 81%). Se mantiene estable el número de empresas que han planteado una estrategia para reducir los gases de efecto invernadero y la huella del carbono (un 85%), teniendo la mayoría de éstas una economía circular para la gestión de los residuos.

Por otro lado, en el año 1997, CERES (*Coalition for Environmentally Responsible Economies*), junto con el apoyo del United Nations Environment Programme (UNEP) crearon un proyecto cuyo fin era que las empresas creasen memorias de sostenibilidad que recogiesen su desempeño en el ámbito medioambiental, hasta equipararlas a los informes financieros en cuanto a aspectos como veracidad o rigor. De esta forma se harían públicos indicadores que demostrasen un buen ejercicio por parte de la empresa del desarrollo sostenible. A finales del año 2000 se transformó en una institución, que

ayudaría a las empresas en la elaboración de los informes y en la comunicación y medición del impacto social, medioambiental y económico.

Estos informes conllevan una transparencia por parte de las empresas hacia los grupos de interés que se ven afectados por las decisiones de ésta, como los *stakeholders*. Esta transparencia es necesaria para que los individuos depositen su confianza, algo básico para que la empresa pueda desarrollarse.

2.3. CARÁCTER DE LA TÉCNICA

Como se ha comentado con anterioridad, la necesidad del ser humano de moderar sus actividades con el fin de lograr un desarrollo más sostenible ha provocado que durante las últimas décadas se hayan creado una serie de estrategias. Sin embargo, desde los inicios con el *Informe Bruntland*, se han desarrollado metodologías basadas en la opinión e impacto reputacional que tenían determinados individuos o colectivos sobre la empresa investigada.

2.3.1 TÉCNICAS DE CARÁCTER CUALITATIVO

Las técnicas de carácter cualitativo están formadas por indicadores y parámetros que miden cambios durante el tiempo en base a unos criterios. Estos indicadores no expresan necesariamente una cuantificación, por lo que permiten expresar y analizar exitosamente el carácter y la naturaleza de estos cambios, sobrepasando el alcance en ocasiones de los indicadores cuantitativos que enumeran o cuantifican el cambio. Por ejemplo, según *The Office of Democracy and Governance* (2005), en el caso del ámbito jurídico, una escala de hitos sobre la reforma legislativa podría proporcionar información crítica sobre si se ha redactado o no un proyecto ley, siendo solo posible mediante una técnica cualitativa establecer las relaciones entre la información del proceso en cuestión, la transparencia, el grado de dependencia de los comités o la calidad del producto. En muchas ocasiones es difícil saber si emplear una técnica cualitativa o cuantitativa, por lo que es necesario tener en cuenta las siguientes dimensiones:

- Nivel de complejidad: si el tema es suficientemente sencillo (por ejemplo, si es unidimensional), será recomendable emplear una técnica cuantitativa. Sin embargo, en el caso de contar con temas multidimensionales una técnica cualitativa puede ser mejor idea, dependiendo de los objetivos del estudio, ya que la técnica cuantitativa podría ignorar u ocultar determinados aspectos críticos y relevantes.
- Alcance: mientras que los indicadores cuantitativos suelen estar asociados a enfoques más estrechos, los indicadores cualitativos pueden abordar cuestiones sobre un panorama más amplio.

- Unidades de medida: si se desea tratar con un número elevado de variables o unidades de medida será preferible emplear una técnica cuantitativa o por lo menos, una híbrida. Sin embargo, éstas permiten principalmente saber el “cuanto” y “cuantos”, no permitiendo completamente saber la naturaleza del cambio y su extensión.
- Relaciones: es más sencillo para una técnica de carácter cualitativo medir y abordar relaciones entre grupos, individuos o incluso instituciones.

Por otro lado, existen diversas formas de recolectar la información necesaria con el fin de medir el impacto o el cambio. La forma más extendida es la de crear índices. Pertenecen a un tipo de técnica cualitativa y son cada vez más empleados en la sociedad. Permiten cuantificar datos cualitativos con múltiples fuentes de información sobre temas complejos como los procesos de reforma legal o la refirmas efectivas de la administración electoral. No está establecido cual es el tamaño o el alcance de cualquier índice, algunos siendo más amplios y requiriendo de una cantidad importante de información. Por lo general, los índices son formas complejas y laboriosas en comparación a otras formas de recopilación de datos. Pueden requerir en muchos casos de un metodólogo con experiencia o un experto.

Otra técnica extendida en la actualidad es el uso de cuestionarios para conocer la opinión de un determinado grupo seleccionado sobre un bien o un impacto. Estos cuestionarios están organizados en torno a aspectos claves de un tema determinado siendo proporcionados al encuestado también los criterios para responder a las preguntas planeadas. En segundo plano, pueden ser empleadas formas como tablas de puntuación en casos en los que lo evaluado sea muy amplio y se requiera una imagen general; o grupos de discusión en los que se pregunta a un grupo de individuos sobre un tema, siendo especialmente útil en casos de participación ciudadana de procesos legislativos.

Entre las técnicas cualitativas más utilizadas, destacan las expuestas a continuación: la técnica del *valor contingente*, la técnica del *choice modelling* y la de criterio de experto.

2.3.1.1 TÉCNICA DEL VALOR CONTINGENTE

El método del valor contingente es una de las técnicas empleadas (en ocasiones es la única) que es utilizada para estimar el valor de los bienes como productos y servicios para los que no existe un mercado real que nos permita realizar un cálculo sencillo o una observación (Riera, 1994). Se basa en realizar una simulación de un mercado ficticio a través de encuestas a los potenciales clientes o consumidores de ese mercado y percibiendo el impacto que tendrían diferentes cambios o propuestas en este público objetivo. Por ejemplo, se les podría preguntar la cantidad máxima de dinero que están dispuestos a pagar por un determinado bien o por poder usar un determinado servicio, entre otras cosas. Analizando estos resultados se puede tener una idea aproximada del valor real de ese bien. Es de vital importancia una correcta interpretación de los resultados, ya que una aplicación incorrecta de este método puede conllevar a una

inexactitud en la valoración final, como por ejemplo en el caso de verse afectado el resultado por determinados sesgos, como se verá más adelante.

Una de las ventajas de esta técnica es el gran abanico de ámbitos de aplicación que abarca. Se utiliza en casos gubernamentales o de administración o en muchas ocasiones, como en nuestro caso, para ver el impacto ambiental de una determinada empresa o acción individual, llegando a ser prácticamente ilimitado el número de bienes que pueden ser analizados mediante este método. Sin embargo, tiene como desventaja que en ocasiones puede ser de extrema complejidad la elaboración del ejercicio.

Esta técnica es empleada con frecuencia en Estados Unidos y países del centro y norte de Europa, llegando de forma tardía a países hispanos. Hasta la fecha, para valorar bienes sin un mercado real se han empleado tres técnicas diferenciadas: la técnica de los precios hedónicos, la técnica de del coste de desplazamiento y la técnica de la valoración contingente. Debido a su extensa aplicación y beneficios en el ámbito medioambiental, se hará especial énfasis en la última técnica.

1. Técnica del coste de desplazamiento

También denominado *travel cost*, es empleada en valoraciones sociales de espacios de interés medioambiental, aunque podría ser extensible a otro tipo de productos y servicios. Al estar enfocada a la intención de los consumidores es clasificada comúnmente en la categoría de “uso de curvas de demanda”. Esta técnica recibe el nombre ya que a pesar de que determinados espacios naturales sobre los que se realizaba el estudio original contaban con un precio de entrada nulo, existía un coste de desplazamiento de los consumidores a aquel espacio. A medida que vive más cerca del espacio, menor será su coste de desplazamiento. Entre otras cosas, este modelo permite estimar los cambios en la valoración de los usuarios ante daños ecológicos o impactos medioambientales negativos, descendiendo el número de clientes ante desastres naturales, por ejemplo. De esta forma, observando como varía la valoración se podría estimar el cambio en el número de visitas. Sin embargo, el gran problema de este método es que es sólo aplicable a lugares físicos concretos, siendo la localización geográfica clave a la hora de aplicar el modelo. Por otro lado, un mercado modelado de esta forma difiere de los mercados típicos en que el precio en un mercado típico no suele variar significadamente dependiendo de la muestra de consumidores analizada, mientras que en el modelo del coste del desplazamiento es función de la localización geográfica de los consumidores observados. Esta variación en el precio estimado dependiente de la muestra permite tener puntos diferentes de la curva de demanda.

2. Técnica de los precios hedónicos

Según el artículo publicado en el *Journal of Political Economy* (Rosen, 1974), el modelo desglosa el valor o precio de un bien privado dependiente de varias características que cuentan con un precio implícito cuya suma proporciona el valor del bien observado. Por ejemplo, para el cálculo de del precio de un inmueble, se establece por separado el peso de las variables que determinan el precio final, como pueden ser la superficie, la localización o el atractivo del paisaje y al final se suman. Un uso clásico de este método es el impacto de la presencia de un aeropuerto en el precio de

las viviendas cercanas a éste. Dos viviendas idénticas, pero con una de ellas situada al lado de una zona de tránsito frecuente de aviones contarán con precios diferentes. El ruido y el riesgo de accidentes puede conllevar una pérdida de bienestar en el consumidor, que estará dispuesto a pagar una menor cantidad de dinero

3. Técnica de la valoración contingente

En contraposición con los dos modelos anteriores, la técnica de la valoración contingente es una técnica directa, ya que realiza la estimación mediante encuestas y no por comportamientos que se ven reflejados en el mercado. El entrevistador realiza el papel de la oferta en un caso hipotético, y la persona entrevistada la demanda. Como se ha comentado con anterioridad, un caso común es el de preguntar el precio máximo que una persona estaría dispuesta a pagar por un determinado bien que formase parte de un mercado real. Este es un caso que se asemeja bastante a el día a día de los consumidores en la vida real, comprar una cantidad determinada de un bien ofertado a un precio establecido, con la mera diferencia de que la situación es hipotética en la encuesta, sin la necesidad de que el encuestado realice el pago, con la problemática de la aparición de sesgos como el estratégico, que lleva a la persona a no revelar con honestidad el verdadero precio que estaría dispuesto a pagar. El modelo de valoración contingente es el único modelo realmente efectivo y razonable para medir el efecto o impacto sobre personas que no sean usuarios del bien a evaluar. Por ello, este apartado se centrará en el estudio de este modelo.

El primero en proponer una técnica basada en encuestas fue Ciriacy-Wantrup (1952). En un principio, el modelo de valoración contingente fue visto desde una perspectiva negativa ya que en *The Review of Economics and Statistics* (Samuelson, 1954), el autor defendía la idea de que el hecho de que la encuesta fuese realizada e individuos que no fuesen usuarios, podría conllevar que éstos tratasen de obtener un beneficio personal respondiendo falsamente a la encuesta, lo que resultaría en una estimación errónea del valor real (sesgo de estrategia). No fue hasta el año 1963 cuando Robert K. Davis aplicó este método en su tesis doctoral y se fue empezando a emplear.

En las siguientes décadas se contribuyó al estudio y perfeccionamiento de esta técnica, con aportaciones en obras de autores como Randall, Ives y Eastman (1974) y leyes que requerían la valoración de cambios en el bienestar social como la *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* (CERCLA, 1980). Sin embargo, fue en la década de los 90 cuando, tras algunos desastres ecológicos, los tribunales americanos discutieron sobre la validez del método de valoración contingente como forma de establecer un valor a espacios naturales dañados. El informe de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1993), apoyó la utilización de este método para calcular el valor de un no uso o uso pasivo, pero con una serie de directrices cuyo fin era evitar los resultados fuertemente sesgados. Estos sesgos son una de las mayores limitaciones de esta técnica hipotética, ya que dificulta el contraste con los valores verdaderos y son difíciles de detectar y corregir. Como se verá más adelante, estos sesgos pueden provenir del carácter hipotético del método o de la encuesta realizada a una muestra de la población.

FASES DE DISEÑO DEL EJERCICIO

A continuación, se exponen las diferentes etapas en orden cronológico con las que cuenta el método del valor contingente desde su preparación hasta la obtención numérica del valor del bien, según *El Manual de Valoración Contingente* (Riera, 1994).

En primer lugar, se debe establecer con claridad que producto o servicio es el que se quiere medir en unidades monetarias. Se debe saber con exactitud, lo que en muchas ocasiones es una tarea difícil ya que pueden existir ambigüedades en su definición y en particular, en su cantidad.

En segundo lugar, es de vital importancia establecer una correcta población que va a ser el objetivo de la encuesta. Debe ser una población relevante y ligada con el aspecto que se va a medir. Los resultados pueden oscilar de forma sorprendente dependiendo de la población que se escoja. En el caso de que el coste de las entrevistas no sea muy restrictivo, se podría coger un tamaño más amplio, con unos límites que abarquen más. Incluso se podría realizar una breve encuesta *a priori* para definir mejor la población. De todas formas, un problema a menudo presente es la discriminación por edad. No tiene sentido preguntar a niños de menos de diez años por aspectos políticos. Por ellos, en la mayoría de los casos el encuestador debe decidir el rango de edad acorde con el estudio, como mayores de edad, jubilados o en edad laboral.

En tercer lugar, se debe decidir cómo se va a realizar la encuesta, es decir, que modalidad se va a escoger, entre opciones como presencial, telefónica o por correo. Cada opción cuenta con diferentes ventajas e inconvenientes. En situaciones complejas es recomendable optar por la modalidad presencial o por correo. La modalidad se verá influida por la muestra acordada. Las entrevistas personales permiten resolver dudas que se originen sobre el cuestionario y al mismo tiempo permiten la utilización de material gráfico que ayude con la comprensión del caso. Las entrevistas por correo tienen la desventaja de contar con una tasa muy baja de cuestionarios retornados, lo que conlleva muestras mucho mayores. Además, se deben establecer los parámetros de tiempo y dinero disponible para el estudio. Si el presupuesto es un limitante importante en él, se debe saber que las presenciales son las que requieren de una mayor inversión, seguidas de las telefónicas.

En cuarto lugar, se definirá la muestra a la que se realizará la encuesta. El tamaño original de la población suele tener una gran dimensión por lo que se deberá seleccionar una parte relativamente pequeña de esta población, en función de la fiabilidad y ajuste necesitado. El grado de fiabilidad viene dado por el nivel de confianza y el margen de error. A medida que se baja el nivel de confianza se reduce el margen de error. Por otro lado, si reducimos el tamaño de la muestra aumenta el margen de error para un mismo nivel de confianza. También depende de la variable del estudio, ya que aquellas variables de carácter discreto requieren de un tamaño mayor de muestra frente a aquellas de carácter continuo.

A continuación, y, en quinto lugar, se procederá a la redacción de la encuesta. Es sumamente importante dedicarle tiempo a esta etapa para así establecer de forma óptima

la estructura y el contenido para así evitar los sesgos que puedan distorsionar la realidad. Esta es la parte de todo el proceso que más tiempo suele llevar.

La siguiente fase es realizar la entrevista mediante ayuda de encuestadores profesionales, reuniéndose previamente (briefing) y posteriormente (debriefing). Estas reuniones no son necesarias en las encuestas por correo.

Por último, los resultados obtenidos deben ser interpretados de acuerdo con la investigación. Lo primero es pasar los datos de las encuestas a una base de datos manejable con programas estadísticos. Suelen agruparse de forma matricial, siendo las filas las distintas variables y las columnas las observaciones. Tras observar los resultados, es aconsejable realizar un estudio de sensibilidad para saber cómo de dependientes son unas variables de otras y su correlación (directa o inversa).

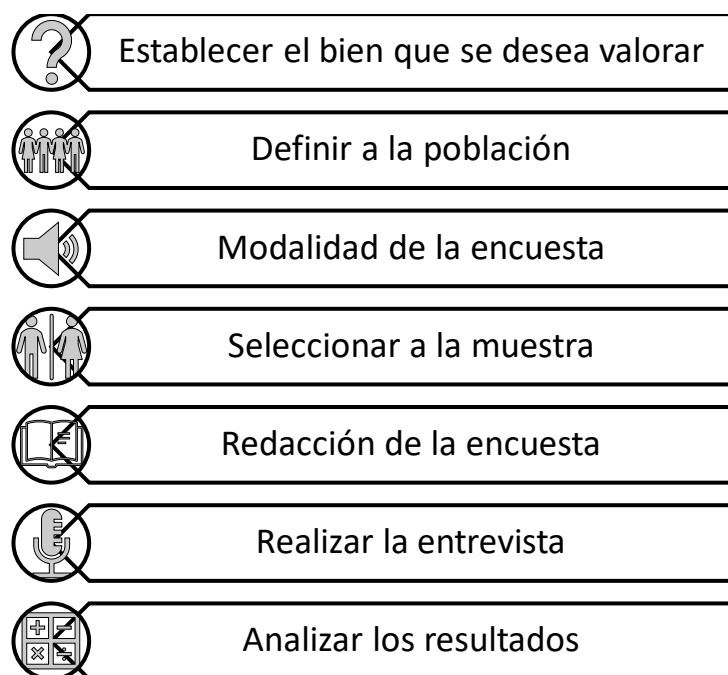


Tabla 1: Fases del modelo de valoración contingente

LOS SESGOS

Aquellos errores que se cometen sistemáticamente al estimar un valor mediante el método del valor contingente y que causan una desviación del resultado de su valor real son denominados sesgos. Dependiendo de cómo se realice el estudio aparecerán unos sesgos u otros, que han sido investigados en profundidad en los últimos años. A continuación, se presentan los más relevantes:

- Muestreo:

Uno de los sesgos que ocurren con mayor frecuencia viene determinado por el tamaño de la muestra, que a su vez depende de la fiabilidad deseada y el margen de error. Además, también se puede sesgar el resultado al seleccionar erróneamente la muestra. En muchos casos se hace de forma aleatoria. De no ser así, se está realizando el muestreo de forma incorrecta. Por otro lado, el modo en el que se realiza la entrevista puede crear sesgos, como por ejemplo la sobrerrepresentación de personas con más presencia en la calle en aquellas que se realice de forma presencial.

- Actitud de los entrevistados:

Como se ha mencionado con anterioridad, el sesgo de estrategia es el resultado de una intencionalidad del usuario entrevistado, que influye en el resultado de la encuesta de acuerdo con sus beneficios. Un claro ejemplo es el individuo que es preguntado por la cantidad que estaría dispuesto a pagar por un producto o servicio y que, ante la posibilidad de que ese precio sea el que luego sea aplicado al bien, responde con un valor inferior al que realmente estaría dispuesto a asumir con el fin de que se abarate su precio. Este caso sólo sirve para mercados hipotéticos, ya que en mercados reales ninguna persona cuenta con el incentivo de pagar un precio superior a su máxima disposición. A pesar de que puede acarrear problemas serios, es un sesgo no muy extendido.

Otro sesgo directamente relacionado con la actitud de los entrevistados es el de complacencia, ya sea con el realizador de la encuesta o el promotor de ella. Se da en casos de indiferencia sobre el bien evaluado, y cuya respuesta trata de complacer a determinadas personas y se da más para las entrevistas presenciales.

- Planteamiento teórico:

Como se ha visto con anterioridad, el modelo de valor contingente fórmula preguntas que pueden ser aproximadas de dos formas: disposición a pagar por un bien o a ser compensado, siendo la primera la cantidad máxima que estaría dispuesto a ofrecer y la segunda la cantidad mínima que debería recibir por la pérdida de los derechos de la propiedad del bien. Las investigaciones demostraron que los resultados eran claramente inferiores cuando se formulaba mediante la disposición a pagar. Por tomar una posición más conservadora es esta la forma más extendida.

- Pistas implícitas para la valoración:

El sesgo más general de todos es el de importancia, que se da cuando el entrevistado sobrevalora la importancia de un bien por el hecho de que se haga un estudio sobre el mismo. Además, se puede dar el de ordenación, en casos en los que se enumere más de un bien o partes diferenciadas de un bien, dando el entrevistado mayor peso en orden jerárquico según han sido enumeradas las opciones, dando un precio superior a las primeras que a las últimas. Otra problemática surge con la utilización de rangos al dar opciones numéricas. El usuario tomará como válidos los resultados más próximos a la media de cada rango, tendiendo a excluir aquellos que se alejen o no estén contenidos en el abanico. Sin embargo, si se da un rango demasiado amplio para evitar esto, se asemeja a una respuesta abierta, siendo inútil la guía.

- Percepción del contexto:

El último bloque de sesgos hace referencia al escenario o contexto del mercado que se expone. Para evitarlo Row & Chestnut (1982) recomendaban que la encuesta sea “informativa, comprendida con claridad; realista al apoyarse en modelos de comportamiento establecidos y en instituciones legales; tener una aplicación uniforme para todos los encuestados; y, si puede ser, dejar a la persona entrevistada con la idea de que la situación y su respuesta no sólo son creíbles sino también importantes”.

Ligado a esta causa está el sesgo de planteamiento inexacto, cuando no se describe bien el contexto en el que se está realizando la investigación. Otro caso es el sesgo causado por simbolismo, en el que el usuario, debido a la información obtenida, valora el bien no por lo que es, sino por lo que simboliza, que generalmente suele estar idealizado y representa un valor mayor al que se corresponde con la realidad.

Por último, se puede dar el sesgo de confusión de una parte por el todo, en el que se desea evaluar un bien concreto y el entrevistado hace referencia a un bien más extenso y considerándolo más amplio de cómo es en realidad. De igual forma se puede dar el sesgo del todo por una parte, produciéndose la confusión de forma contraria.

VALORACIÓN CONTINGENTE: PROBLEMÁTICA Y PROSPECTIVAS

El modelo de la *Valoración Contingente* ha sido criticado junto a otros como el *Método del Coste del Viaje* (MCV) desde una perspectiva neoclásica. Todos estos tienen en común, que valoran un bien en términos monetarios equivalentes, basándose ese valor en la utilidad que le proporciona el bien al consumidor o usuario. Si para ellos el bien no tiene ninguna utilidad, entonces el valor será nulo. Esto supone que los servicios y productos tienen como finalidad servir a las personas, lo que es fundamental para valorar bienes ambientales. Si se valoran por y para la sociedad, conllevan una serie de supuestos neoclásicos que son: la existencia de funciones de utilidad para los individuos; que existe una función de utilidad capaz de ordenar los bienes no presentes en el mercado; y que estas valoraciones pueden ser identificadas mediante el VC (Eberle y Hayden, 2011).

De forma paralela, la aplicación de la psicometría en el modelo ha generado rechazo de alguna manera. El método de VC usa una encuesta como forma de obtener de los individuos un valor de preferencias Hicksiano. La problemática reside en si este formato es el más idóneo para la valoración de bienes que no están presentes en el mercado real, sino en uno hipotético. La psicometría cuenta con reglas específicas para el diseño y evaluación de un cuestionario, con el fin de asegurar una correcta medición. Para ello se deben normalizar los instrumentos para que la repetición sea posible y proporcionar una fiabilidad razonable en la precisión de las mediciones obtenidas. Sin embargo, esta normalización requiere que individuos diferentes deben obtener resultados similares usando el mismo instrumento (Nunally, 1978). Pero nunca se puede lograr una garantía ya que el valor que da una persona de un bien en un mercado hipotético no es observable.

Las dos reglas que debe cubrir la VC son la validez y la fiabilidad. Esta última está estrechamente relacionada con la estructura interna del instrumento. En este caso se

presentan una serie de preguntas para medir un mismo rasgo. Analizando las respuestas se puede observar si existe una covarianza entre ellas. En el caso de que sea significativa, se puede concluir que se mide el mismo rasgo. Sin embargo, se cuenta con que cada pregunta mide de forma imperfecta un rasgo no observable, de modo que al contar con una serie de cuestiones que miden imperfectamente un rasgo y no contar un coeficiente de fiabilidad, se debe comprobar alternativamente la fiabilidad, como por ejemplo volviendo a pasar en cuestionario tiempo después. Pero esto puede acarrear problemas graves que influyen en la fiabilidad, como el hecho de que los individuos pueden recordar sus respuestas de entrevistas previas o incluso cambiar de respuesta debido a alguna ocurrencia que ha tenido lugar en el tiempo entre encuestas. En muchas ocasiones, los estudios de la VC no prestan atención a la fiabilidad, por lo que es dudable la repetibilidad de los valores. Investigadores como Cummings, Brookshire y Schulze sostuvieron que “todos los estudios comparativos realizados hasta la fecha han fracasado en calcular cuidadosamente la precisión de la VC usada o la fiabilidad del MPH (o del CV) usado para la comparación” (Cummings, Brookshire y Schulze, 1986).

Otro grupo diferenciado de críticas cubren la relación entre la valoración contingente y la teoría económica. No se discute si las estimaciones son precisas o no, como hacían las críticas sobre la validez y fiabilidad, sino si los resultados obtenidos tienen sentido de acuerdo con las bases de la teoría económica. Como se plantea en *Los Métodos de Valoración de Beneficios Ambientales* (Barreiro y Nogueira, 2013), ¿puede la valoración contingente medir preferencias? De ser así, los valores obtenidos deberían variar consistentemente, en la magnitud y dirección de la teoría económica, ante la aparición de cambios en variables que influyen en su comportamiento. En otras palabras, si se está midiendo correctamente, la disposición a pagar que tiene el individuo por un determinado bien ambiental debe aumentar a medida que aumenta la cantidad de dicho bien. De la misma manera debería aumentar cuando aumenta la renta de la persona entrevistada. Por otro lado, y en relación con el sesgo de ordenación, el precio a pagar no debería depender de la posición que ocupen en el cuestionario.

Uno de los debates que ha tenido lugar con más intensidad tuvo lugar al observar una discrepancia entre la disposición a pagar y la compensación exigida por el mismo bien. En la práctica, los resultados relacionados con la compensación exigida por renunciar a un bien eran claramente superiores a los valores obtenidos en términos de disposición a pagar por obtener ese bien. Esto era contradictorio con las conclusiones de Willig (1976), que defendió que la diferencia no debía de ser muy grande. Además, se generaban más tasas de protesta en preguntas relacionadas con la compensación exigida. Este debate fue resuelto con el informe realizado por los expertos de NOAA, que se pronunciaron a favor de realizar las encuestas en forma de pregunta de disposición a pagar.

2.3.1.2 CHOICE MODELLING

El *Choice Modelling* (CM), también denominado *Discrete Choice Experiment* (DCE) o experimento de elección discreta, es una metodología científica utilizada por académicos, economistas y demás individuos establecidos de políticas para poder

medir o cuantificar las preferencias de los consumidores. Es considerada por muchos la forma más fiable y robusta de investigar y evaluar las elecciones tomadas por las personas. De la misma forma, es útil para las empresas y corporaciones para entender la naturaleza y el nivel de la demanda de productos tanto existentes como recién salidos al mercado. Otros métodos como el del valor contingente, visto anteriormente, capturan las intenciones de los consumidores, pero sin una base científica y objetivamente fiable, basando los resultados en experiencias u opiniones.

Pero el *Choice Modelling* es un experimento controlado que estudia las influencias (no sólo las internas sino también las externas, que pueden situarse fuera de la zona de percepción del consumidor) que conllevan la toma de decisiones, y de esta forma identificarlas y medirlas. Esto permite a las empresas entender por qué los usuarios están tomando determinadas decisiones y así estimar la demanda. Permite trabajar con un tamaño muy extenso de configuraciones posibles, del orden de trillones, cosa imposible para la mayoría de los métodos existentes y tradicionales. Involucra el análisis y la generación de datos previamente elegidos que se presentan a una muestra a través de la construcción de un mercado hipotético.

Esta metodología permite responder a preguntas como: ¿Qué aspectos del producto valoran los consumidores?, ¿Hay una demanda real para mi nuevo servicio o producto? o incluso ¿Cómo puedo hacer que lo que oferta mi compañía sea más atractivo de cara al comprador? Es de especial interés para la gente relacionada con el ámbito del marketing o de la estrategia empresarial para planificar un proyecto o para el proceso de establecer un presupuesto determinado.

En el ámbito de una valoración medioambiental, el modelo de elección discreta (DCE) no es sólo una medida de los efectos globales del bienestar de determinados cambios medioambientales como por ejemplo el que puede provocar la reubicación de un dique a lo largo de un río, sino que también proporciona información adicional sobre preferencias de determinadas características de acciones, según *Environmental Valuation with Discrete Choice Experiments* (Mariel, 2021). Sin embargo, es un método más difícil de realizar que otros como la *Valoración Contingente (VC)*.

Sin embargo, su uso ha sido extendido debido a que permite modelar variables cualitativas a través del uso de técnicas que pertenecen a variables discretas. Una variable es discreta cuando puede tomar un número finito de valores que miden una cualidad. Por esto el proceso requiere de una conversión de variables cualitativas a valores numéricos con los que se pueda crear el código para la modelización.

EL CONJUNTO DE ELECCIÓN

Los modelos de elección discreta, como se ha comentado, describen las elecciones de determinados decisores, que pueden ser personas, empresas o cualquier otro conjunto capaz de escoger entre diferentes alternativas. En el *Choice Modelling* o DCE, estas alternativas deben presentar una serie de características para tener una validez y encajar en el marco de elección discreta, según el artículo *Métodos de elección discreta con simulación* (Universidad de California-Berkeley). Primero, las alternativas deben de ser

mutuamente excluyentes para el decisor, de modo que se eviten ambigüedades o solapamientos entre posibles respuestas y que el hecho de escoger una opción implique un rechazo de las otras opciones. En segundo lugar, el conjunto debe ser exhaustivo, es decir, todas las posibles elecciones han de haber sido contempladas, teniendo el decisor que elegir una de las alternativas necesariamente. Por último, y, en tercer lugar, el número de alternativas debe ser finito.

Las dos primeras características no son consideradas limitantes, ya que una propia definición de las alternativas puede satisfacer tanto la exhaustividad como el hecho de que sean excluyentes. Sin embargo, que haya un número finito de alternativas es más restrictivo y es lo que diferencia este modelo de otros métodos de regresión. En estos últimos, la variable empleada es continua, por lo que hay una infinidad de valores que puede tomar, siendo la decisión responsabilidad entera del decisor.

PROBABILIDADES DE ELECCIÓN

La metodología del *Choice Modelling* parte del supuesto de que el decisor elige la alternativa que maximiza la utilidad que percibe (Marschak, 1960). Tras esta formulación, los modelos que se obtienen de esta manera son denominados modelos de utilidad aleatoria (*random utility models, RUMs*). Sin embargo, estos modelos pueden emplearse no solo en casos en los que se requiera maximizar la utilidad, sino también en otras situaciones siempre que sean coherentes con la forma de comportamiento.

Para realizar el análisis econométrico son necesarios dos componentes: en primer lugar, la función de utilidad y en segundo, una distribución que acoja un componente de error. Se asume que los términos de error son independientes entre sí e idénticamente distribuidos. La fórmula que acoge ambos componentes es la siguiente:

$$U_{ij} = V_{ij}(Z_{ij}S_iM_j) + \varepsilon_{ij}$$

Ecuación 1: Fórmula de la función de utilidad

Siendo:

U_{ij} : *Función de utilidad*

V_{ij} : *Componente determinístico de la función de utilidad para cada alternativa j del conjunto de elección C*

Z_{ij} : *Atributos*

S_i : *Características socioeconómicas de los usuarios*

M_j : *Ingreso*

ε_{ij} : *Componente de error*

El decisor elegirá por ejemplo la alternativa m si le aporta una mayor utilidad que el resto de las alternativas del conjunto C . Es decir, si U_{im} es mayor que U_{ij} donde $m \neq j$, la probabilidad de que el decisor elija la alternativa m es:

$$Pr(im) = Pr[(V_{im} - V_{ij}) > (\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{im})]$$

Ecuación 2: Probabilidad elección m

DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE ELECCIÓN

Al igual que la mayoría de las técnicas de carácter cualitativo, los experimentos de elección discreta cuentan con una serie de etapas ordenadas que pretenden establecer el procedimiento que se debe llevar para la investigación.

En primer lugar, se deben definir los atributos y niveles, antes de la realización del diseño experimental, para caracterizar el producto o servicio que se va a valorar. Esto se puede realizar mediante técnicas como las entrevistas previas, los grupos de discusión o la revisión bibliográfica. En cuanto a los atributos, se debe describir la situación actual a los entrevistados (*statu quo*), representando los niveles el grado de intervención con los que cada individuo modificará la situación actual. Cabe destacar que se pueden emplear variables tanto cualitativas como cuantitativas o genéricas.

En segundo lugar, se generará el diseño experimental, con el fin de organizar los atributos y niveles previamente establecidos, además de identificar los efectos independientes, es decir, los parámetros específicos de la función de utilidad para el caso de estudio. Cuanta más precisión se consiga en las estimaciones más eficiente será. En este paso se establecerán el número de atributos y de niveles, el número de alternativas y por último el número de conjuntos de elección. Las tareas para cada entrevistado serán dependientes de la cantidad de conjuntos de elección escogidos. En *Oehlmann et al.* (Oehlmann, 2017) se plantea que cuando se incrementa el número de tareas para cada decisor, aumenta la probabilidad de elegir el *statu quo* de parte del entrevistado, además de agrandarse la amplitud de los intervalos de nivel. Si se desea reducir las tareas de elección, se puede generar diferentes versiones del mismo cuestionario.

La siguiente fase consistirá en el desarrollo de la encuesta, con la que se presentará el escenario para que entienda la situación en el mercado hipotético, además de preguntas de validación que tienen el fin de verificar la comprensión y aceptación por parte del entrevistado. Las tres partes con las que debe contar el cuestionario son la información general y presentación del bien o servicio, el escenario de valoración junto con incentivos para que los decisores respondan lo que verdaderamente creen y por último la información socioeconómica. El CM presenta menos error de tipo sesgo que el método del valor contingente, debido a razones como la obtención de una mayor cantidad de información de los entrevistados o de la reducción de protestas éticas, entre otras. Sin embargo, exigen un mayor nivel de complejidad debido a la carga cognitiva que exige el modelo, lo que conlleva sesgos, mayoritariamente en el caso en el que el encuestado no comprende suficientemente bien el ejercicio (Svenningsen y Jacobsen, 2018).

En cuarto lugar, se realizará la encuesta, que tendrá un formato prácticamente idéntico a la técnica del valor contingente. Por último, será necesario codificar las variables explicativas. El objetivo es medir sus efectos en el modelo, y así evitar la correlación y minimizar la colinealidad en las matrices de estimación que estudian las interacciones. La forma más extendida es asignar valores de -1, 0 y 1 a la variable según haya sido la respuesta del decisor (Holmes y Adamowics, 2003).

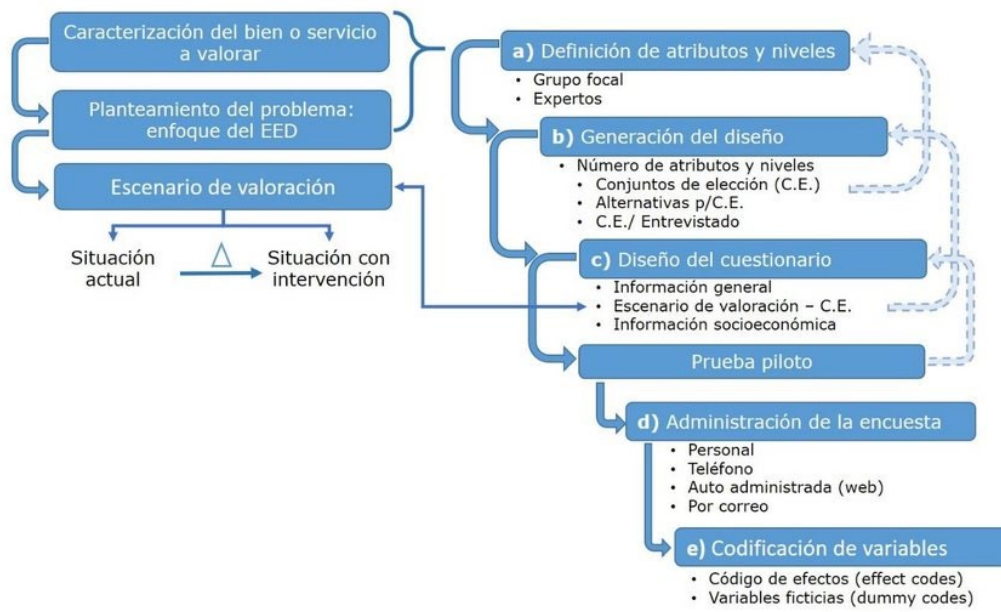


Ilustración 4: Fases del Choice Modelling

VALIDEZ

Los experimentos de elección discreta son uno de los métodos más extendidos para valorar económicamente un bien. Proporciona resultados relativamente fiables y consistentes dependiendo del diseño de la encuesta y el análisis de los resultados. Sin embargo, al tratarse de la simulación de un mercado hipotético y simulado, hay presente el denominado “sesgo hipotético”, entre otros (Hausman, 2012). Por todo esto, se ha evaluado la validez de este método de forma externa e interna. La primera realiza una comparación con modelos alternativos a los DCE y la segunda hace énfasis en el propio método.

Si se toman los axiomas de la maximización de la utilidad (Mas-Colell, 1995), que son la continuidad, la transitividad, la estabilidad y las preferencias monótonas, los resultados son teóricamente válidos en el caso de que las elecciones de los encuestados coinciden con estos supuestos. Mientras autores como Carlsson y Martinsson (2001) no identifican una violación de los axiomas de transitividad y estabilidad, otros como Deshazo y Fermo (2002) defienden que hay presentes inconsistencias en las preferencias de elección, no correspondiéndose con el axioma de preferencias monótonas. Por otro lado, como se dijo con el modelo del VC, en ocasiones hay presentes sesgos de ordenación que presentan anomalías en los resultados, y de acuerdo con Day y Prades (2010), esto viola el axioma de estabilidad.

En cuanto a las pruebas de validez de carácter externo, que comparan el modelo DCE con otros, éstas pueden ser de criterio o convergentes. Las pruebas de criterio comparan el comportamiento hipotético del real, y como conclusión los experimentos de elección discreta cuentan por lo general con un menor sesgo hipotético cuando se comparan con los VC, ya que la situación real del decisor se asemeja más al escenario hipotético que se le plantea (Carson et al., 1994). Por otro lado, las pruebas de validez convergente estudian como se corresponden las medidas obtenidas por DCE con las de otros modelos, siendo los más frecuentes los precios hedónicos, el valor contingente u otros métodos de valoración que no tengan por qué ser consistentes con la teoría de la utilidad aleatoria, como puede ser el ejercicio de clasificación de atributos o el análisis de criterios múltiples (Azevedo et al., 2009).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la sensibilidad al alcance, es decir, la disposición de los decisores a pagar más por un efecto importante que por un subconjunto de ese efecto (Carson y Czajkowski, 2014). Aunque los modelos DCE, como se ha expuesto, cuentan con un menor sesgo hipotético que el VC, son más susceptibles de ser sensibles al alcance (Foster y Mourato, 2003).

En conclusión, los experimentos de elección discreta son de gran relevancia en el ámbito medioambiental en todo el mundo. Es considerado por la comunidad científica que presentan una mayor cantidad de ventajas en comparación con el valor contingente, debido a una menor presencia de sesgos y enfoque más amplio en cuanto a la valoración económica. Sin embargo, es un método más complejo y que cuenta con múltiples retos como la dificultad a la hora de asignar las tareas de elección, ya que exige un esfuerzo cognitivo mayor por parte de los encuestados. Es particularmente complejo en países que presentan un desarrollo menor, donde las aplicaciones empíricas apenas están extendidas y el desconocimiento es mayor.

2.3.1.3 METODOLOGÍA CRITERIO DE EXPERTO

La metodología criterio de experto o método del panel de expertos (PE), es una forma de valoración cualitativa que consiste en la puesta en común, en donde especialistas de diferentes áreas de investigación aportan sus experiencias en relación con el bien o tema tratado. Esto ocurre en situaciones en las que no hay disponibilidad de información histórica, por ejemplo, de nuevos mercados, proyectos o a causa de una falta de registros.

En consecuencia, se sigue el procedimiento o las experiencias de proyectos o investigaciones de un carácter similar al que se va a realizar (Departamento Nacional de Planeación, 2014).

Los resultados dependen, por lo tanto, de la calidad de los procesos y participantes que conforman el panel, por lo que se debe establecer unos principios básicos que permitan obtener resultados con una calidad adecuada en referencia a la valoración de los bienes. El panel de expertos es una herramienta heurística, y a consecuencia de ellos, la valoración tiene un gran componente de subjetividad en contraposición a otros ejercicios de carácter numérico o estadístico que están basados en información histórica o en datos recogidos.

El panel de expertos se utiliza como representación de la población, empleando como decisores a una pequeña parte de ella. De esta forma, estos expertos asignan una serie de pesos a determinados atributos, que son clasificados de acuerdo con esta asignación. A través de procesos de feedback, se van modificando estos pesos hasta llegar a una valoración final. Si se realiza el ejercicio correctamente, la situación privada de cada experto debería influir tan mínimamente como sea posible para intentar alcanzar una valoración que sea tan objetiva como se permita. Estos expertos son los encargados de decidir por la población lo que éstos estarían dispuestos a pagar por el bien ambiental. Pueden tomar la posición tanto de un político u otra persona con una posición de establecedora de directrices de la sociedad, de ciudadano o de *stakeholder*. En la posición de político, el experto representa los deseos de la sociedad en su totalidad, mientras que en la posición de ciudadano expresa sus propios sentimientos y preferencias personales. Por último, si juega el rol de *stakeholder*, será encargado de interpretar los puntos de vista de una determinada organización o empresa, como puede ser una empresa de carácter medioambiental (Halvorsen, Strand, Wenstop, 1997).

Generalmente, hay seis pasos en la realización de una valoración por el criterio de expertos:

1. En primer lugar, se preparan las instrucciones y plantillas de medición que van a ser utilizadas. Es de suma importancia también saber definir las dimensiones objeto de lo que se va a medir, estableciendo pesos diferenciales a cada una.
2. En segundo lugar, se debe decidir cuáles son los expertos que van a formar parte del panel y prepararlos. Es recomendable contar con personas del ámbito que se va a tratar y cuya experiencia sea extensa.
3. El paso siguiente es el planteamiento del contexto y la puesta en escena. Para ello se deben establecer los objetivos del estudio o valoración y su debida presentación a los integrantes del grupo.
4. A continuación, tendrán lugar los espacios para la discusión, donde se hará la puesta en común.
5. El quinto paso será llegar a un acuerdo entre los expertos mediante técnicas como el cálculo de la concordancia o de técnicas estadísticas.
6. Por último, se redactará un informe que recoja las conclusiones obtenidas.

La precisión de este método se ve afectada por el procedimiento (en función de cómo haya sido la definición de los objetivos o el contexto) y por los mismos expertos (depende de la formación y capacidad de cada integrante). Una problemática de este método es la

consecución de una consistencia en los resultados, que se puede evaluar mediante la reproducibilidad de los resultados en varios experimentos distintos o en la comparación entre los resultados del observador con un estándar y la comparación entre observadores para validar la concordancia entre ellos. Es recomendable el uso del índice de concordancia, debido a su sencillez. Esto expresa el nivel de acuerdo en forma de porcentaje entre los expertos o, en otras palabras, la medida en la que ha habido coincidencia en la clasificación entre los integrantes en relación con el total. Puede producirse que la concordancia se deba al azar en lugar de a una correcta consecución de la investigación, por lo que se pueden aplicar métodos estadísticos como Kappa para eliminar la probabilidad del azar.

La principal ventaja de utilizar el método del panel de expertos es la experiencia y conocimiento que se puede usar para alcanzar el objetivo, en contraposición a otros métodos que usan a la población como fuente de información. Además, favorece la comunicación en los espacios de discusión y enriquece la valoración por medio de diferentes ideas y juicios personales.

Por otro lado, una desventaja apreciable puede ser la falta de acuerdo a la que se puede llegar en situaciones complejas y con muchos puntos de vista, a la que se le añade la gran sensibilidad que tienen los resultados, estando expuestos a cambios en la percepción de los expertos. A esto se le suma la difícil reproducibilidad del experimento, ya que es extremadamente complejo llegar a los mismos resultados cuando se cambian los expertos o la puesta en escena.

2.3.2 TÉCNICAS DE CARÁCTER CUANTITATIVO

En contraposición a aquellas técnicas que requieren de encuestas y opiniones de determinados grupos que pueden estar sesgadas, se encuentran las técnicas de carácter cuantitativo, que son el foco principal de atención de este trabajo ya que más adelante se creará un índice sintético utilizando un modelo de este carácter.

Las técnicas de carácter cuantitativo algún tipo de recuento numérico o porcentual para indicar el cambio. Esto permite definir el impacto de una determinada situación, o la cantidad precisa de aumento o disminución del susodicho impacto. La evaluación porcentual es la más habilitada para establecer impactos como unidades fijas y no como cambios.

Para Nagel y Cohen (1968), hay tres usos distintos asociados a los números. Pueden indicar la posición de un grado en una serie de grados, servir como rótulos o identificadores y pueden ser signos utilizados para indicar relaciones cuantitativas entre cualidades. Este último es el necesario para realizar las mediciones en el estudio. Las escalas nominales no tienen las características propias para establecer una medición y solo se emplean como identificación. En cuanto a las escalas ordinales, éstas indican únicamente la organización de los datos, es decir, su orden. Para lograr una medición correcta, se deberían emplear o bien escalas interválicas o proporcionales. Las primeras poseen cualidades de orden y de distancia entre medidas, a pesar de utilizar el cero convencional como origen y las segundas son las únicas que poseen las tres propiedades.

En el pasado ha habido diferentes personas que han intentado modelar un sistema de cuantificación complejo y establecer una aproximación metodológica, como Jiménez Herrero (2000) o Martínez – Alier (1999). Estos índices fueron denominados fuertes y muy fuertes debido a su complejidad. Fernando I. González y Federico G. Martin (2004) destacaron los índices más comúnmente utilizados, los sensibles, que miden la sostenibilidad débil. Entre ellos destacan el ISEW (Índice de Bienestar Económico Sostenible), el GPI (Indicador de Progreso Genuino) o el EF (mide la huella ecológica). Todos estos son índices simples, que son construidos mediante la suma ponderada de los cambios en las series económicas individuales. Por otro lado, se encuentran los índices sintéticos globales, normalizados por instituciones internacionales como la OCDE. Esta organización presentó en 1998 una serie de indicadores subdivididos en dos tipos: medioambientales (9, ampliados a 10 en 2001) y socioeconómicos (6 en total).

Por otro lado, se encuentra una técnica muy extendida conocida como el método Batelle-Collumbus, que según Conesa (2010) es un modelo cuantitativo de evaluación del impacto medioambiental. Sin embargo, este método es semicuantitativo para valorar la importancia de un impacto, ya que incluye valoraciones subjetivas comprendidas entre 0 y 1 a partir de los cuales se requiere una interpretación o calificación de cada variable.

Gran parte del problema reside en que el impacto medioambiental y el desarrollo sostenible son conceptos lo suficientemente complejos como para requerir de un análisis multivariable, no pudiendo ser todas las variables medidas en su sentido técnico. Es por eso por lo que muchos parámetros acabarán siendo cualitativos, aunque pueden ser tratadas como semicuantitativas. Si se quiere emplear un método sintético, se deberán

uniformizar las variables cualitativas a escalas ordinales para poder ser cuantificadas como al menos semicuantitativas, ya que un componente de subjetividad siempre existirá en estos indicadores. Todo depende de cómo de estricto se requiere que sea el estudio y como de cuantitativo se desea que resulte. Como indica Oscar Alejandro Cuya (2014), un parámetro que podría ser evaluado sería la calidad de un determinado paisaje, un parámetro claramente cualitativo. Sin embargo, podría expresarse con una cierta puntuación de calidad, aunque seguirá manteniendo su naturaleza subjetiva. Una forma de cuantificar el método de Batelle-Collumbus podría ser de transformar la escala ordinal a una de intervalos, incluyendo un puntaje a la variable calidad del paisaje.

Canter (1977) dijo: “La forma más sencilla de definir una acción tan importante es comparar un impacto pronosticado con una norma de calidad medioambiental para un parámetro dado. Es posible hacer esto para muchas sustancias que se encuentran en el aire y el agua, por ejemplo, monóxido de carbono en la atmósfera y el oxígeno disuelto en el agua. Sin embargo, hay muchos parámetros del medio ambiente para los que la única norma descriptiva está disponible, como paisajes escénicos y sitios arqueológicos”. Esta afirmación no da muchas esperanzas al hecho de medir cuantitativamente bienes medioambientales para medir su impacto. Sin embargo, se podría darle alguna característica de empiricidad para poder así establecer que el impacto tenga un carácter cuantitativo, a pesar de establecer que el impacto es una función del cambio.

En resumen, muchos de los índices y métodos hasta la fecha tienen una componente de subjetividad asociados, por lo que tienen más un carácter semicuantitativo que propiamente cuantitativo. En el caso de ser un instrumento cualitativo o semicuantitativo, se tiene que considerar una muestra representativa de la población y no limitar el estudio a una muestra reducida. De aquí surge la necesidad de crear matemáticamente modelos que eliminen la subjetividad presente.

2.3.2.1 MÉTODO DE BATELLE COLLUMBUS

El método de Batelle-Collumbus, denominado así al ser desarrollado por un instituto que lleva el mismo nombre, es uno de los métodos cuantitativos existentes que más ha sido desarrollado cuyo fin es la valoración de bienes ambientales. Permite la evaluación sistemática de impactos ambientales a través del uso de indicadores homogéneos (Cotán-Pinto, 2007). Está diseñado para planificar proyectos a medio y largo plazo y así conseguir el menor impacto ambiental posible.

Se basa en el estudio de 78 parámetros ambientales estudiados por separado que nos muestran el impacto ambiental derivado de una determinada acción que se ha tenido en consideración. Estos 78 parámetros son recogidos en 18 componentes ambientales que a su vez se ordenan en 4 categorías ambientales, denominándose los diferentes niveles categorías, componentes, parámetros y medidas respectivamente. Los niveles están ordenados de forma creciente a medida que aumenta la información que aportan, siendo el nivel 3 (parámetros) la clave del sistema de evaluación al representar un aspecto significativo que debe tenerse en cuenta especialmente.

Para cada estudio de impacto ambiental concreto, se obtendrán los parámetros exigidos y se transformarán en unidades sumables y comparables. Las medidas de cada parámetro tomarán un valor de 0 a 1 tras ser transformados, valor que representa el índice de calidad ambiental. El valor de 1 es considerado como óptimo y el de 0 como pésimo, quedando comprendidos entre los dos los valores intermedios de calidad.

CATEGORIA AMBIENTAL	COMPONENTES	PARAMETROS	UNIDADES DE IMPACTOS AMBIENTAL (UIA)			SEÑALES DE ALERTA
			SIN PROYECTO	CON PROYECTO	CAMBIO NETO	
ECOLOGIA	Especies y poblaciones	Terrestres: - Pastizales y praderas - Cosechas - Vegetación natural . . .				
	Habitats y comunidades	Terrestres: - Uso del suelo . .				
CONTAMINACION AMBIENTAL						
ASPECTOS ESTETICOS						
ASPECTOS HUMANOS						

Tabla 2: Ejemplo de tabla de parámetros del método Batelle-Collumbus

El método de Batelle establece también la función de transformación de la calidad ambiental de unos parámetros, pudiendo ser lineal (la pendiente puede tener una pendiente positiva como en el caso de la extensión de tierra, negativa si se evalúa la cantidad de pesticidas en el agua) o teniendo un máximo intermedio (pH del agua). De esta forma, para evaluar la calidad de un determinado parámetro se deberá establecer en primer lugar la función de transformación y representarla gráficamente (índice de calidad en ordenadas y magnitud medida en abscisas). Para cada valor de magnitud con el que contemos, obtendremos el índice de calidad correspondiente a través de a gráfica.

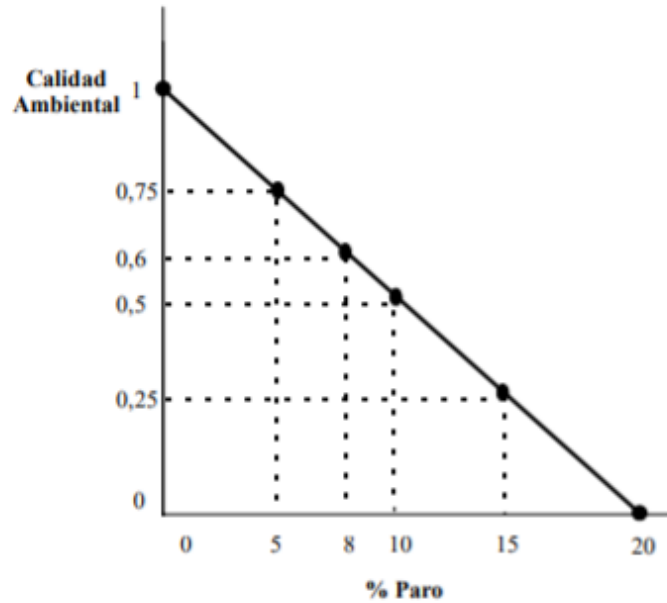


Ilustración 5: Ejemplo de función de transformación para el parámetro paro

Teniendo en cuenta que cada parámetro representa un aspecto en particular del medio ambiente, se debe disponer de una forma de unirlos a todos y así poder evaluar el conjunto, ofreciendo una imagen global. Para esto, hay que ponderar los parámetros según su relevancia y su contribución a la situación del medio ambiente. El método Batelle asigna a cada parámetro en consecuencia un peso relativo, expresado en “unidades de importancia” (UIP). Si asignamos un valor de 1000 unidades a la situación óptima medioambiental y ésta es la suma de las situaciones de cada parámetro definidos por sus UIP, siempre que todos ellos estén en su situación óptima. En el caso de que estos no lo hagan, se debe multiplicar su unidad de importancia por su calidad para así obtener la unidad de impacto ambiental (UIA), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$(UIP)_i = (UIA)_i * (CA)_i$$

Ecuación 3: Fórmula de la unidad de impacto ambiental

El impacto total del proyecto o acción será la suma de cada uno de los impactos expresados en UIA. Cuanto mayor sea el valor y más se acerque a 1000, menor será su impacto negativo en el medioambiente. Se puede contemplar además un sistema de “banderas rojas”, es decir, sistemas de alerta que informan en caso de que determinados parámetros hayan superado el umbral inadmisibles y supongan un punto frágil o crítico del proyecto.

Pero en el análisis de datos ordinales también se puede reescalar los datos a una escala de intervalo y más tarde emplear procedimientos estadísticos estándar para analizar datos de intervalo (Harwell y Gatti, 2001). Respecto a las escalas de intervalos, Hernández, Fernández y Baptista (2010) comentaron “que diversas mediciones en el estudio del comportamiento humano son verdaderamente de intervalo (por ejemplo, las

escalas de actitudes, pruebas de inteligencia y de otros tipos); pero se acercan a este nivel y se suele tratarlas como si fueran mediciones de intervalo. Esto se hace porque este nivel de medición permite utilizar las operaciones aritméticas básicas y algunas estadísticas modernas, que de otro modo no se utilizarían. Aunque algunos investigadores no están de acuerdo con suponer que tales mediciones sean de intervalo”.

Sin embargo, son muchos los que cuestionan el método de Batelle-Collumbus como método de carácter cuantitativo, como se ha comentado anteriormente.

2.3.2.2 MATRIZ DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE IMPACTO (RIAM)

La valoración de los impactos medioambientales es cada vez más extensa y exhaustiva en nuestro planeta, a pesar de contar con diferencias en función del país o región, debido a los intereses en las negociaciones de reguladores, desarrolladores u otros grupos de interés. La matriz de evaluación rápida de impacto (Rapid Impact Assesment Matrix originalmente, de ahí sus siglas RIAM) trata de establecer unos criterios estandarizados mediante valores semicuantitativos, para llegar a valores precisos e independientes para las condiciones dadas (BABA, 2007). El impacto de las actividades es evaluado en referencia a diferentes componentes medioambientales y una puntuación es calculada para cada uno de estos componentes, lo que proporciona información sobre el impacto esperado en cada ámbito.

Por otro lado, este método parte de la base de que existen criterios comunes a todas las valoraciones medioambientales, lo que hace posible calcular los valores de las valoraciones ya hechas. Otro aspecto importante es que permite trabajar con impactos tanto positivos como negativos.

Debido a que no todos los criterios cuentan con el mismo peso, esta metodología distingue entre aquellos que tienen un impacto individualmente y aquellos que generan un impacto colectivo. Mediante una simple fórmula pueden ser combinados para llegar a una puntuación final. Sin embargo, estas puntuaciones no son suficientes para comparar de una forma incuestionable diferentes impactos, debido a que siguen contando con una componente de subjetividad. Por eso se definen diferentes rangos, estableciendo condiciones para los máximos y mínimos en cada rango, estando el resultado final representado por los rangos de valores derivados.

Como se ha comentado, los criterios se dividen en:

- A. Criterios que son de importancia para la condición y que pueden cambiar de forma individual la puntuación obtenida.
- B. Criterios que generan valor a la situación pero que individualmente no deben ser capaces de cambiar la puntuación.

El sistema de puntuación requiere de una simple multiplicación de los valores asignados a cada criterio del grupo A. Sin embargo, los valores del grupo B son sumados entre sí para asegurarse que los valores individuales no afectan al resultado, pero sí se tienen en cuenta colectivamente. La suma de estos valores del grupo B es multiplicada por el resultado del grupo A.

De esta forma el proceso se puede representar como:

$$A_1 * A_2 * \dots = AT$$

$$B_1 + B_2 + \dots = BT$$

$$AT * BT = ES$$

Ecuación 4: Puntuación RIAM

Los criterios que pertenecen a cada grupo son:

- Grupo A:
 - Importancia de la condición (A_1): en relación con los intereses humanos implicados. Su escala es de 0 (sin importancia) a 4 (importante a nivel de intereses nacionales/internacionales).
 - Magnitud del cambio/efecto (A_2): medida en base al beneficio o perjuicio del impacto. Su escala es de -3 (gran perjuicio) a 3 (gran beneficio).
- Grupo B:
 - Permanencia (B_1): establece si una condición es temporal o permanente. Sus posibles valores son 1 (no aplica), 2 (temporal) o 3 (permanente).
 - Reversibilidad (B_2): define si una condición es reversible o no. Puede tomar los valores de 1 (no aplica), 2 (reversible) o 3 (irreversible).
 - Acumulación (B_3): explica si una condición tiene un impacto directo o si tiene un efecto acumulativo a medida que pasa el tiempo, de forma que ocurre una sinergia. Sus posibles valores son 1 (no aplica), 2 (no acumulativo) o 3 (acumulativo).

Por otro lado, RIAM distingue entre diferentes tipos de categorías, en las que se dividen los componentes medioambientales.

- Física/Química: cubre los aspectos físicos y químicos del medioambiente, incluyendo recursos naturales limitados y la degradación del medio físico debido a la polución.
- Biológica/Ecológica: hace referencia a los aspectos biológicos, incluyendo recursos renovables, la conservación de la biodiversidad y la polución en la biosfera.
- Sociológica/Cultural: cubre los aspectos humanos del medioambiente, incluyendo problemas sociales que afectan a los individuos y las comunidades, así como los culturales como la evolución humana.
- Económica/Operacional: de forma cualitativa identifica las consecuencias económicas de los cambios, tanto temporales como permanentes.

2.3.3 CONCLUSIONES

En resumen, los métodos de carácter cualitativo han sido extensamente utilizados hasta la fecha y se caracterizan por el empleo de cuestionarios u otra forma de recolección de información acerca de la reputación, imagen o impacto de una determinada medida, organización o acción. Pueden abordar temas más extensos, a pesar de no ser muy adecuados cuando se trata con indicadores de entrada cuyas unidades de medida son muy diferentes entre sí. Sin embargo, cuentan con una componente de subjetividad que, debido a la precisión requerida hoy en día, debe ser eliminada de los resultados obtenidos.

Ante esta necesidad han surgido técnicas que pretenden eliminar los sesgos asociados a las técnicas anteriores. El método de Batelle-Collumbus es el más extendido, a pesar de ser considerado por muchos expertos como un método semicuantitativo. El mismo problema presenta la Matriz de Evaluación Rápida de Impacto. Es por eso por lo que surge la necesidad de crear una forma más objetiva de valorar la sostenibilidad de una empresa, que es el objetivo de este proyecto.

CAPÍTULO III: PREPARACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO III

Todas las metodologías vistas anteriormente cuentan con algo en común: parten del análisis de una serie de parámetros que permiten llevar a cabo la valoración del propio bien. Sin un criterio o base como pueden ser estos parámetros, no se podría determinar el impacto, ya que no contaríamos con unidades de medida sobre las que construir las conclusiones. Por ejemplo, si se quiere ver el impacto que tiene una empresa sobre la contaminación atmosférica, se deben tener en cuenta como parámetros las emisiones de CO₂ liberadas durante las actividades que realizan, entre otras cosas.

Es por eso, que el primer paso para crear un índice de carácter cuantitativo es establecer qué indicadores se van a emplear para esto, para poder evaluar la sostenibilidad medioambiental de una empresa en base a una serie de parámetros comunes. De esta forma, podremos comparar diferentes empresas de acuerdo con un criterio común, evaluando ambas en función de las mismas características. De esta forma estos indicadores nos facilitarán información clave para tomar una decisión determinada en una situación en particular, como a la hora de aceptar o no proyectos sabiendo el impacto que pueden tener en el medioambiente.

Esta sección no trata únicamente de escoger los indicadores más apropiados para tener una visión global y genérica de los impactos en el ámbito industrial, sino elegir también el modo en el que se van a tratar estos datos que van a conformar el modelo. Existen, por ejemplo, diferentes formas de puntuar cada una de las variables escogidas para asignarlas pesos diferentes en función de la importancia que tengan sobre el cómputo global. Por otro lado, también puede haber diferentes formas de agregar estas puntuaciones para la creación del índice. Es esa la razón por la que surge la necesidad en este apartado de decidir sobre estos aspectos.

3.2 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES

Es fundamental poder escoger los indicadores de forma que proporcionen la información más relevante acerca de lo que se está evaluando. Una pobre comprensión de la información o una mala elección de ésta puede conllevar malas interpretaciones y consecuentemente la toma de malas decisiones. En este sentido, el indicador actúa como una herramienta para alcanzar un objetivo y o un fin en sí mismo.

Si bien se han desarrollado numerosos indicadores medioambientales para analizar y describir diversos fenómenos e impactos como el clima o el deterioro de los suelos, no contamos con una definición propia de lo que es un indicador, variando en función de los objetivos de la institución en un determinado momento. Según la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), un indicador ambiental es “un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente

asociado con el valor del parámetro en sí mismo” (OCDE, 1998). Según la OCDE, las funciones principales de los indicadores medioambientales son:

1. Evaluar el progreso ambiental.
2. Reducir el número de parámetros que se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible de la realidad.
3. Simplificar los procesos de comunicación.

Por otro lado, la OCDE creó en el año 1990 un programa específico de indicadores medioambientales, después de que se solicitase en la cumbre de 1989 del G-7. Sugirió que no hay un grupo único de indicadores universales, sino que dependiendo del propósito hay unos que son más útiles que otros en esa circunstancia. Este programa condujo a la publicación del “OCDE Core Set of Environmental Indicators” del año 1993 (OCDE, 1993), en el que se recogían los principales indicadores.

Tras esto ha habido numerosas modificaciones, añadiendo nuevos indicadores que se consideran importante y eliminando aquellos que dejan de ser pertinentes para las investigaciones. La última modificación fue en el año 2007 con la creación del documento “Indicadores de Desarrollo Sostenible: Directrices y Metodologías” (United Nations, 2007). En el año 2017, en línea con los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (United Nations, 1987), tuvo lugar una asamblea en la que se recogieron distintos indicadores que pretendían lograr estos objetivos para el año 2030.

De manera que se usen las fuentes más actualizadas posibles y que en estén en línea con los objetivos actuales de la sociedad, se usará el documento más reciente que contenga indicadores relevantes para el estudio, por lo que se tomará como referencia la guía metodológica del año 2017. Estos indicadores principales deben seguir tres principios básicos:

- Cubren temas relevantes para el desarrollo sostenible en la mayoría de los países.
- Proporcionan información crítica que no está disponible en otros indicadores.
- Pueden ser calculados por la mayoría de los países con datos que pueden ser obtenidos directamente o a través de un proceso, siempre el que el tiempo y coste empleados sean razonables.

Estos indicadores se dividen según el Objetivo de Desarrollo Sostenible que pretendan medir. Sin embargo, estos 17 objetivos hacen referencia a una multitud de temas diferentes (Ver Anexo A: Objetivos de Desarrollo Sostenible). Como el fin de este trabajo es cuantificar la sostenibilidad medioambiental en el ámbito industrial, no todos son igual de relevantes. Por ejemplo, la proporción de personas en riesgo de pobreza no sirve para explicar de forma clara la sostenibilidad que tiene una empresa u organización. Por otro lado, indicadores como las emisiones de gases de efecto invernadero pueden ser parámetros clave a la hora de crear el índice.

De esta forma, de entre todos los indicadores propuestos por Naciones Unidas, se escogerán aquellos que ayuden a asignar una unidad de medida/o dar un valor a los bienes medioambientales, pudiendo estudiar así la repercusión de la sostenibilidad en el coste global de la empresa. Es por eso por lo que deben estar relacionados con el ámbito industrial y, además, medir de alguna forma la sostenibilidad.

En consecuencia, se han escogido finalmente los siguientes indicadores, junto con el objetivo con el que están relacionados (Naciones Unidas, 2017):

#	Objetivos e indicadores de Naciones Unidas
	Objetivo 5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas
1	5.5.2 Proporción de mujeres en puestos directivos
	Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos
2	6.4.1 Cambio en la eficiencia del uso del agua a lo largo del tiempo
	Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos
3	7.3.1 La intensidad energética medida en términos de energía primaria y el PIB
	Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
4	8.4.1 Huella material, huella material per cápita y huella material por PIB
5	8.5.1 Ganancia media por hora de las mujeres y los hombres, por ocupación, edad y personas con discapacidades
6	8.8.1 Índices de frecuencia de lesiones profesionales mortales y no mortales, por sexo y condición de inmigrante
	Objetivo 9. Construir infraestructuras resistentes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
7	9.4.1 Emisión de CO ₂ por unidad de valor añadido
8	9.4.1 Emisión de NO _x por unidad de valor añadido
	Objetivo 12. Garantizar modelos de consumo y producción sostenibles
9	12.4.2 Residuos peligrosos generados per cápita y proporción de residuos peligrosos tratados, por tipo de tratamiento
	Objetivo 17. Reforzar los medios de aplicación y revitalizar la Asociación Mundial para el Desarrollo Sostenible
10	17.14.1 Número de países que cuentan con mecanismos para mejorar la coherencia política del desarrollo sostenible

Tabla 3: *Objetivos e Indicadores de Naciones Unidas*

Sin embargo, Naciones Unidas pretendía monitorizar con estos indicadores la actuación de cada país en referencia a los objetivos de 2030. A consecuencia de esto, la mayoría están formulados de forma que hacen referencia a valores per cápita o al PIB del país. Para poder implementarlos en nuestro proyecto, será necesario reformular algunos de ellos y así hacerlos aplicables a una empresa y al sector industrial.

A continuación, y para cada uno de los indicadores se explicará cómo se ha ajustado al trabajo y las unidades que se van a emplear:

- 1) **Proporción de mujeres en puestos directivos:** su unidad será un porcentaje.
- 2) **Cambio en la eficiencia del uso del agua a lo largo del tiempo:** para simplificar, se utilizará la productividad económica del agua que es la cantidad de riqueza generada por cada metro cúbico de agua. Su unidad será el dólar.
- 3) **La intensidad energética medida en términos de energía primaria energía primaria y el PIB:** al igual que para el agua, se utilizará la productividad energética, o cantidad de riqueza generada cada kg de combustible empleado. Su unidad será el dólar.
- 4) **Huella material, huella material per cápita y huella material por PIB:** se utilizará la productividad de residuos que indica la riqueza generada por kg de residuo generado. Su unidad es el dólar.
- 5) **Ganancia media por hora de las mujeres y los hombres, por ocupación, edad y personas con discapacidades:** se medirá la diferencia de sueldos entre el CEO de la empresa y el salario medio de la empresa. Será un cociente adimensional.
- 6) **Índices de frecuencia de lesiones profesionales mortales y no mortales, por sexo y condición de inmigrante:** se medirá el número de lesiones por trabajador en la empresa.
- 7) **Emisión de CO₂ por unidad de valor añadido:** se tomará la productividad del carbón o la riqueza generada en dólares por cada kg de carbón liberado.
- 8) **Emisión de NO_x por unidad de valor añadido:** se tomará la productividad del óxido de nitrógeno o la riqueza generada en dólares por cada kg de NO_x liberado.
- 9) **Residuos peligrosos generados per cápita y proporción de residuos peligrosos tratados, por tipo de tratamiento:** se tomará la productividad de los VOC (compuestos orgánicos volátiles) y su unidad será el dólar
- 10) **Número de países que cuentan con mecanismos para mejorar la coherencia política del desarrollo sostenible:** se empleará la productividad de la gestión de proyectos que representará la riqueza en dólares por cada unidad de tiempo y dinero empleado.

Tras haber ajustado los indicadores en función de nuestros intereses, se presentan a continuación los indicadores finales que se van a emplear:

#	Indicadores	Unidades
1	Proporción de mujeres en puestos directivos	%
2	Productividad del agua	Dólar
3	Productividad energética	Dólar
4	Productividad de residuos	Dólar
5	Ratio sueldo CEO - trabajador	Adimensional
6	Lesiones por trabajador	Nº de lesiones
7	Productividad del CO2	Dólar
8	Productividad del NOx	Dólar
9	Productividad de los compuestos orgánicos volátiles	Dólar
10	Productividad de la gestión de proyectos	Dólar

Tabla 4: Unidades de los indicadores

3.3. SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El objetivo de este apartado es el de decidir cuál va a ser el método de aplicación de la creación del índice sintético, ya que no hay una metodología concreta usada extendidamente para este caso. Para ello se valorarán diferentes opciones y en base a sus ventajas y desventajas se elegirá la más adecuada de forma que se extraiga la máxima información posible de los indicadores escogidos en el apartado anterior.

El índice sintético deseado es un índice compuesto de indicadores individuales, utilizado como herramienta para analizar sucesos complejos y multivariantes, como es el caso del impacto medioambiental de una empresa, que cuenta con un número elevado de variables. En las últimas décadas han surgido numerosos rankings que buscaban agrupar en un único indicador una serie de variables relacionadas con una temática, teniendo cada una de ellas diferentes objetivos, pero en ocasiones relacionadas entre sí.

Para entender mejor la necesidad de usar indicadores compuestos se presentarán a continuación una serie de ventajas y desventajas respecto a otros indicadores (Nardo y Saisana, 2009):

Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Pueden resumir conceptos complejos o multidimensionales para la toma de decisiones• Permiten comparar de forma efectiva entre diferentes dimensiones de alta complejidad• Son más sencillos de interpretar que tratar de encontrar tendencias entre indicadores separados• Reducen el tamaño de un conjunto de indicadores sin perder información• Facilitan la construcción de rankings en unidades de análisis
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Pueden ser mal empleados para apoyar una determinada política, en el caso de que no haya una transparencia real• Pueden conllevar conclusiones demasiado simplistas• En el caso de ser mal contruidos o interpretados erróneamente, pueden ser engañosos• Pueden disimular problemas serios en algunas dimensiones y disminuir la capacidad de actuación ante ellos

Tabla 5: Ventajas y desventajas de los indicadores compuestos

La validez y calidad de un determinado indicador compuesto viene dado por dos factores principalmente: en primer lugar, de la calidad de los datos que son empleados para su construcción y en segundo lugar la metodología empleada en la construcción (Camacho y Horta, 2020).

Para la construcción del indicador compuesto, se plantean una serie de etapas que forman una secuencia deseada (OCDE, 2008):

1. Construcción del marco teórico: se debe definir con claridad el fenómeno que va a ser medido y evaluado de forma que cada subcomponente defina las dimensiones del indicador compuesto. Debe ayudar a la elección de los indicadores individuales, así como al peso de cada uno que refleje la importancia relativa.
2. Selección de variables: debe de ser guiada por el marco teórico y puede contar con un alto componente de subjetividad, ya que diferentes conjuntos de datos pueden ser igualmente válidos.
3. Tratamiento de datos: se pretender eliminar aquellos valores que sean atípicos y además imputar los datos faltantes.

4. Análisis multivariado: su objetivo es comprobar que la estructura de los indicadores es coherente tanto conceptual como estadísticamente.
5. Normalización de variables: en la mayoría de los casos las diferentes variables cuentan con distintas unidades de medida, debido a la complejidad del fenómeno a evaluar. Mediante el uso de diferentes técnicas como el ranking o el z-score se normalizarán los datos para poder trabajar con ellos en conjunto.
6. Ponderación: es de vital importancia decidir de qué manera se van a agregar los indicadores individuales en cada dimensión y más tarde las diferentes dimensiones para construir el índice final.
7. Agregación: guarda una estrecha relación con la ponderación. Representa la forma de agregar los indicadores individuales. Puede ser mediante la multiplicación, la suma o mediante otras técnicas no lineales.
8. Análisis de sensibilidad y robustez: se deben realizar juicios para la toma de decisiones, como el análisis de sensibilidad que analiza por ejemplo cuanto contribuye cada fuente de incertidumbre a la varianza del puntaje final.

La mayoría de las técnicas existentes para la creación de índices sintéticos difieren en la forma de ponderar y agregar los indicadores del sistema inicial. Para ello se evaluarán aquellas que tengan una mayor aplicabilidad práctica y sea de mayor relevancia, dando importancia a aquellas que eliminen en medida de lo posible el componente de subjetividad asociado al indicador sintético, que no sean operacionalmente muy complejas o que cuenten con resultados fácilmente interpretables.

3.3.1 AGREGACIONES SIMPLES

Un gran número de los indicadores sintéticos creados en la actualidad emplean proyecciones lineales de una única dimensión, generando medias ponderadas de indicadores individuales, diferenciándose únicamente en la normalización de los subindicadores. Para ello, la condición necesaria es que las unidades de medida de todos los subindicadores sean las mismas. Entre las diferentes formas de ponderación, la forma más extendida es la ponderación mediante pesos de la misma cuantía, cuya principal característica es la agregación de la información mediante la suma, asignando el mismo peso a todos los subindicadores, mediante la fórmula (Domínguez, Blancas, Guerrero, González, 2010):

$$IS_i = w * IN_{i1} + w * IN_{i2} + \dots + w * IN_{im} = \sum_{j=1}^m w * IN_{ij}$$

Ecuación 5: Fórmula de la agregación simple

donde IN_{ij} representa el valor normalizado del valor j para la unidad i y w el peso otorgado a los indicadores (nótese que el peso w es 1 partido del número total de indicadores, de forma que todos cuenten con el mismo peso).

A pesar de la simplicidad dada por esta técnica, existen ciertos inconvenientes, como el hecho de que ignora las relaciones causales entre los indicadores, de forma que en el caso de que variables tuviesen cierto grado de correlación entre sí, no se estaría teniendo en cuenta y el efecto producido se contabilizaría dos veces.

3.3.2 MÉTODOS PARTICIPATIVOS

Los métodos participativos crean medidas sintéticas a partir de las valoraciones subjetivas de un grupo de referencia, en base a los criterios establecidos con anterioridad. Son empleados para evaluar conceptos en los que no es posible definir un conjunto de indicadores de carácter cuantitativo. Entre los métodos participativos destacan el método de opinión pública (Cottrell, 2004) y el método de panel de expertos (Ugwu *et al.*, 2006). Estas dos metodologías solo difieren en el colectivo al que van dirigidos, funcionando de la misma manera. Las ponderaciones de los indicadores son calculadas a partir de las opiniones subjetivas del conjunto seleccionado, mediante la fórmula:

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{s=1}^m q_s}$$

Ecuación 6: Fórmula de las ponderaciones por métodos participativos

A partir de la puntuación media atribuida al indicador I_j (q_j) y la puntuación media atribuida al indicador I_s de la dimensión s (q_s), se calcula el peso asignado al indicador I_j (w_j).

A pesar de contar con algunas ventajas como la capacidad de trabajar con sistemas en los que no es posible definir indicadores cuantitativos, tiene una serie de inconvenientes. Como principal fuente de problemáticas destaca la fiabilidad de las ponderaciones resultantes, ya que cada individuo tiene un criterio distinto debido a la subjetividad asociada y una perspectiva diferente. Esto se ve incrementado por el grado de conocimiento de la persona.

3.3.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Las técnicas de análisis multivariante surgen ante la necesidad de solucionar el problema de la doble contabilización de información debido a la correlación entre variables, así como el de la asignación de valores concretos a las ponderaciones.

3.3.3.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es utilizado tradicionalmente con el fin de reducir el número de variables iniciales, de forma que se explique el mayor porcentaje posible de variabilidad de la muestra trabajando con un número reducido de

variables denominadas componentes principales, obteniéndose a partir de combinaciones lineales de los datos de partida. Por ello requiere que los datos tengan cierto grado de correlación entre sí en el sistema inicial (Nardo, 2005). Se suele aplicar en indicadores que tienen las mismas unidades de medida o que han sido normalizados.

El ACP ha sido extensamente utilizado debido a que proporciona una serie de variables ortogonales (no existe correlación entre ellas), que cuentan con una media aritmética de valor cero y varianza máxima. Además, es especialmente útil en casos en los que no existe un consenso entre los expertos sobre como de importante son las variables. La manera de obtener los componentes principales es la siguiente:

$$Z_h = \sum_{j=1}^m w_{hj} * IN_j$$

Ecuación 7: Fórmula para obtener las componentes principales

donde w_{hj} representa las ponderaciones h que definen el componente principal h .

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, se divide la obtención de los indicadores sintéticos mediante ACP en dos fases. La primera sirve para obtener un indicador sintético por cada dimensión inicial y la segunda para obtener la medida global a partir de las medidas intermedias. Sin embargo, existen diversos métodos de agregación posibles. Por un lado, se puede obtener el indicador global a partir de los dimensionales (Bobek y Vide, 2005) y por otro se puede realizar la segunda fase de la agregación a partir de indicadores representativos de cada dimensión (Castro, 2004).

Independientemente de la forma de agregación empleada, el ACP presenta ciertas ventajas respecto a los métodos anteriores. En este caso, el analista no es necesario para determinar el peso de cada indicador original, sino que son calculados a partir del ACP. El papel del analista se basa en elegir el procedimiento que se va a utilizar para obtener el índice sintético. Además, el indicador resultante mediante este procedimiento tiene en cuenta las relaciones entre las variables de entrada, evitando la doble contabilización de la información disponible.

Sin embargo, existen una serie de limitaciones al interpretar el indicador resultante. El ACP minimiza la contribución de aquellos indicadores que cuentan con una correlación menor entre sí, y también los indicadores sintéticos muestran una alta sensibilidad a variaciones en los datos de partida. Es por eso que se dificulta la introducción de nuevos indicadores al sistema o la simple actualización de variables originales. De la misma forma, al contar con un número reducido de indicadores formados a partir de combinaciones lineales de los originales, aumenta en gran medida la dificultad para interpretar los resultados y analizar el impacto de cada variable en el resultado final.

3.3.4 INDICADORES BASADOS EN DISTANCIAS

Otra manera de crear un índice sintético es mediante la medición de la “distancia” o diferencia entre los valores originales y los objetivos que se pretenden alcanzar.

Consecuentemente, se puede observar que dimensiones requieren de una inmediata actuación, en función de mayor o menor distancia entre el estado observado y el deseado por el analista. En este tipo de indicadores el peso asignado a cada subindicador tiene como valor el ratio entre el valor del subindicador y el objetivo, siempre expresados en las mismas unidades.

Para cada dimensión i , se define el indicador como:

$$IS_i = \sum_{j=1}^m \frac{d_{ij}}{\sigma_j} * (1 - R_{j,j-1,j-2,\dots,1}^2)$$

Ecuación 8: Fórmula para indicadores basados en distancias

donde:

d_{ij} es la distancia entre la unidad i y la referencia establecida para cada indicador j ;

σ_j es la desviación típica asociada al indicador j ;

$R_{j,j-1,j-2,\dots,1}^2$ es el coeficiente de determinación múltiple de la regresión lineal del indicador I_j respecto a los indicadores I_s (Zarzosa, 2005).

Este procedimiento cuenta con varios aspectos positivos. En primer lugar, debido a que cada distancia d_{ij} es dividida por la desviación típica de cada indicador que está expresada en las mismas unidades, el resultado es adimensional y no requiere del paso de normalización requerido para poder agregar los indicadores iniciales. En segundo lugar, no es necesario que el analista establezca los valores para los pesos *a priori*, ya que la distancia es invariante frente a la situación de referencia, siempre que se tome un valor máximo superior al de referencia y otro mínimo inferior a éste. Por último, los resultados obtenidos son fácilmente interpretables ya que se mide cada valor con respecto a la referencia y su comparación es sencilla.

No obstante, la gran problemática asociada a la metodología basada en distancias es que el índice sintético se ve afectado por el orden o secuencia en el que son introducidos los indicadores iniciales del sistema. Para que haya una única solución es necesario iterar en base al indicador de Frechet para determinar la secuencia de entrada de los indicadores en función de la información que proporcionan.

3.3.5 TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

En este tipo de metodologías el analista debe modificar los datos del sistema en criterios objetivos, lo que significa que el decisor sólo deba introducir sus preferencias. Una vez se da este paso, el analista debe aplicar la técnica de decisión multicriterio escogida, asignar los pesos a cada criterio y decidir sobre el proceso de agregación que conllevará la obtención del índice sintético. Dependiendo del tipo de técnica empleada, estas decisiones variarán.

3.3.5.1 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP) es un método de carácter discreto que permite obtener medidas sintéticas mediante varias etapas de agregación (Saaty, 1980). De la misma manera, se distinguen cuatro principios que forman la base del proceso (Narayanan, 2007, Ramzan, 2008): estructuración del problema mediante jerarquías, valoración mediante una escala ratio obtenida a partir de la comparación entre pares de elementos, establecimiento de prioridades y consistencia lógica. De esta forma es necesario que el analista realice los siguientes pasos:

1. Realizar un *clustering* de los indicadores iniciales en función de la dimensión a la que pertenecen y estructurarlos jerárquicamente.
2. Comparar por pares y de forma independiente los elementos, en función de su relevancia respecto al elemento situado inmediatamente sobre ellos en el nivel superior y del cual dependen. Además, deberá el analista cuantificar la importancia de cada indicador en base a una escala previamente fijada.
3. Mediante una serie de ponderaciones utilizando los valores del autovector asociado al autovalor de la matriz definida a partir de las comparaciones entre elementos del mismo grupo, obtener la importancia de los indicadores de cada dimensión (Saaty, 1990).
4. Calcular el índice sintético mediante la suma total de los productos de cada indicador y los elementos que estén jerárquicamente por encima y de los que dependa.

La utilización del método AHP para el cálculo de indicadores sintéticos crea un proceso con un mayor grado de transparencia, al estar todos los elementos organizados por jerarquías, además de ser fácil de aplicar y de interpretar por los usuarios. En segundo lugar, permite trabajar con indicadores iniciales tanto de carácter cualitativo como cuantitativo.

No obstante, dado que las comparaciones entre pares son realizadas por el decisor, los resultados dependen en cierto grado de la subjetividad asociada al individuo, sobre todo en casos en los que se cuenta con un alto número de indicadores. Asimismo, los indicadores sintéticos son muy sensibles a variaciones en el conjunto de indicadores originales (Hafeez, 2002), incluso al introducir indicadores irrelevantes.

3.3.6 CONCLUSIONES

Como se ha demostrado, hay numerosas metodologías empleadas con el fin de obtener un índice sintético. Cada una cuenta con pros y contras que las hacen más o menos adecuadas para un determinado caso.

En cuanto a las técnicas de agregación simples, pueden ser ventajosas en casos en los que se requieran medidas computacionalmente sencillas y fácilmente interpretables, pero asegurándose de la no contabilización doble de los datos de partida.

Los métodos participativos son recomendables cuando se trata datos de carácter cualitativo y no existe información cuantitativa sobre el sistema a evaluar. Para ello es necesario un equipo de expertos y evaluadores que sean consultados y aporten información subjetiva. Sin embargo, es de suma importancia que estén cualificados y presenten un conocimiento extenso en la materia, con el fin de incrementar la fiabilidad de los resultados.

En cuanto a los métodos basados en el análisis multivariante, son más adecuados en circunstancias en las que el analista requiera de una fijación objetiva de las ponderaciones y que desee eliminar la doble contabilización de la información. Esto conlleva una interpretación con un mayor grado de dificultad y unos resultados muy dependientes de las variables de entrada.

Las metodologías basadas en las distancias simplifican en gran medida la interpretación de los resultados, pero a costa de que otorga un mayor peso a aquellos indicadores que presentan una correlación menor que el resto.

Por último, los indicadores resultantes del uso de las técnicas de análisis multicriterio tienen en cuenta las preferencias del decisor lo que establece un criterio y hace más sencilla la interpretación de los resultados. Sin embargo, es necesario asignar externamente un procedimiento de ponderación de los indicadores de partida, lo que determina en parte los resultados.

Debido al carácter objetivo que pretende alcanzar este proyecto para la valoración de la sostenibilidad ambiental de las empresas, se ha descartado emplear cualquier método participativo que este condicionado por la subjetividad de los individuos. Debido a la gran cantidad de indicadores de partida con los que se va a contar y a la complejidad asociada, el método más adecuado es mediante la agregación simple.

Como se ha comentado, el único problema que tiene esta metodología es la doble contabilización de los datos. Sin embargo, esto se podría solucionar en el paso de análisis multivariante ya que se tienen en cuenta las relaciones entre variables y mediante su observación se puede eliminar el problema. Sin embargo, se utilizará el Proceso Analítico Jerárquico para la ponderación de los indicadores, para no dar el mismo peso a todos los indicadores.

CAPÍTULO IV: CREACIÓN DEL ÍNDICE

4.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO IV

Una vez recogida la colección de indicadores que han sido considerados relevantes para evaluar el impacto medioambiental de una empresa y la metodología que se va a emplear para su agrupación, es hora de la propia creación del índice sintético.

Como primer paso, se entrará en más detalle en la metodología de decisión multicriterio, con el fin de que se aclaren los objetivos deseados con esta técnica. Más adelante, se desglosará el proceso de construcción del índice en los pasos comentados anteriormente:

- Construcción de un marco conceptual teórico
- Selección del conjunto de indicadores simples
- Tratamiento de datos
- Análisis multivariante
- Normalización de los datos
- Ponderación de los indicadores simples
- Agregación de los indicadores simples

Al ya haber realizado los dos primeros puntos en las secciones anteriores, se saltará automáticamente al tratamiento de datos.

4.2 TRATAMIENTO DE DATOS

Es de suma importancia saber cómo se van a manejar los datos, ya que son la fuente de información que van a permitir extraer las conclusiones sobre el bien que se va a estudiar. Este tratamiento de datos está compuesto de dos partes: una es la imputación de datos faltantes y la otra la detección de valores atípicos (Cerdá, 2014).

4.2.1 IMPUTACIÓN DE DATOS FALTANTES

Es altamente recomendable realizar una exploración con el fin de averiguar si los datos con la información deseada concuerdan con las ideas que llevaron a su elección. Es posible que se manifieste una ausencia de información de forma parcial que puede conllevar dificultades en etapas posteriores, derivando en unas conclusiones erróneas.

Esta imputación ha sido definida como el “*proceso de estimación de datos faltantes basado en datos disponibles de otras variables y/o casos de la muestra*” (Hair et al., 2007). Se basa en encontrar relaciones entre las variables originales para a partir de datos que sí se conozcan, poder estimar los faltantes. Sin embargo, el analista debe tener en

consideración el uso de esta técnica, ya que es posible que los datos posteriores estén impactados en gran medida por esto.

Para poder estimar los datos faltantes es necesario conocer el grado de aleatoriedad de los datos faltantes. Si por ejemplo se observan dos indicadores X_1 e X_2 (siendo el segundo de ellos el que cuenta con datos faltantes), son posibles patrones asociados al grado de aleatoriedad:

- Pérdida de datos completamente ocasional (Missing completely at random, MCAR): el proceso es completamente aleatorio. En este escenario, los valores observados de X_2 son una muestra aleatoria de valores de X_2 sin un proceso subyacente que sesgue los datos observados. Si los datos faltantes siguen este patrón, cualquier solución es válida sin tener en cuenta el impacto de otro indicador.
- Pérdida de datos ocasional (Missing at random, MAR): Los datos que están ausentes siguen la forma *Missing at random* si se cumple que estos valores dependen de X_1 pero no de X_2 . Eso significa que los valores observados para X_2 son parte de la muestra de los valores reales de X_2 para cada valor de X_1 . Aunque el proceso de imputación de los datos faltantes es aleatorio en la muestra, no es generalizable para la población.
- Pérdida de datos sistemática (Not missing at random, NMAR): Los datos ausentes no son aleatorios si se da el caso que existan diferencias significativas para casos de X_2 con datos que sean válidos y datos ausentes en función de los valores de X_1 .

Desafortunadamente no existen métodos estadísticos que permitan tratar con la pérdida de datos sistemática, y en muchas ocasiones es difícil saber si la falta de datos se debe a una pérdida ocasional o sistemática.

Existen numerosos métodos de imputación en la actualidad y es un campo que se sigue desarrollando. En nuestro caso se tendrán en cuenta:

- Imputación por eliminación: este procedimiento se caracteriza por su sencillez, ya que se basa en omitir aquellos datos faltantes. En la creación de un índice compuesto significa la no utilización de algún indicador de partida, por lo que implica descartar en muchos casos datos que han sido obtenidos previamente. No es un procedimiento utilizado frecuentemente para indicadores compuestos, ya que uno de los principales objetivos de estos es mantener la mayor cantidad de información a través del mayor número posible de indicadores. Por último, cabe destacar que incrementa notablemente los errores en muestras pequeñas, ya que se utiliza aún menos información.
- Imputación simple: consiste en completar la información faltante con datos estimados a partir de la información de la muestra. Entre las diferentes formas de imputación simple existentes, una de las más extendidas es la imputación por el método de la Media/Mediana/Moda no condicionada, en el que se sustituye el valor ausente por un indicador cuyo valor medio se calcula sobre las respuestas que sí están disponibles.

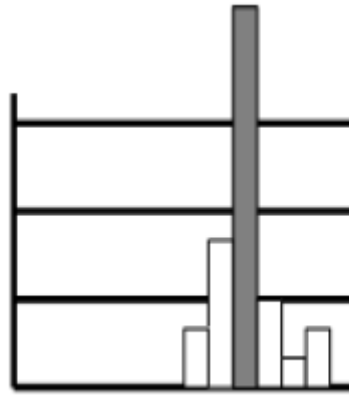


Ilustración 6: Imputación por media

Con este método los valores medios se mantienen. Sin embargo, otros factores como la varianza, covarianza o los cuartiles pueden verse afectados, por lo que la distribución no se mantiene.

Tomando X_q como la variable asociada al indicador de partida q con $q=1, \dots, Q$, y x_{qc} el valor observado de X_q para la unidad de análisis c con $c=1, \dots, C$. Para cada unidad de análisis c es m_q el número de valores registrados (y $M - m_q$ el número de faltantes). La media no condicional se calcula entonces de la forma (Nardo et al., 2008):

$$\bar{X}_q = \frac{1}{m_q} \sum_{\text{registrados}} x_{qc}$$

Ecuación 9: Fórmula de la media no condicional

Como alternativa un poco más compleja se puede utilizar el método de regresión lineal en el que en lugar de tener en cuenta la columna de la variable que falta se tienen en cuenta varias de forma que se genera una combinación lineal entre las variables y se puede predecir el dato con el que no se cuenta.

Sin embargo, hay un gran problema asociado al empleo de la imputación por Media y es que modifica la forma de la distribución. A pesar de que el nuevo conjunto de datos mantenga la media, la varianza se ve afectada por la introducción de los nuevos datos.

Es por eso por lo que se utilizará el modelo de regresión lineal. A partir de datos que sí se tengan de otras empresas, y los datos de otras dimensiones de la misma empresa, se generará una combinación lineal que no afecte la distribución de la muestra, además de no ser un valor elegido aleatoriamente.

4.2.2 DETECCIÓN DE VALORES ATÍPICOS

La detección de valores atípicos se puede detectar desde una perspectiva univariante o multivariante (Hair et al., 2007).

En lo que respecta a la perspectiva univariante, esta clasifica como valores atípicos aquellos que caen fuera de unos determinados rangos de distribución. Es recomendable estandarizar los datos de forma que tengan una media de cero y una desviación típica de uno para poder comparar diferentes indicadores simples. En el caso de que la muestra sea pequeña, por ejemplo, se consideran valores atípicos aquello con un valor superior a 2,5. Si la muestra es más grande el abanico se amplía a 3 o 4.

En el nivel multivariante, se suelen identificar valores atípicos con la medida T^2 de Hotelling o la D^2 de Mahalanobis, pero su uso no está muy extendido y no se empleará en este trabajo.

4.3. ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Existen dos objetivos que se pretenden cumplir mediante el análisis multivariante. En primer lugar, se debe comprobar que la estructura conceptual del indicador compuesto ha sido definida de manera correcta y en segundo, si el conjunto de indicadores individuales es útil para explicar y describir el bien que se va a medir. Para ello se pueden emplear diferentes métodos estadísticos y así comprobar que existe un equilibrio entre las dimensiones del indicador.

4.3.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (Pearson, 1901) pretende explicar la mayor parte de la variabilidad total observada en un conjunto de variables mediante el menor número de componentes posibles (Uriel, 1995). Esto se consigue transformando las variables correlacionadas en nuevas variables que no tengan una correlación entre ellas que suelen ser llamadas factores o componentes principales.

Supóngase que se tienen Q indicadores simples, que se miden en n unidades de análisis de la forma I_i con $i=1, \dots, Q$ (Uriel, 1995). Se representarán los datos de la forma matricial X :

$$X = \begin{pmatrix} I_{11} & \cdots & I_{Q1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{1n} & \cdots & I_{Qn} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times Q}$$

Ecuación 10: Matriz de datos para el análisis de componentes principales

La matriz de covarianza muestral de los datos de partida será:

$$CM = [(X - E[X])(X - E[X])'] = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \cdots & \sigma_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \cdots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times n}$$

Ecuación 11: Matriz de covarianza muestral de los datos

Con el fin de que algún indicador tenga una influencia perjudicial en las componentes principales es recomendable estandarizar la matriz de variables originales, convirtiendo la anterior en la matriz de correlaciones:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & r_{1Q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{Q1} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{Q \times Q}$$

Ecuación 12: Matriz de correlaciones

con:

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_i^2 \sigma_j^2}}, 1 \leq i, j \leq Q$$

Ecuación 13: Fórmula para el cálculo de r_{ij}

A partir de cualquiera de estas dos últimas matrices se pueden estimar las componentes principales ya que éstas explican la variabilidad entre las variables cuando se comparan de dos en dos.

Las componentes principales Z_j ($j = 1, \dots, Q$) son otro conjunto de variables que son ortogonales entre sí y son formadas a partir de una combinación lineal de las variables de partida, contando con la misma varianza total que el conjunto original.

$$\begin{aligned} Z_1 &= a_{11}I_1 + a_{12}I_2 + \cdots + a_{1Q}I_Q \\ Z_2 &= a_{21}I_1 + a_{22}I_2 + \cdots + a_{2Q}I_Q \\ &\dots \\ Z_Q &= a_{Q1}I_1 + a_{Q2}I_2 + \cdots + a_{QQ}I_Q \end{aligned}$$

Ecuación 14: Representación de las componentes principales

De esta forma, la primera componente principal contendrá la mayor varianza de las variables originales, la segunda la mayor de lo restante y así sucesivamente hasta que la última componente principal contenga la varianza no contenida en las anteriores. El resultado se puede expresar en forma matricial también:

$$\begin{pmatrix} Z_{11} \\ \dots \\ Z_{1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{11} & \dots & I_{Q1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{1n} & \dots & I_{Qn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} \\ \dots \\ a_{1Q} \end{pmatrix}; Z_1 = X * a_1$$

Ecuación 15: Forma matricial de las componentes principales

En resumen, el método de las componentes principales tiene como objetivo encontrar los autovalores λ_j de la matriz de covarianza CM, cumpliéndose que:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_Q = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_Q^2$$

Ecuación 16: Fórmula que relaciona los autovalores con las desviaciones típicas

El resultado son Q componentes principales.

4.4. NORMALIZACIÓN DE VARIABLES

Previo a cualquier tipo de agregación de indicadores simples con el fin de crear uno compuesto, se necesita un proceso de normalización, para que:

- Los datos no tengan distintas unidades de medida
- Los datos no tengan diferentes rangos de variación
- Se ajusten los datos en el caso en el que sigan una distribución asimétrica o existan datos atípicos.

Es necesario ser conscientes en todo momento de que una transformación de los datos que tenga el fin de eliminar datos atípicos o eliminar la asimetría de la distribución puede alterar los datos originales y por lo tanto las conclusiones extraídas, por lo que es importante escoger cuidadosamente el método que se va a utilizar y hacerlo solo en el caso de que sea inevitable.

En la actualidad existen diferentes formas de normalizar los datos (Freudenberg, 2003). Dependiendo de las características de cada indicador y del juicio del analista se escogerá un tipo u otro.

Para la explicación de los diferentes tipos de normalización se considerará:

- x_{qc}^t : puntuación del indicador simple q para la unidad de análisis c en el tiempo t de forma que $q=1, \dots, Q$ y $c=1, \dots, M$ donde M es el número de observaciones y Q el número de indicadores simples

4.4.1 RANKING

$$I_{qc}^t = \text{Rank} (x_{qc}^t)$$

Ecuación 17: Fórmula para el uso del método Ranking

El método basado en el Ranking es la técnica más sencilla y sirve para datos dando de carácter cuantitativo como cualitativo. Se da si los datos tienen las mismas unidades de medida y se ve afectado en gran medida por los valores atípicos.

4.4.2 STANDARIZACIÓN (MÉTODO Z-SCORE)

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$$

Ecuación 18: Fórmula de normalización según los Z-Score

Donde:

- $x_{qc=\bar{c}}^t$ representa la media del indicador q para las unidades de análisis en el momento t .
- $\sigma_{qc=\bar{c}}^t$ representa la desviación típica del indicador q para las unidades de análisis en el momento t .

Una característica de esta técnica es que únicamente se puede emplear para datos de carácter cuantitativo. Se centra en transformar los indicadores originales de forma que tengan una media de 0 y desviación típica de 1, manteniendo las distancias relativas ya que se trata de una transformación de carácter lineal.

Para cada unidad de análisis, los valores están estandarizados respecto a su misma distribución. Por otro lado, no ajusta datos que estén dentro de un mismo rango de variación. Para distribuciones normales, aproximadamente el 95% de los datos estará en el rango $[-2,2]$.

Este tipo de normalización reduce el valor de los datos atípicos frente a aquellas distribuciones asimétricas, pero no los eliminan.

Debido a que en esta investigación se trata con diferentes unidades de medida de carácter cuantitativo, se empleará el método de estandarización para la creación del índice sintético.

4.5 PONDERACIÓN

La ponderación es la etapa empleada para asignar diferentes pesos a los indicadores simples para así poderlos agregar posteriormente bajo un único valor que será el índice compuesto final. Existen diferentes formas de realizar este paso, algunas dando un mismo peso a cada indicador y otras diferenciando según la importancia relativa de los indicadores simples respecto al índice global.

Es de vital importancia escoger correctamente los pesos de los indicadores de forma que reflejen la calidad de los datos. En ocasiones es común asignar pesos demasiado altos a datos que son estadísticamente fiables con una amplia cobertura (Freudenberg, 2003; Nardo et al., 2005). Sin embargo, esto puede sesgar los datos de forma que beneficie a los que sean más fácilmente disponibles y perjudique a aquellos difícilmente identificables y medibles.

Por todo esto el método elegido impactará de forma elevada el indicador compuesto que se obtendrá y, por lo tanto, las conclusiones extraídas. En esta sección se presentan varias de las formas más comunes de agregar datos y finalmente se escogerá la más apropiada para nuestro caso de estudio.

Históricamente, los métodos de agregación se han dividido en varios bloques en función del enfoque dado:

- Métodos de ponderación equitativa: se trata del método más sencillo, ya que asigna el mismo peso durante la construcción del índice a todos los indicadores simples de partida. Esto no quiere decir que no se asigne un peso a los indicadores, sino que todos cuentan con el mismo. Sin embargo, mediante la utilización de la ponderación equitativa se puede dar que al combinar indicadores que estén correlacionados entre sí, determinados aspectos tengan un peso demasiado elevado en el indicador compuesto. Por tanto, si se quiere aplicar se debe comprobar de antemano la correlación existente entre las variables. Un caso de aplicación es el “Environmental Sustainability Index” (World Economic Forum, 2001).
- Métodos de ponderación basados en modelos estadísticos: como su propio nombre indica, se trata del empleo de la estadística para tratar de la forma más precisa posible con los pesos de cada indicador. Existen diferentes métodos basados en la estadística, pero destacan el Análisis Factorial, el Método de Regresión, los Modelos de Componentes no Observados o el Proceso de Análisis Jerárquico.
- Métodos de ponderación basados en modelos participativos: estas metodologías se basan en la opinión de un grupo de personas sobre la importancia que debe tener cada indicador simple sobre el tema en cuestión. Hay determinadas variantes como el Budget Allocation, en el que se da un determinado presupuesto a cada experto y se le pide que lo reparta entre los diferentes indicadores, o la opinión pública a través de encuestas o formularios.

Debido a que el objetivo principal del proyecto es eliminar la componente subjetiva se descarta la utilización de los modelos participativos. Debido a la sencillez que presenta la ponderación equitativa, se emplearán los modelos estadísticos y el más extendido en la teoría de la decisión es el Proceso de Análisis Jerárquico.

4.5.1 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

En la sección anterior, se ha comentado como se puede emplear el proceso de análisis jerárquico para la creación del propio índice. Sin embargo, también se puede emplear únicamente en una fase, y en este caso es un procedimiento útil para calcular los pesos de cada indicador.

Se basa en la comparación por pares, por lo que los indicadores de partida se compararan entre sí, atribuyendo valores que las relaciones de acuerdo con la siguiente tabla:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 6: Valores para las relaciones entre variables

Para ello, se ha decidido dar más importancia a aquellos indicadores que tienen un impacto más directo con el medioambiente, debido al carácter de este trabajo. Por ejemplo, se considera más importante las emisiones de CO₂ que el porcentaje de mujeres en puestos directivos.

Con esto en mente, se creará una matriz que refleje las importancias entre pares, por lo que será de dimensión 10x10 (ya que hay 10 indicadores). Después se calculará el sumatorio de cada columna y, con el fin de normalizar la tabla y que esté en valores entre 0 y 1, se dividirá cada elemento de la tabla entre la suma de su columna. Como último paso, se sumarán las filas y este valor será directamente la ponderación del indicador. Cabe destacar que la suma de todas las ponderaciones será igual a 1 por lo que son todas relativas.

Nótese que en otro estudio esta ponderación puede variar y como se ha comentado únicamente se da para dar un peso mayor a aquellos indicadores con un impacto directo en la sostenibilidad medioambiental.

4.6. AGREGACIÓN

Una vez dado un peso adecuado a cada uno de los indicadores simples, estos se tienen que combinar y unificar en uno que contenga la máxima información posible en comparación con el conjunto inicial.

Como se ha comentado en la anterior sección, el procedimiento que se va a utilizar va a ser la agregación simple o agregación lineal ponderada. Se basa en la agrupación del valor normalizado y la ponderación de ese indicador para cada indicador simple y después sumar el resultado para llegar al índice global.

La fórmula, que fue presentada en la anterior sección, es la siguiente:

$$IS_i = w * IN_{i1} + w * IN_{i2} + \dots + w * IN_{im} = \sum_{j=1}^m w * IN_{ij}$$

Ecuación 19: Fórmula de agregación simple

CAPÍTULO V: CASO PRÁCTICO

5.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO V

En las secciones anteriores se ha construido un marco teórico sobre el que realizar el estudio de sostenibilidad de una empresa y se han determinado las pautas a seguir para la creación del índice, cómo puede ser la forma de ponderar o agregar los datos.

El objetivo de esta sección es, basándose en lo desarrollado hasta ahora, poner en práctica los conocimientos y crear un índice sintético mediante el uso de datos reales.

Para ello se seleccionarán varias empresas y se buscarán los datos en relación con los indicadores simples escogidos. Después se seguirán con el resto de los pasos comentados con anterioridad hasta llegar a los resultados finales para cada empresa.

5.2 SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

A la hora de escoger las empresas, es necesario tener en cuenta que se debe tener la posibilidad de recoger los datos de todos los indicadores. Esto requiere que estén disponibles para el uso público y que existan la mayoría de estos datos, ya que en la sección de imputación de datos se podrá compensar ante la falta de algunos.

Como fuente se empleará un estudio reciente que recoge las 100 empresas más sostenibles con más de 1 billón de dólares americanos de ingresos. Este estudio se llevó a cabo a principios de año por la compañía Corporate Knights (Knights, 2022).

En el estudio se ordenan las cien empresas por orden decreciente de nota recibida en cuanto a lo sostenible que son. Cabe destacar que para este trabajo se han empleado solo 10 indicadores de partida. El estudio realizado por Corporate Knights es mucho más detallado y preciso y tiene en cuenta variables distintas, por lo que es posible que no se llegue al mismo orden al analizar empresas de la lista.

Además de emplear más variables y tener en cuenta dimensiones no tomadas en este proyecto, la ponderación es diferente. Según Corporate Knights, un peso igual al 50% del total se ha asignado a los indicadores de partida *Inversión Limpia* e *Ingresos Limpios*, no presentes en nuestro caso ya que se le ha querido dar más importancia a parámetros como calidad del agua o aire. Por otro lado, al resto de indicadores se les ha asignado una importancia relativa dependiente del sector en el que se encuentran.

La única empresa española presente en el ranking es Iberdrola SA en el puesto 25. Debido a su relevancia en nuestro país se ha decidido realizar el caso de estudio sobre esta empresa. Para analizar paralelamente otras corporaciones de manera más justa, se han escogido también las otras tres empresas del sector de la generación de la electricidad de la lista: Orsted A/S, Atlantica Sustainable Infrastructure PLC y Engie Brasil Energía SA.

Iberdrola SA	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos: 48,17 mil millones \$ • País: España
Orsted A/S	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos: 7,41 mil millones \$ • País: Dinamarca
Atlantica Sustainable Infrastructure PLC	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos: 1,013 mil millones \$ • País: Reino Unido
Engie Brasil Energía SA	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos: 5,19 mil millones \$ • País: Brasil

Ilustración 7: Empresas seleccionadas para el caso de estudio

Tomando como base estas cuatro empresas, del estudio se obtienen los siguientes datos en cuanto a los diez indicadores escogidos:

Indicadores	Iberdrola	Orsted	Atlantica	Engie
<i>Proporción de mujeres en puestos directivos</i>	36 %	27 %	25 %	22 %
<i>Productividad del agua</i>	681,95 \$	3912,03 \$	63,33 \$	11,30 \$
<i>Productividad energética</i>	112,26 \$	338,57 \$	31,30 \$	87,63 \$
<i>Productividad residual</i>	178.788,06 \$	617.775,31 \$	109.981,55 \$	12.024,49 \$
<i>Ratio sueldo CEO – trabajador</i>	92	24	21	-

<i>Lesiones por trabajador</i>	1,19	0,34	0,28	-
<i>Productividad del CO2</i>	3.236,48 \$	3.778,44 \$	523,38 \$	884,48 \$
<i>Productividad del NOx</i>	770.604,35 \$	4.680.116,02 \$	2.033.433,67 \$	327.769,04 \$
<i>Productividad de los compuestos orgánicos volátiles</i>	103.648.606 \$	38.410.900,4 \$	-	-
<i>Productividad de la gestión de proyectos</i>	37.933.757 \$	132.380.424 \$	-	1.741.664.583 \$

Tabla 7: Datos de las cuatro empresas analizadas

5.3 CREACIÓN DEL ÍNDICE SINTÉTICO

Una vez se tienen los valores de los indicadores para las cuatro empresas se puede proceder con los pasos establecidos en la sección anterior.

5.3.1 TRATAMIENTO DE DATOS

Como se puede observar en la anterior tabla, no están disponibles todos los datos en referencia. En este apartado se tratará de imputar los datos faltantes y además detectar valores atípicos, si es que existen.

En cuanto a los datos necesarios que no han podido ser encontrados se encuentran:

- El ratio sueldo CEO/Trabajador de la empresa Engie
- El número de lesiones por trabajador de la empresa Engie
- La productividad de los compuestos orgánicos volátiles de las empresas Atlantica y Engie
- La productividad de la gestión de proyectos de la empresa Atlantica

Con el fin de mantener la distribución lo más parecida a la original tras introducir los datos faltantes, se empleará el método de regresión lineal entre variables.

Como ejemplo para clarificar el procedimiento se tomará el primer dato faltante, el ratio entre el sueldo entre el CEO y el sueldo medio de un trabajador. Para ello se hará

una regresión lineal con el resto de las empresas que sí tengan ese dato. Se han escogido los indicadores (1), (2) y (3) para la creación del modelo lineal.

El primer paso es introducir las variables en MATLAB y se tomará como referencia el indicador *Productividad energética*:

```
>> P = [ 112.26, 338.57, 31.3]  
>> Q = [92, 24, 21]
```

El comando polyfit se encarga de ajustar la recta en base a los valores introducidos. Se le debe indicar como tercer parámetro que queremos que sea de orden 1:

```
>> pf=polyfit (P,Q,1)
```

Lo que nos da el resultado:

```
pf =  
  
-0.0573  54.8742
```

Para ver la recta la plotearemos:

```
>> plot(P,Q,'*',P,eval,'-')
```

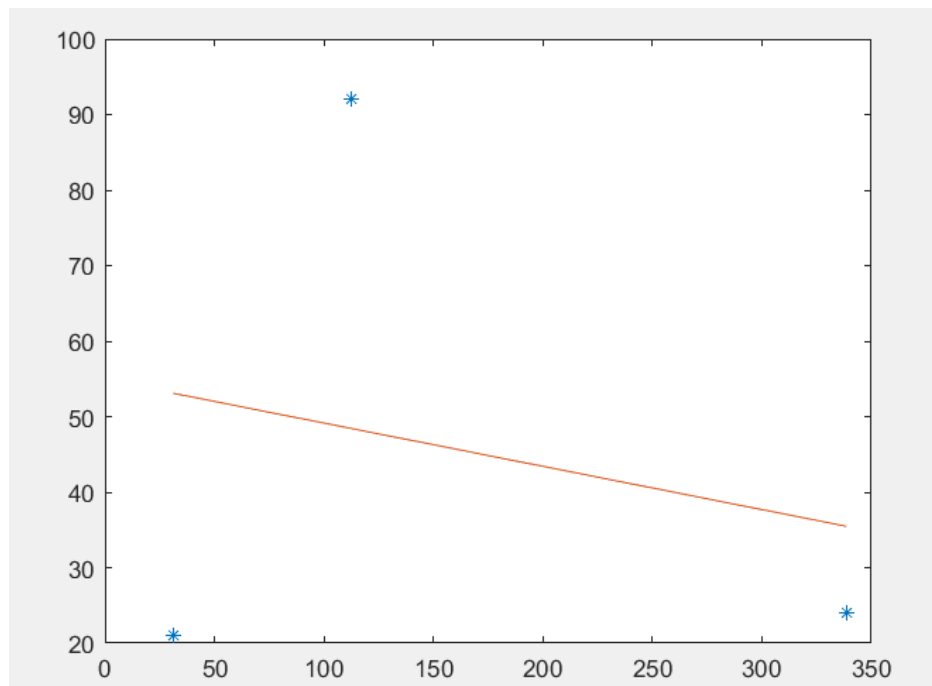


Ilustración 8: Recta de ajuste

Para poder saber el ratio deseado se usará el comando polyval, al que indicaremos el valor de 92 referente a la empresa Iberdola y nos dará como resultado el ratio deseado para Engie:

```
>> eval2= polyval(pf,87.63)
```

eval2 =

49.8536

De esta forma hemos obtenido un valor de 49,85 para el ratio de esta empresa. Se repetirá el proceso para el resto de los datos faltantes, dando como resultado (para el resto del código consultar ANEXO A: IMPUTACIÓN DE DATOS FALTANTES):

Indicadores	Iberdrola	Orsted	Atlantica	Engie
<i>Proporción de mujeres en puestos directivos</i>	36 %	27 %	25 %	22 %
<i>Productividad del agua</i>	681,95 \$	3912,03 \$	63,33 \$	11,30 \$
<i>Productividad energética</i>	112,26 \$	338,57 \$	31,30 \$	87,63 \$
<i>Productividad residual</i>	178.788,06 \$	617.775,31 \$	109.981,55 \$	12.024,49 \$
<i>Ratio sueldo CEO – trabajador</i>	92	24	21	49,85
<i>Lesiones por trabajador</i>	1,19	0,34	0,28	0,65
<i>Productividad del CO2</i>	3.236,48 \$	3.778,44 \$	523,38 \$	884,48 \$
<i>Productividad del NOx</i>	770.604,35 \$	4.680.116,02 \$	2.033.433,67 \$	327.769,04 \$
<i>Productividad de los compuestos orgánicos volátiles</i>	103.648.606 \$	38.410.900,4 \$	126.990.000 \$	110.750.000 \$
<i>Productividad de la gestión de proyectos</i>	37.933.757 \$	132.380.424 \$	118.520.000 \$	1.741.664.583

Tabla 8: Datos de las cuatro empresas tras la imputación

En cuanto a la detección de valores atípicos, ésta se hará en el apartado de normalización ya que la primera fase es compartida en ambos casos, ya que hay que estandarizar los datos primero para ver las anomalías.

5.3.2 ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Una vez se tiene el total de datos que se van a utilizar para evaluar el valor o impacto del bien, el primer paso para el cálculo de las componentes principales es importarlo a Matlab, mediante el comando:

```
>> x= readtable('Excel con datos.xlsx');
```

Nótese que los datos se encontraban previamente dispuestos en forma de tabla en una hoja de cálculo Excel.

El primer paso es transformar la matriz, restando a cada valor la media de su indicador y dividiéndolo entre la desviación típica. Por ejemplo, para el primer indicador que representa el porcentaje de mujeres en puestos directivos, la fila se transformara según la fórmula:

```
>> x.Var1= (x.Var1-mean(x.Var1))/std(x.Var1)
```

Esto habrá que hacerlo para cada uno de los diez indicadores, tras lo que cual se llega a una nueva matriz:

Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10
1.4102	-0.26155	-0.22343	-0.19	1.3785	1.3815	0.68937	-0.60435	0.2234	-0.57019
-0.08295	1.4796	1.452	1.4502	-0.69135	-0.66072	1.0198	1.3939	-1.452	-0.45553
-0.41475	-0.59502	-0.82282	-0.44708	-0.78267	-0.80488	-0.96464	0.041122	0.82285	-0.47236
-0.91245	-0.62307	-0.40578	-0.81307	0.095504	0.084092	-0.7445	-0.8307	0.40577	1.4981

Tabla 9: Matriz transformada

Este es el paso previo para obtener la matriz de covarianza, que se logrará con el comando de MATLAB:

```
>> data= table2array(x)  
>> C= cov(data)
```

Nótese que primero ha habido que transformar la matriz en un array para que fuese meramente numérico. La matriz de covarianza queda:

C =

1.0000	0.1079	0.0920	0.1797	0.7463	0.7533	0.6556	-0.0756	-0.0920	-0.6458
0.1079	1.0000	0.9831	0.9893	-0.3258	-0.3041	0.7888	0.9046	-0.9831	-0.3924
0.0920	0.9831	1.0000	0.9486	-0.2355	-0.2133	0.8075	0.8208	-1.0000	-0.2511
0.1797	0.9893	0.9486	1.0000	-0.3307	-0.3097	0.7948	0.9311	-0.9486	-0.5197
0.7463	-0.3258	-0.2355	-0.3307	1.0000	0.9997	0.3097	-0.6361	0.2355	0.0139
0.7533	-0.3041	-0.2133	-0.3097	0.9997	1.0000	0.3308	-0.6196	0.2133	0.0065
0.6556	0.7888	0.8075	0.7948	0.3097	0.3308	1.0000	0.5279	-0.8075	-0.5058
-0.0756	0.9046	0.8208	0.9311	-0.6361	-0.6196	0.5279	1.0000	-0.8208	-0.5181
-0.0920	-0.9831	-1.0000	-0.9486	0.2355	0.2133	-0.8075	-0.8208	1.0000	0.2511
-0.6458	-0.3924	-0.2511	-0.5197	0.0139	0.0065	-0.5058	-0.5181	0.2511	1.0000

Tabla 10: Matriz de Covarianza

A pesar de ser la matriz original 4x10, la matriz de covarianza tiene en cuenta todas las interacciones por lo que tiene un tamaño de 10x10.

A partir de la matriz de covarianza, se deben calcular los autovectores y autovalores:

```
>> [V,D]=eig(C)
```

Lo que resulta en una matriz de autovectores:

V =

0.4431	0.0866	-0.0057	0.1263	0.2614	0.5229	-0.2677	-0.2826	-0.5321	-0.0618
-0.2434	0.4747	0.4026	-0.4973	-0.0397	0.1253	-0.3228	0.1201	0.0023	-0.4125
-0.1206	0.1035	0.3340	0.6005	0.4236	-0.0355	0.2830	0.2900	-0.0218	-0.3964
-0.2703	0.2114	-0.7662	0.2141	-0.0315	-0.0617	-0.2671	-0.0187	-0.0152	-0.4154
-0.4471	-0.4534	0.0277	-0.1473	0.3218	-0.2177	-0.3044	0.2103	-0.5127	0.1460
0.0308	0.2746	0.1380	0.3098	-0.6507	-0.2277	-0.0315	0.2167	-0.5163	0.1373
-0.0839	-0.1905	-0.1883	-0.3412	-0.1758	0.2939	0.6693	0.1265	-0.3436	-0.3247
-0.1062	-0.5884	0.2471	0.2331	-0.4320	0.2237	-0.2718	-0.1973	0.1629	-0.3888
-0.6550	0.2080	0.0527	0.1990	-0.0397	0.4735	0.1334	-0.2901	0.0218	0.3964
0.0929	-0.0708	-0.1418	0.0468	-0.0598	0.4960	-0.1987	0.7688	0.2042	0.2058

Tabla 11: Matriz de Autovectores

Y otra de autovalores:

D =

-0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0.0000	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-0.0000	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.0000	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.0000	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.0000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.0000	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1.0546	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	3.1568	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7886

Tabla 12: Matriz de Autovalores

Quedándonos con la diagonal de la matriz de autovalores:

```
>> D= diag(D)
```

```
D =
```

```
-0.0000  
-0.0000  
-0.0000  
0.0000  
0.0000  
0.0000  
0.0000  
0.0000  
1.0546  
3.1568  
5.7886
```

Como se puede observar, hay tres autovalores diferentes de cero, por lo que hay un total de tres componentes principales que explican la variabilidad de la muestra original. El primer componente PC1 es:

```
>> EugivalorMax= V(:,find(D==max(D)))
```

```
EugivalorMax =
```

```
-0.0618  
-0.4125  
-0.3964  
-0.4154  
0.1460  
0.1373  
-0.3247  
-0.3888  
0.3964  
0.2058
```

Que habrá que multiplicar por la matriz original a la que se había restado la media y dividido por la desviación típica:

```
>> datosFinales=EugivalorMax'*data'
```

```
datosFinales =
```

```
0.5615 -3.5174 1.0845 1.8714
```

La visualización del primer componente principal es la que se muestra a continuación:

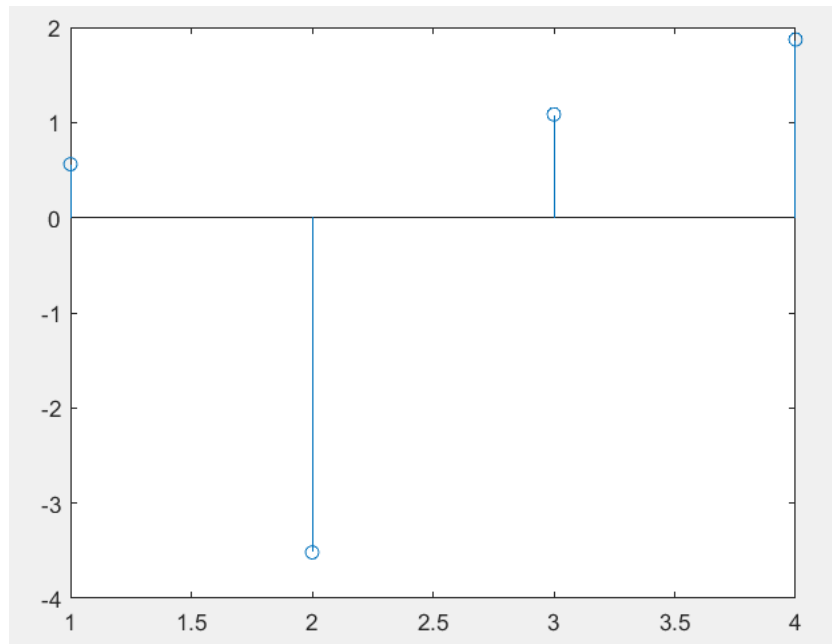


Tabla 13: Primer componente principal

Realizando el mismo paso con los otros dos componentes principales en orden descendente en cuanto a cuanto explican de variabilidad:

```
datosFinales2 =
```

```
-0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225
```

```
>> datosFinales3= PC3'*data'
```

```
datosFinales3 =
```

```
-0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225
```

Por lo que PC1, PC2 y PC3 son:

```
0.5615   -3.5174    1.0845    1.8714  
-0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225  
-0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225
```

A partir de este paso se podrían emplear estas tres componentes que serían equivalentes a tres indicadores en lugar de los diez originales. Sin embargo, en este caso práctico se van a mantener los diez indicadores originales debido a diversas razones:

- No se cuenta con una muestra lo suficiente grande por cada variable como para estar seguros de que no hay una pérdida importante de información. Se recomienda la regla de diez, o, dicho de otra forma, al menos diez valores para cada variable. En nuestro caso solo contamos con las cuatro empresas estudiadas.

- Cada indicador tiene asociado un significado que representa su importancia en la sostenibilidad final. Por ejemplo, indicadores de partida como proporción de mujeres en puestos directivos o productividad del agua. Podríamos llegar a un resultado razonable de que empresa es más sostenible tras este proceso meramente con las componentes principales.
- Toda simplificación mediante este análisis conlleva una mínima pérdida de información asociada a emplear menos componentes. Por un lado, hace más fácil el trabajo, pero a costa de no contar con la totalidad de la información disponible.
- En nuestro caso se está tratando con una ponderación diferente para los diversos indicadores de partida por lo que ahora si se simplifican en tres indicadores no se podría aplicar esta ponderación diferenciada y se tendría que emplear la ponderación equitativa.

De todas formas, se ha querido ejemplificar el caso de un análisis de componentes principales, ya que es el centro decisor el que podrá elegir en este paso si quiere simplificar el cálculo del indicador. De esta forma se ha creado un índice genérico que se pueda aplicar en diferentes escenarios, por lo que no siempre se seguirán los mismos pasos.

5.3.3 NORMALIZACIÓN DE LOS INDICADORES

Debido a que se está tratando con indicadores con diferentes magnitudes y unidades de medida, es necesario realizar la normalización para que puedan ser comparables. Como se ha comentado en el apartado anterior, no se han reducido el número de dimensiones del caso práctico, por lo que habrá que normalizar las diez variables o indicadores originales.

En la anterior sección se había establecido la metodología de normalización que se iba a seguir, la normalización Z-Score, también llamada estandarización. Para ello se hará uso de la media y la mediana de cada indicador, mediante la siguiente fórmula:

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$$

Ecuación 20: Ecuación para la normalización

La media y la desviación típica se calculan en MATLAB de la siguiente forma:

```
>> avg1= mean(x.Var1)
```

```
>> dv1=std(x.Var1)
```

Representando Var1 la variable 1 o indicador 1, que en este caso es la proporción de mujeres en puestos directivos. Dando los siguientes resultados para esta variable:

```
avg1 =
```

```
0.2750
```

```
>> dv1=std(x.Var1)
```

```
dv1 =
```

```
0.0603
```

Por lo que este indicador cuenta con una media de 0,275 y una desviación típica de 0,0603.

Repitiendo el proceso para todas las variables se obtiene y aplicando la fórmula se obtiene:

Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10
1.4102	-0.26155	-0.22343	-0.19	1.3785	1.3815	0.68937	-0.60435	0.2234	-0.57019
-0.08295	1.4796	1.452	1.4502	-0.69135	-0.66072	1.0198	1.3939	-1.452	-0.45553
-0.41475	-0.59502	-0.82282	-0.44708	-0.78267	-0.80488	-0.96464	0.041122	0.82285	-0.47236
-0.91245	-0.62307	-0.40578	-0.81307	0.095504	0.084092	-0.7445	-0.8307	0.40577	1.4981

Nótese que era el primer paso para el análisis multivariante, por lo que la tabla resultante es la misma.

De esta tabla se pueden observar los valores atípicos o fuera del rango de aceptación. Como se estableció en la sección anterior, se descartarían valores estandarizados superiores a 2,5. Dado que en este caso no hay ningún dato que lo cumpla, se mantendrá la muestra original.

5.3.4 PONDERACIÓN

A pesar de tener los datos normalizados y, por lo tanto, en una misma unidad de medida, no todos ellos cuentan con la misma relevancia a la hora de agruparlos. Cabe destacar que este paso depende del centro decisor y a la importancia que le dé a cada indicador, dependiendo de los indicadores que utilice y cómo de importante los considere.

Para el cálculo de la ponderación se empleará el método analítico jerárquico (método AHP), en la que se van comparando a pares las magnitudes según la siguiente tabla:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 14: Valores para las relaciones entre variables

Esto se debe realizar tanto para los indicadores como para las empresas. La matriz para los indicadores es la siguiente:

```
>> A=readtable('Ponderaciones Indicadores.xlsx')
```

```
A_array= table2array(A)
```

```

1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    1.0000    1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    0.3333
7.0000    1.0000    3.0000    3.0000    7.0000    7.0000    1.0000    3.0000    3.0000    5.0000
5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    5.0000    5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    3.0000
5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    5.0000    5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    3.0000
1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    1.0000    1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    0.3333
1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    1.0000    1.0000    0.1429    0.2000    0.2000    0.3333
7.0000    1.0000    3.0000    3.0000    7.0000    7.0000    1.0000    3.0000    3.0000    5.0000
5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    5.0000    5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    3.0000
5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    5.0000    5.0000    0.3333    1.0000    1.0000    3.0000
3.0000    0.2000    0.3333    0.3333    3.0000    3.0000    0.2000    0.3333    0.3333    1.0000

```

Tabla 15: Matriz de los indicadores

Cabe destacar que, por ejemplo, la celda (2,1) muestra un 7, por lo que el indicador 2 es mucho más importante que el 1. Por consiguiente, la celda (1,2) mostrará el número inverso ($1/7 = 0,1419$).

El siguiente paso es calcular la suma por columnas:

```
>> P=sum(A_array,1)
```

```
P =
```

```
40.0000    3.9619    10.9333    10.9333    40.0000    40.0000    3.9619    10.9333    10.9333    24.0000
```

Esta suma total es necesario para normalizar la tabla anterior. Para normalizar la tabla, dividiremos cada columna por la suma de ésta, siguiendo el comando:

```
>> A_array(:,1)= (A_array(:,1))/P(1)
```

Este comando aplica a la columna 1, por lo que habrá que repetirlo para las otras 9, hasta llegar a la matriz normalizada, mediante el bucle:

```
>> for i= 1:1:10  
A_array(:,i)= (A_array(:,i))/P(i)  
end
```

```
A_array =  
  
    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0250    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0139  
    0.1750    0.2524    0.2744    0.2744    0.1750    0.1750    0.2524    0.2744    0.2744    0.2083  
    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250  
    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250  
    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0250    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0139  
    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0250    0.0250    0.0361    0.0183    0.0183    0.0139  
    0.1750    0.2524    0.2744    0.2744    0.1750    0.1750    0.2524    0.2744    0.2744    0.2083  
    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250  
    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250    0.1250    0.0841    0.0915    0.0915    0.1250  
    0.0750    0.0505    0.0305    0.0305    0.0750    0.0750    0.0505    0.0305    0.0305    0.0417
```

Tabla 16: Matriz normalizada

Esta matriz representa la matriz de relaciones ya normalizada. Compruébese que la matriz entera suma la unidad. Para ahora ver el peso relativo de los indicadores se debe sumar cada fila, dándonos el peso de cada indicador:

```
>> R  
  
ans =  
  
    0.2342  
    2.3357  
    1.0341  
    1.0341  
    0.2342  
    0.2342  
    2.3357  
    1.0341  
    1.0341  
    0.4896
```

La suma total de los pesos suma 10, que es el número de indicadores, por lo que para la ponderación relativa se dividirá entre 10. Esto ya nos indica la importancia total de cada indicador en relación con el indicador compuesto global.

```
R =  
  
    0.0234  
    0.2336  
    0.1034  
    0.1034  
    0.0234  
    0.0234  
    0.2336  
    0.1034
```

0.1034
0.0490

Ordenando los resultados en una tabla:

#	Indicadores	Ponderación
1	Proporción de mujeres en puestos directivos	0.0234
2	Productividad del agua	0.2336
3	Productividad energética	0.1034
4	Productividad residual	0.1034
5	Ratio sueldo CEO - trabajador	0.0234
6	Lesiones por trabajador	0.0234
7	Productividad del CO2	0.2336
8	Productividad del NOx	0.1034
9	Productividad de los compuestos orgánicos volátiles	0.1034
10	Productividad de la gestión de proyectos	0.0490

Tabla 17: Ponderación para cada indicador

5.3.5 AGREGACIÓN

Como paso final para establecer la “nota” que se dará a cada empresa para evaluar su sostenibilidad, habrá que agrupar los diferentes indicadores ya ponderados en un único valor numérico.

Como se comentó en la sección anterior, el procedimiento elegido es el de la agregación simple en la que se realiza un sumatorio de cada indicador normalizado multiplicado por la ponderación asociada.

En primer lugar, se multiplicará cada elemento de la matriz por la ponderación asociada al indicador al que pertenecen, con el comando:

```
>> for b= 1:1:10
data(:,b)=data(:,b)*R(b)
end
```

Siendo R el vector con las ponderaciones de cada indicador:

R =

0.0267 0.2453 0.0875 0.0875 0.0267 0.0267 0.2453 0.0875 0.0875 0.0422

De esta forma, se obtiene la siguiente matriz ya normalizada y ponderada:

```
data =
    0.0330   -0.0611   -0.0231   -0.0196    0.0323    0.0324    0.1610   -0.0625    0.0231   -0.0279
   -0.0019    0.3456    0.1502    0.1500   -0.0162   -0.0155    0.2382    0.1441   -0.1502   -0.0223
   -0.0097   -0.1390   -0.0851   -0.0462   -0.0183   -0.0188   -0.2253    0.0043    0.0851   -0.0231
   -0.0214   -0.1455   -0.0420   -0.0841    0.0022    0.0020   -0.1739   -0.0859    0.0420    0.0733
```

Tabla 18: Matriz normalizada y ponderada

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el objetivo no es maximizar todas las variables, sino que hay algunas en las que es de interés minimizar el valor. Por ejemplo, cuanto mayor sea la productividad del agua, la empresa genera más dinero por cada unidad de agua empleada, por lo que es una medida que cuanto mayor sea, más sostenible la empresa es. Por el contrario, si se tiene en cuenta la variable lesiones por trabajadores es deseable que su valor sea el menor posible.

De esta forma, es necesario establecer qué variables se deben maximizar y cuáles minimizar:

#	Indicadores	Objetivo
1	Proporción de mujeres en puestos directivos	Maximizar
2	Productividad del agua	Maximizar
3	Productividad energética	Maximizar
4	Productividad residual	Maximizar
5	Ratio sueldo CEO - trabajador	Minimizar
6	Lesiones por trabajador	Minimizar

7	Productividad del CO2	Maximizar
8	Productividad del NOx	Maximizar
9	Productividad de los compuestos orgánicos volátiles	Maximizar
Maximizar	Productividad de la gestión de proyectos	Maximizar

Tabla 19: Función objetivo para los indicadores

Por lo tanto, hay dos variables cuyo valor se debe minimizar: las lesiones por trabajador como comentado anteriormente y el ratio entre el sueldo del CEO y el de un trabajador promedio de la empresa.

Para contrarrestar esto, el procedimiento que se tendrá en cuenta será el de cambiarle el signo a aquellos indicadores que se quiera minimizar, de forma que los valores más elevados en estos indicadores acaben perjudicando a la nota final. Como resultado final, aquellos indicadores a maximizar serán sumados y aquellos a minimizar serán restados, para así obtener el resultado deseado.

```
>> data(:,5) = -data(:,5)
>> data(:,6) = -data(:,6)
```

El resto de las variables se dejarán en su situación actual, dando lugar a la siguiente matriz:

```
data =
    0.0330   -0.0611   -0.0231   -0.0196   -0.0323   -0.0324    0.1610   -0.0625    0.0231   -0.0279
   -0.0019    0.3456    0.1502    0.1500    0.0162    0.0155    0.2382    0.1441   -0.1502   -0.0223
   -0.0097   -0.1390   -0.0851   -0.0462    0.0183    0.0188   -0.2253    0.0043    0.0851   -0.0231
   -0.0214   -0.1455   -0.0420   -0.0841   -0.0022   -0.0020   -0.1739   -0.0859    0.0420    0.0733
```

Tabla 20: Matriz tras aplicar la función objetivo

Por lo que sólo quedaría agregar los valores. Matlab cuenta con un comando para agregar los valores por columnas, por lo que habrá que calcular la traspuesta de la matriz:

```
>> data2= data.'
```

Obteniendo:

```
data2 =
    0.0330   -0.0019   -0.0097   -0.0214
   -0.0611    0.3456   -0.1390   -0.1455
   -0.0231    0.1502   -0.0851   -0.0420
   -0.0196    0.1500   -0.0462   -0.0841
```

```
-0.0323    0.0162    0.0183   -0.0022
-0.0324    0.0155    0.0188   -0.0020
 0.1610    0.2382   -0.2253   -0.1739
-0.0625    0.1441    0.0043   -0.0859
 0.0231   -0.1502    0.0851    0.0420
-0.0279   -0.0223   -0.0231    0.0733
```

Por último, se sumarán las columnas:

```
>> Indicators= sum(data2,1)
```

Indicators =

```
-0.0417    0.8853   -0.4019   -0.4416
```

Tal y como se introdujeron los datos en MATLAB, estos resultados corresponden el valor del indicador compuesto para cada empresa, pudiendo comparar los sostenibles que son según los siguientes resultados:

<i>Indicadores</i>	<i>Iberdrola</i>	<i>Orsted</i>	<i>Atlantica</i>	<i>Engie</i>
<i>Valor</i>	-0,0417	0,8853	-0,4019	-0,4416

Tabla 21: Valores de sostenibilidad

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

6.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO VI

La sección de conclusiones es la última sección de este trabajo, tras la cual vendrán incluidos los anexos. Pero no por esto es menos importante. Es más, esta sección es la encargada de recoger y analizar todos los descubrimientos y resultados obtenidos a lo largo del trabajo, por lo que en gran medida determinará el éxito de este trabajo.

Además de evaluar los resultados, se tratará de analizar las futuras líneas de trabajo que puedan ser tomadas tras la realización de este proyecto, para así continuar con la investigación y poder mejorar aún más este modelo, ya que siempre hay margen de mejora.

6.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados referentes al indicador sintético para las cuatro empresas es el siguiente:

<i>Indicadores</i>	<i>Iberdrola</i>	<i>Orsted</i>	<i>Atlantica</i>	<i>Engie</i>
<i>Valor</i>	-0,0417	0,8853	-0,4019	-0,4416

Tabla 22: Valores de sostenibilidad

Que ordenadas las empresas por lo sostenibles que son en cuanto el indicador creado:

<i>Empresas</i>	<i>Posición</i>	<i>Valor</i>
<i>Orsted</i>	1	0,8853
<i>Iberdrola</i>	2	-0,0417
<i>Atlantica</i>	3	-0,4019
<i>Engie</i>	4	-0,4416

Tabla 23: Orden de las empresas según su sostenibilidad

Como se puede observar, los resultados indican que la empresa con una mayor nota en cuanto a sostenibilidad es Orsted, seguida de Iberdrola, Atlantica y en último lugar Engie.

Esto se comparará con los resultados del estudio realizado por *Corporate Knights*, en el que se hacía su propio orden. En este estudio, referente al año 2022, estas empresas se posicionaron en el siguiente orden (de las 100 analizadas):

<i>Empresas</i>	<i>Posición</i>	<i>Nota</i>
<i>Orsted</i>	7	A-
<i>Atlantica</i>	8	A-
<i>Engie</i>	23	B+
<i>Iberdrola</i>	25	B+

Tabla 24: Posición y nota de las empresas según *Corporate Knights*

Comparando en una misma tabla los resultados de este trabajo con los del estudio:

<i>Empresas</i>	<i>Posición trabajo</i>	<i>Posición estudio</i>
<i>Orsted</i>	1	1
<i>Atlantica</i>	3	2
<i>Engie</i>	4	3
<i>Iberdrola</i>	2	4

Tabla 25: Comparación de posiciones obtenidas y observadas

Como se puede observar, la primera conclusión que se puede extraer es que el modelo creado en este trabajo ha dado un resultado parecido al estudio de *Corporate Knights*. Sólo difieren en la empresa Iberdrola, que en nuestro caso ha puntuado como la segunda más sostenible, pero en el informe original es la tercera de las cuatro estudiadas y en la posición 25 global.

Sin embargo, es necesario clarificar un par de cuestiones que hacen que los resultados obtenidos en el trabajo y los del estudio realizado por *Corporate Knights* no sean iguales:

- En primer lugar, está el número de variables empleadas. Mientras que *Corporate Knights* utilizó 23 indicadores del desempeño de cada empresa, en este trabajo se han estudiado solo 10, intentando recoger las más relevantes para el tema medioambiental. Algunos de los indicadores extra que han evaluado son el ratio de Ingresos limpios, la Calidad de los fondos de pensiones o la Diversidad racial entre los ejecutivos. Al haber creado su lista con 13 indicadores más que en nuestro caso es normal que los resultados difieran un poco.

- Por otro lado, además de haber utilizado más indicadores que en nuestro caso, se han empleado diferentes ponderaciones. Según el estudio (Knights, 2022), el 50% de la ponderación total se les ha dado a los dos indicadores Ingresos e Inversiones limpias. Es por eso por lo que el resto de los indicadores, entre los que están los diez empleados para este trabajo, tienen un peso menor

A pesar de no ser esto una prueba irrefutable de la calidad del indicador compuesto existe cierta similitud en los resultados entre ambas metodologías.

6.3 POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Una pregunta final que debe ser planteada es: ¿de qué forma se puede expandir esta área de estudio o cómo se puede continuar mejorando la creación del índice de forma que sea más preciso, fiable y elimine aún más la componente subjetiva presente en los indicadores de hoy en día de forma que se valore de forma más eficiente la sostenibilidad de las empresas?

Para responder a esto es necesario ver los mayores puntos débiles y así poder enfocar las partes de este proyecto en las que existe un margen de mejora.

De esta forma, la parte que representa un terreno en el que poder seguir evolucionando es la ponderación. La razón detrás de esto es que a pesar de haber empleado una ponderación estadística basada en el Proceso Analítico Jerárquico se sigue necesitando establecer la relación en cuanto a la importancia entre los diferentes indicadores. Éste es el primer paso del proceso que se vio en la sección IV, y que requería la creación de una matriz que relacionase entre sí los diez indicadores. Para esto el centro decisor tenía que decidir sobre el peso relativo entre los pares de indicadores y mediante una transformación llegar al peso relativo global de cada indicador.

De esta forma sería interesante encontrar una forma de no tener que decidir sobre la importancia de los indicadores iniciales, aunque a decir verdad es una tarea difícil. Al final la sostenibilidad es un término muy extenso que engloba muchos parámetros, definiciones y conceptos por lo que a la hora de definir algo como sostenible es necesario situar el caso en un correcto marco teórico que explique de qué forma. Puede que una investigación de sostenibilidad haga un enfoque en el ámbito social y establezca que los parámetros más relevantes de una corporación son aquellos relacionados con este ámbito como puede ser la inclusión de minorías o la igualdad de sueldos entre géneros, mientras que por ejemplo en nuestro caso al medir sostenibilidad ambiental se ha asignado un peso mayor a variables como la productividad del CO₂ o la del agua.

Por otro lado, uno de los descubrimientos de este trabajo es la cantidad de posibles combinaciones posibles entre metodologías que pueden resultar en un exitoso indicador compuesto.

Para cada paso en su creación, se han evaluado en la sección IV numerosas formas de analizar los datos. Tanto para el análisis multivariante, como para la normalización,

ponderación y agregación existen numerosas formas de tratar con los datos. Y cabe decir que no hay procedimientos más correctos que otro. Cada uno cuenta con ventajas y desventajas asociadas. Puede que una metodología te simplifique los resultados y haga más sencillo su análisis, pero a costa de una menor precisión, por ejemplo.

Con esto mente, sería interesante seguir investigando las diferentes posibilidades y combinaciones a la hora de crear un indicador compuesto. El campo es muy extenso y hay una infinidad de metodologías resultantes que se pueden dar. Como curiosidad, cogiendo las partes de imputación de datos faltantes, análisis multivariante, normalización, ponderación y agregación y asumiendo que hay cinco posibles formas para cada una (siendo conservador ya que existen más para cada etapa), empleando la combinatoria se llegaría a un total de:

$$\text{Combinaciones} = 5^5 = 3125$$

Por lo que habría 3125 formas diferentes de crear un índice sintético variando la metodología.

ANEXO A: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Recientemente, en el año 2015, los países líderes mundiales acordaron establecer 17 *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)* con el fin de terminar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de la sociedad en un plazo de unos 15 años. Para alcanzar estas metas, se requiere que todo el mundo aporte su grano de arena, desde individuos hasta empresas y líderes mundiales. A partir de estos objetivos saldrá en el año 2030 una agenda de desarrollo sostenible para transformar nuestro mundo.

18. Fin de la pobreza
19. Hambre cero
20. Salud y bienestar
21. Educación de calidad
22. Igualdad de género
23. Agua limpia y saneamiento
24. Energía asequible y no contaminante
25. Trabajo decente y crecimiento económico
26. Agua, industria, innovación e infraestructura
27. Reducción de las desigualdades
28. Ciudades y comunidades sostenibles
29. Producción y consumos responsables
30. Acción por el clima
31. Vida submarina
32. Vida de ecosistemas terrestres
33. Paz, justicia e instituciones sólidas
34. Alianzas para lograr sus objetivos



Ilustración 9: Objetivos de Desarrollo Sostenible

Estos objetivos de desarrollo sostenible tienen una gran relevancia en este proyecto, debido a su implicación con el cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad. De entre ellos, hay algunos con una relación más estrecha que otros, los que se van a presentar a continuación:

- ODS 13 “Acción por el clima”: El objetivo principal de este proyecto es el de crear un índice sintético que permita medir de la forma más precisa posible la sostenibilidad en el ámbito industrial de las empresas. Esta sostenibilidad ambiental conlleva una gestión eficiente de los recursos naturales en la actividad productiva de forma eficiente, permitiendo su preservación y futura utilización para las actividades y generaciones futuras. Las empresas no pueden por lo tanto disponer de los recursos naturales como si fueran inagotables. Si se siguen una serie de normas, se conseguirá

un impacto positivo en el clima y el medio ambiente, ya que entre las mayores causas del cambio climático están el mal uso de los recursos naturales como los combustibles. Además, en este proyecto se tendrán en cuenta una serie de parámetros medioambientales de gran relevancia para el medioambiente, que se cuantificarán y analizarán con el fin de que las entidades puedan usar el índice y modificar su actividad productiva en aquellos aspectos que no hayan sido positivos de acuerdo con la sostenibilidad ambiental.

- ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”: En segundo lugar, este proyecto busca la sostenibilidad ambiental en el ámbito empresarial, lo que está estrechamente relacionado con las comunidades y ciudades, ya que en muchos casos son lugares donde se localizan las industrias, y que acaban siendo en muchos casos los principales afectados por las consecuencias de una mala gestión medioambiental.
- ODS 8 “Trabajo decente y crecimiento económico”: Al final, el objetivo principal de cada empresa es de maximizar el beneficio obtenido. Sin embargo, crecer económicamente no debe implicar hacerlo de forma que sea cuestionable éticamente. En ocasiones se debe decelerar el crecimiento u tomar alternativas que presenten un menor beneficio económico, de forma que se alineen con los objetivos establecidos por la sociedad, en este caso el mantenimiento de los ecosistemas y el medioambiente.
- ODS 7 “Energía asequible y no contaminante”: Como objetivo presente en segundo plano, está el relacionado con la energía. Una gran problemática hoy en día es el conseguir formas de energía limpias, almacenables y que no necesiten de otra forma alternativa de energía para suplir las variaciones en la disponibilidad, es decir, que sea fiable y constante. Es por ello que las empresas deben de hacer un uso responsable de la energía, haciendo uso siempre que se pueda de renovables en la actividad que desarrollen.
- ODS 15 “Vida de ecosistemas terrestres”: los ecosistemas terrestres engloban aquellos ecosistemas que tienen lugar en el suelo firme o el aire, siendo los principales afectados por el cambio climático y la polución. Lograr una sostenibilidad medioambiental responsable es de suma importancia para su conservación. De la misma forma se puede considerar relevante el ODS 14 “Vida submarina”, ya que en muchas ocasiones empresas liberan material tóxico y contaminante a las aguas, conllevando una destrucción de la vida marina.

<i>DIMENSIÓN ODS</i>	<i>ODS IDENTIFICADO</i>	<i>ROL</i>	<i>OBJETIVO</i>
<i>BIOSFERA</i>	ODS 13: Acción por el clima	PRIMARIO	Conseguir una producción sostenible, usando los recursos naturales de forma eficiente.
<i>BIOSFERA</i>	ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	PRIMARIO	Disminuir el impacto de la actividad productiva en la sociedad y ciudades, logrando un bienestar mayor.
<i>ECONOMÍA</i>	ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico	PRIMARIO	Lograr un crecimiento económico alineado con los valores éticos de la sociedad.
<i>ENERGÍA</i>	ODS 7: Energía asequible y no contaminante	SECUNDARIO	Reducir en gran medida la contaminación producida por la obtención de energía.
<i>BIOSFERA</i>	ODS 14 y 15: Vida submarina y vida de ecosistemas terrestres	SECUNDARIO	Conservar la biosfera tanto terrestre como marítima y reducir su contaminación.

ANEXO B: CÓDIGO PARA LA IMPUTACIÓN DE DATOS FALTANTES

- El ratio sueldo CEO/Trabajador de la empresa Engie

```
>> P = [ 112.26, 338.57, 31.3]
>> Q = [92, 24, 21]
>> pf=polyfit (P,Q,1)
pf =
-0.0573  54.8742
>> plot(P,Q,'*',P,eval,'-')
>> eval2= polyval(pf,87.63)
eval2 =
49.8536
```

- El número de lesiones por trabajador de la empresa Engie

```
>> P = [ 112.26, 338.57, 31.3]
P =
112.2600  338.5700  31.3000
>> Q = [1.19, 0.34, 0.28]
Q =
1.1900  0.3400  0.2800
>> pf=polyfit (P,Q,1)
pf =
-0.0007  0.7092
>> eval= polyval(pf,P)
eval =
0.6353  0.4862  0.6886
>> eval2= polyval(pf,87.63)
eval2 =
0.6515
```

- La productividad de los compuestos orgánicos volátiles de las empresas Atlantica y Engie

```
>> P = [112.26, 338.57]
P =
112.2600  338.5700
>> Q = [103648606, 38410900.4]
Q =
1.0e+08 *
```

1.0365 0.3841

```
>> pf=polyfit (P,Q,1)
pf =
  1.0e+08 *
  -0.0029  1.3601
>> eval= polyval(pf,P)
eval =
  1.0e+08 *
  1.0365  0.3841
>> eval2= polyval(pf,31.3)
eval2 =
  1.2699e+08
>> eval3= polyval (pf, 87.63)
eval3 =
  1.1075e+08
```

- La productividad de la gestión de proyectos de la empresa Atlantica

```
>> P = [112.26, 338.57, 87.63]
P =
  112.2600  338.5700  87.6300
>> Q = [37933757, 132380424, 1741664583]
Q =
  1.0e+09 *
  0.0379  0.1324  1.7417
>> pf=polyfit (P,Q,1)
pf =
  1.0e+09 *
  -0.0037  1.3009
>> eval= polyval(pf,P)
eval =
  1.0e+08 *
  8.8588  0.4915  9.7694
>> eval2= polyval(pf,31.3)
eval2 =
  1.1852e+09
```

ANEXO C: CÓDIGO PARA EL ANÁLISIS MULTIVARIANTE

```
>> x= readtable('Excel con datos.xlsx');

>> x.Var1= (x.Var1-mean(x.Var1))/std(x.Var1)
>> x.Var2= (x.Var2-mean(x.Var2))/std(x.Var2)
>> x.Var3= (x.Var3-mean(x.Var3))/std(x.Var3)
>> x.Var4= (x.Var4-mean(x.Var4))/std(x.Var4)
>> x.Var5= (x.Var5-mean(x.Var5))/std(x.Var5)
>> x.Var6= (x.Var6-mean(x.Var6))/std(x.Var6)
>> x.Var7= (x.Var7-mean(x.Var7))/std(x.Var7)
>> x.Var8= (x.Var8-mean(x.Var8))/std(x.Var8)
>> x.Var9= (x.Var9-mean(x.Var9))/std(x.Var9)
>> x.Var10= (x.Var10-mean(x.Var10))/std(x.Var10)

>> data= table2array(x)
>> C= cov(data)
>> [V,D]=eig(C)

>> D= diag(D)

D =
-0.0000
-0.0000
-0.0000
 0.0000
 0.0000
 0.0000
 0.0000
 0.0000
 1.0546
 3.1568
 5.7886

>> EugivalorMax= V(:,find(D==max(D)))

EugivalorMax =
-0.0618
-0.4125
-0.3964
-0.4154
 0.1460
 0.1373
-0.3247
-0.3888
 0.3964
 0.2058
```

CREACIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL ÁMBITO INDUSTRIAL
ÁLVARO GONZÁLEZ GARCÍA

```
>> datosFinales=EugivalorMax'*data'  
  
datosFinales =  
    0.5615   -3.5174    1.0845    1.8714
```

```
>> PC2= V(:,9)
```

```
PC2 =  
-0.5321  
 0.0023  
-0.0218  
-0.0152  
-0.5127  
-0.5163  
-0.3436  
 0.1629  
 0.0218  
 0.2042
```

```
>> PC3= V(:,8)
```

```
PC3 =  
-0.2826  
 0.1201  
 0.2900  
-0.0187  
 0.2103  
 0.2167  
 0.1265  
-0.1973  
-0.2901  
 0.7688
```

```
>> datosFinales2=PC2'*data'
```

```
datosFinales2 =  
  
    -0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225
```

```
>> datosFinales3= PC3'*data'
```

```
datosFinales3 =  
  
    -0.1987    0.2316   -1.2555    1.2225
```

ANEXO D: CÓDIGO PARA LA NORMALIZACIÓN

```
>> x= readtable('Excel con datos.xlsx');  
  
>> x.Var1= (x.Var1-mean(x.Var1))/std(x.Var1)  
>> x.Var2= (x.Var2-mean(x.Var2))/std(x.Var2)  
>> x.Var3= (x.Var3-mean(x.Var3))/std(x.Var3)  
>> x.Var4= (x.Var4-mean(x.Var4))/std(x.Var4)  
>> x.Var5= (x.Var5-mean(x.Var5))/std(x.Var5)  
>> x.Var6= (x.Var6-mean(x.Var6))/std(x.Var6)  
>> x.Var7= (x.Var7-mean(x.Var7))/std(x.Var7)  
>> x.Var8= (x.Var8-mean(x.Var8))/std(x.Var8)  
>> x.Var9= (x.Var9-mean(x.Var9))/std(x.Var9)  
>> x.Var10= (x.Var10-mean(x.Var10))/std(x.Var10)
```

ANEXO E: CÓDIGO PARA LA PONDERACIÓN Y AGREGACIÓN

```
>> A=readtable('Ponderaciones Indicadores.xlsx')  
A_array= table2array(A)
```

```
1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  1.0000  1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  0.3333  
7.0000  1.0000  3.0000  3.0000  7.0000  7.0000  1.0000  3.0000  3.0000  5.0000  
5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  5.0000  5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  3.0000  
5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  5.0000  5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  3.0000  
1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  1.0000  1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  0.3333  
1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  1.0000  1.0000  0.1429  0.2000  0.2000  0.3333  
7.0000  1.0000  3.0000  3.0000  7.0000  7.0000  1.0000  3.0000  3.0000  5.0000  
5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  5.0000  5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  3.0000  
5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  5.0000  5.0000  0.3333  1.0000  1.0000  3.0000  
3.0000  0.2000  0.3333  0.3333  3.0000  3.0000  0.2000  0.3333  0.3333  1.0000
```

```
>> P=sum(A_array,1)
```

```
P =
```

```
40.0000  3.9619  10.9333  10.9333  40.0000  40.0000  3.9619  10.9333  10.9333  24.0000
```

```
>> A_array(:,1)= (A_array(:,1))/P(1)
```

```
>> for i= 1:1:10
```

```
A_array(:,i)= (A_array(:,i))/P(i)
```

```
end
```

```
A_array =
```

```
0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0250  0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0139  
0.1750  0.2524  0.2744  0.2744  0.1750  0.1750  0.2524  0.2744  0.2744  0.2083  
0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  
0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  
0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0250  0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0139  
0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0250  0.0250  0.0361  0.0183  0.0183  0.0139  
0.1750  0.2524  0.2744  0.2744  0.1750  0.1750  0.2524  0.2744  0.2744  0.2083  
0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  
0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  0.1250  0.0841  0.0915  0.0915  0.1250  
0.0750  0.0505  0.0305  0.0305  0.0750  0.0750  0.0505  0.0305  0.0305  0.0417
```

```
>> R
```

```
ans =
```

```
0.2342  
2.3357  
1.0341  
1.0341
```

CREACIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL ÁMBITO INDUSTRIAL
ÁLVARO GONZÁLEZ GARCÍA

```
0.2342
0.2342
2.3357
1.0341
1.0341
0.4896
```

R =

```
0.0234
0.2336
0.1034
0.1034
0.0234
0.0234
0.2336
0.1034
0.1034
0.0490
```

```
>> for b= 1:1:10
data(:,b)=data(:,b)*R(b)
end
```

R =

```
0.0267    0.2453    0.0875    0.0875    0.0267    0.0267    0.2453    0.0875    0.0875    0.0422
```

data =

```
    0.0330   -0.0611   -0.0231   -0.0196    0.0323    0.0324    0.1610   -0.0625    0.0231   -0.0279
   -0.0019    0.3456    0.1502    0.1500   -0.0162   -0.0155    0.2382    0.1441   -0.1502   -0.0223
   -0.0097   -0.1390   -0.0851   -0.0462   -0.0183   -0.0188   -0.2253    0.0043    0.0851   -0.0231
   -0.0214   -0.1455   -0.0420   -0.0841    0.0022    0.0020   -0.1739   -0.0859    0.0420    0.0733
```

```
>> data(:,5) = -data(:,5)
>> data(:,6) = -data(:,6)
```

data =

```
    0.0330   -0.0611   -0.0231   -0.0196   -0.0323   -0.0324    0.1610   -0.0625    0.0231   -0.0279
   -0.0019    0.3456    0.1502    0.1500    0.0162    0.0155    0.2382    0.1441   -0.1502   -0.0223
   -0.0097   -0.1390   -0.0851   -0.0462    0.0183    0.0188   -0.2253    0.0043    0.0851   -0.0231
   -0.0214   -0.1455   -0.0420   -0.0841   -0.0022   -0.0020   -0.1739   -0.0859    0.0420    0.0733
```

```
>> data2= data.'
```

CREACIÓN DE UN ÍNDICE SINTÉTICO DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL ÁMBITO INDUSTRIAL
ÁLVARO GONZÁLEZ GARCÍA

```
data2 =
```

```
  0.0330  -0.0019  -0.0097  -0.0214  
-0.0611   0.3456  -0.1390  -0.1455  
-0.0231   0.1502  -0.0851  -0.0420  
-0.0196   0.1500  -0.0462  -0.0841  
-0.0323   0.0162   0.0183  -0.0022  
-0.0324   0.0155   0.0188  -0.0020  
  0.1610   0.2382  -0.2253  -0.1739  
-0.0625   0.1441   0.0043  -0.0859  
  0.0231  -0.1502   0.0851   0.0420  
-0.0279  -0.0223  -0.0231   0.0733
```

```
>> Indicators= sum(data2,1)
```

```
Indicators =
```

```
 -0.0417   0.8853  -0.4019  -0.4416
```


BIBLIOGRAFÍA

- «¿Como hacer una medición por expertos?» *Infolaft*, s.f.
- Agency, European Environment. «Environmental Signals 2000.» 2000.
- Arroyo, Santiago Cotán-Pinto. «Valoracion de impactos ambientales.» *INERCO*, 2007.
- Avendaño, William R. «Responsabilidad social (RS) y responsabilidad social corporativa (RSC): una nueva perspectiva para las empresas .» *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN* , 2012.
- Baba, Alper. «Application Of Rapid Impact Assessment Matrix (Riam) Method For Waste Disposal Site.» 2007.
- BARBA-ROMERO, S. «Panorámica actual de la decisión multicriterio.» 1987.
- Becker, W. et al. «Weights and importance in composite indicators: closing the gap. Ecological Indicators.» 2017.
- BELLVER, J. A., & MARTÍNEZ, F. G. *Nuevos Métodos de Valoración*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2012.
- Calvo, J.C Ayala. « Analisis de la responsabilidad social cooperativa desde tres enfoques: stakeholders, capital intelectual y teoria institucional.» *FEDRA*, s.f.
- Casana, Ingrid Cecilia. «Experimentos de elección vs. Valoración contingente: Disposición a pagar por mejoras en salud de niños asmáticos, Chile.» 2013.
- Cerdá, Maria del Casrmen Bas. «Estrategias metodológicas para la construcción de indicadores compuestos en la gestión universitaria.» 2014.
- Dahl, A.Lyon. «Sustainability Indicators. A scientific Assessment.» 2007.
- Eberle, E. David. «Crítica de la valoración contingente y del coste del viaje como métodos para la evaluación de los recursos naturales y los ecosistemas.» *CIP-Ecosocial* , 2011.
- Estévez, Ricardo. «Un poco de historia del desarrollo sostenible.» 2017.
- Fernando I. Gonzalez Laxe, Federico G. Martin Palmero. «MEDICIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE A TRAVÉS DE ÍNDICES SINTÉTICOS: DISEÑO Y APLICACIÓN A LA UNIÓN EUROPEA.» s.f.
- Foretica. «Responsabilidad Social Empresarial.» 2002.
- Gallopín, G. C. «Los Indicadores de desarrollo Sostenible: Aspectos Conceptuales y Metodológicos.» 2006.
- Governance, Office of Democracy and. «HANDBOOK ON QUALITATIVE INDICATORS.» 2005.

- Guerrero, Enrique Melo. «Consideraciones básicas para la aplicación de experimentos de elección discreta: una revisión.» *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2020.
- Hák, T, B.M. Moldan y A. Lyon Dahl. «Sustainability Indicators. A scientific Assessment.» 2007.
- Humberto Soto, Andrés Schuschny. «Guía Metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible.» *CEPAL*, s.f.
- Jolliffe, I.T. «Principal Component Analysis.» 2002.
- Knights, Corporate. «The most 100 sustainable corporations of 2022.» 2022.
- Little, J.C., E.T. Hester, y C.C. Carey. «Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual.» 2016.
- Mariel, Petr. «Environmental Valuation with Discrete Choice Experiments.» Springer, 2021.
- Matos, Oscar Alejandro Cuya. «El método de Battelle-Columbus como instrumento para evaluar la importancia del impacto ambiental.» *Elaboración de Estudios*, 2014.
- Micaela Camacho, Roberto Horta. «Metodologías para la construcción de índices compuestos.» *UCU*, 2020.
- Michaela Saisana, Stefano Tarantola. «Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development.» *Joint Research Centre*, 2002.
- Michaela Saisana, Stefano Tarantola. «State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development.» 2002.
- Monica Dominguez Serrano, Francisco Javier Blancas Peral, Flor Maria Guerrero Casas. «Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos.» *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, 2011.
- Moral, Adoracion Mozas. «LA RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA Y SU PARALELISMO CON LAS SOCIEDADES.» *Revesco*, 2010.
- Nations, United. «Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies.» 2007. 99.
- . «Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development.» 2017.
- ONU. *Nuevo informe de la ONU destaca los impactos ambientales de la exportación de vehículos usados al mundo en desarrollo*, 2020.
- Riera, Pere. «Manual de Valoración Contingente.» *Instituto de Estudios Fiscales*, 1994.
- Springer. «Corporate Social Responsibility Theories.» *Journal of Business Ethics*, 2004.
- Staff, CK. *Corporate Knights*. 2022. <https://www.corporateknights.com/rankings/global-100-rankings/2022-global-100-rankings/2022-global-100-press-release/>.
- . *Corporate Knights*. 2021. <https://www.corporateknights.com/rankings/global-100-rankings/2021-global-100-rankings/2021-global-100-ranking/>.
- Team, Alianza. «Informe de gestión sostenible 2019.» 2020.

- Thornton, Grant. «La sostenibilidad como estrategia: cómo adaptar su empresa para tener éxito.» 2021.
- Tomadoni, Claudia. «Desarrollo e indicadores cualitativos: una propuesta conceptual en torno a sostenibilidad y ambiente.» En *La Observación urbana de la ciudad Latinoamericana*, 91-124. 2013.
- Torres, Liliana Vinasco. «Los métodos cuantitativos en el análisis ambiental de una interfase urbano rural.» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2005.
- Trenado, Manuel. «SELECCIÓN DE UNA CARTERA DE ACCIONES BAJO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL EMPLEANDO TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO.» 2014.
- Unidas, Naciones. «Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.» 1987.
- Vasquez, Silvia Martínez. «Valoración Contingente. Problemas y Prospectivas.» *Universidad Autónoma de Barcelona*, 2002.
- Vitoriano, Begoña. «Teoría de la decisión.» *Universidad Complutense de Madrid*, 2007.
- «What is Choice Modelling, and what are Choice Experiments?» *Survey Engine*, s.f.