



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Departamento de Ingeniería Eléctrica

**EFICIENCIA ENERGÉTICA SOSTENIBLE:
MÉTODO PARA LA TOMA DE DECISIONES**

TESIS DOCTORAL

Remedios María Robles González

Córdoba, Marzo de 2012

TÍTULO: *Eficiencia energética sostenible: método para la toma de decisiones*

AUTOR: *Remedios María Robles González*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2012
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



EFICIENCIA ENERGÉTICA SOSTENIBLE:
MÉTODO PARA LA TOMA DE DECISIONES

TESIS PRESENTADA POR

Remedios María Robles González

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE DOCTORA

Doctoranda:

Fdo. Remedios María Robles González
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**TITULO DE LA TESIS: EFICIENCIA ENERGÉTICA SOSTENIBLE:
Método para la toma de decisiones**

DOCTORANDA: Remedios María Robles González

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS:

El presente trabajo se ha realizado bajo la dirección de Dr. Vicente Barranco López Director del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Dr Ana María Castillo Canalejo Profesora del Departamento de Estadística, Econometría, Investigación Operativa, Organización de Empresas y Economía Aplicada, y cumple las condiciones académicas exigidas por la legislación vigente para optar al título de Doctora por la Universidad de Córdoba.

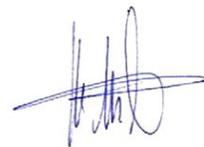
Fruto de este trabajo se han presentado las siguientes comunicaciones:

- “Residuos y Urbanismo” en el XV Seminario sobre Gestión Pública Local, denominado Modelos de Crecimiento Urbano, Gijón, Junio 2009.
- “Eficiencia Energética y Sostenibilidad” en el I Congreso Científico de Investigadores en Formación, Septiembre de 2009. pp 355-357. ISBN:978-84-9927-031-9
- “A review on existing sustainable indices on efficient energy” en el International Conference Renewable Energies and Power Quality, Abril de 2011. nº 697. ISBN 978-84-614-7527-8
- “Eficiencia energética sostenible en Sistemas de Recogida de RSU”, en las XIX jornadas de ANEPMA, Octubre de 2011.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 19 de Marzo de 2012

Firma de los directores



Fdo.: Dr Vicente Barranco López

Fdo.: Dra Ana María Castillo Canalejo

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mis directores de tesis Vicente Barranco López y Ana María Castillo Canalejo por todos sus consejos y la ayuda que me han prestado durante la realización de esta tesis doctoral.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional y comprensión durante todos estos años.

A mis compañeros de departamento por las palabras de aliento.

A mis amigos por “estar” y perdonarme mis ausencias.

A las personas que colaboraron cumplimentando las encuestas.

Al personal de SADECO y ROS ROCA por la transferencia de conocimiento, su paciencia y su siempre dispuesta colaboración, por abrirme las puertas a un mundo apasionante, que es un gran desconocido.

Y por último, quisiera agradecer a mi marido su comprensión y paciencia cuando más lo necesitaba y a mis hijas pedirle perdón por cada segundo que no he podido estar con ellas.

“La fortuna favorece a los más audaces”

Alejandro Magno Siglo IV aC

“Por esto, cuando el Gran Jefe Blanco en Washington manda decir que desea comprar nuestra tierra, pide mucho de nosotros. El Gran Jefe Blanco dice que nos reservará un lugar donde podamos vivir satisfechos. Él será nuestro padre y nosotros seremos sus hijos. Por lo tanto, nosotros vamos a considerar su oferta de comprar nuestra tierra. Pero eso no será fácil. Esta tierra es sagrada para nosotros. Esta agua brillante que se escurre por los riachuelos y corre por los ríos no es apenas agua, sino la sangre de nuestros antepasados. Si les vendemos la tierra, ustedes deberán recordar que ella es sagrada, y deberán enseñar a sus niños que ella es sagrada y que cada reflejo sobre las aguas limpias de los lagos hablan de acontecimientos y recuerdos de la vida de mi pueblo. El murmullo de los ríos es la voz de mis antepasados”

Fragmento de la carta del jefe Seattle de la tribu de los Suwamish
al presidente de los EEUU Franklin Pierce Siglo XIX

“En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento”

Albert Einstein Siglo XX

Índice General

Índice General	I
Índice de Figuras	V
Índice de Gráficas.....	IX
Índice de Tablas.....	XIII
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Consideraciones iniciales	2
1.2. Objetivos de la tesis.....	3
1.3. El problema	4
1.4. Metodología de investigación.....	5
1.5. Estructura y contenido del trabajo	6
Capítulo 2. Antecedentes.....	9
2.1. Ecosistema	10
2.1.1 Medio Ambiente.....	10

2.1.2 Crisis medioambiental	14
2.1.3 Salud	16
2.2. Sostenibilidad.....	19
2.3. Eficiencia Energética	29
2.4. Políticas aplicables.....	36
2.4.1 Desarrollo sostenible.....	36
2.4.2 Decrecimiento.....	38
2.4.3 Economía ecológica.....	42
2.4.4 Economía sostenible: Internalización de costes medioambientales.....	44
2.4.5 Progreso tecnológico.....	45
2.5. Normativa	47
2.5.1 Ámbito Internacional	47
2.5.2 Ámbito Europeo.....	50
2.5.3 Ámbito Nacional.....	52

Capítulo 3. Indicadores, métodos, índices y representaciones de eficiencia energética..... 55

3.1. Fuentes de indicadores para índices de sostenibilidad.....	56
3.2. Indicadores.....	63
3.2.1 Indicadores principales	63
3.3. Métodos e índices de sostenibilidad	68
3.3.1 Índice de sostenibilidad basado en imágenes de satélite	69
3.3.2 Análisis disperso de componentes principales.....	69
3.3.3 Índice de información Fisher	70
3.3.4 Índice de ahorros auténticos	71
3.3.5 Ingreso Nacional Sostenible	72
3.3.6 Análisis de Emergía.....	72
3.3.7 Índice de huella ecológica.....	73
3.3.8 Método de investigación en las Ciencias Sociales.....	74
3.4. Limitaciones de los índices.....	78
3.4.1 Límites de los sistemas.	78
3.4.2 Inclusión de datos.	79
3.4.3 Normalización y métodos de ponderación.....	79
3.4.4 Métodos de agregación.	80
3.4.5 Comparaciones entre índices.	80
3.5. Índices adecuados para la ponderación de las dimensiones de la sostenibilidad.....	81
3.5.1 Producto Interior Bruto per cápita	81
3.5.2 Esperanza de vida al nacer.....	84
3.5.3 Alfabetización y educación.....	86
3.5.4 Índice de Desempeño Medioambiental.....	87
3.5.5 Índice de Satisfacción con la Vida.....	89

3.5.6 Índice de Calidad de Vida	90
3.5.7 Índice de Desarrollo Humano.....	91
3.6. Metodología para el análisis de la sostenibilidad en la UE	97
3.6.1 Formulación de las categorías de referencia.....	98
3.6.2 Revisión de métodos.....	98
3.6.3 Definiciones y comparaciones.....	98
3.6.4 Presentación y discusión de los resultados	99
3.7. Representación de datos: eficiencia, cambio climático y sostenibilidad	99
3.7.1 Etiquetas energéticas	99
3.7.2 Huella de carbono.....	108
3.7.3 Sostenibilidad	112

Capítulo 4. Método de análisis de sostenibilidad y de presentación de datos comprensible para la toma de decisiones 115

4.1. Introducción a la toma de decisiones.....	116
4.2. Fases de cálculo del índice	116
4.3. Selección de Subíndices	118
4.4. Selección y normalización de máximos y mínimos	119
4.4.1 Selección de máximos y mínimos	119
4.4.2 Normalización	122
4.5. Ponderación de Subíndices.....	123
4.5.1 Ponderación basada en la importancia relativa al entorno	124
4.5.2 Ponderación mediante el concurso de un experto	125
4.5.3 Ponderación mediante encuestas a la población afectada	125
4.5.4 Asumir igual importancia	126
4.6. Formulación y obtención de resultados	126
4.7. Método de representación de datos	128
4.7.1 Representación mediante texto y color.....	128
4.7.2 Letras, colores y valores basados en la etiqueta energética.....	130
4.7.3 Representación mediante gráficos	131
4.8. Elección de representación de datos.....	136

Capítulo 5. Caso de estudio: Recogida de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Córdoba 141

5.1. Gestión local de residuos.....	142
5.1.1 Marco regulatorio español.....	143
5.1.2 Etapas de la gestión de los RSU	148
5.2. Recogida de Residuos sólidos urbanos en Córdoba	158
5.2.1 Sistema contenedorizado de recogida de RSU	160
5.2.2 Sistema neumático de recogida de residuos	164
5.3. Aplicación del método a los sistemas de recogida	172

5.3.1 Selección de subíndices	172
5.3.2 Normalización y elección de rangos	205
5.3.3 Ponderación de Subíndices	207
5.3.4 Cálculo del índice	222
5.3.5 Representación de los datos	225
Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros	239
6.1. Conclusiones.....	240
6.1.1 Generales	240
6.1.2 Específicas a la evaluación del caso de estudio	241
6.2. Trabajos Futuros	248
Referencias Bibliográficas.....	249
Anexo I.....	267
Anexo II	279
Anexo III.....	283

Índice de Figuras

Figura 2.1: Concepto ecológico de salud.....	17
Figura 2.2: Los tres pilares de la sostenibilidad. Diagrama de Venn.	19
Figura 2.3: Países Firmantes del Protocolo de Kioto	27
Figura 2.4: Diagrama de Sostenibilidad, con eficiencia y tecnología	32
Figura 2.5 : Efecto Rebote y Debote de Schneider.....	41
Figura 2.6 : Relación entre la biosfera, el hombre y la economía según la economía ecológica	43
Figura 2.7: Demanda de energía eléctrica, estructura de generación y emisiones de CO ₂	46

Figura 3.1: Etapas de la realización de un estudio de campo	74
Figura 3.2: Mapa de países por PIB per cápita 2008 (nominal)	83
Figura 3.3: Mapa Mundial de la esperanza de vida en años	85
Figura 3.4: Mapa Mundial que muestra el índice de alfabetización	86
Figura 3.5: Mapa Mundial que muestra el índice de educación	87
Figura 3.6: Mapa Mundial del Índice de Desempeño Ambiental 2006.....	88
Figura 3.7: Mapa Mundial del Índice de la Satisfacción de la Vida.....	89
Figura 3.8: Mapa Mundial que muestra el índice de calidad de vida	91
Figura 3.9: Mapa Mundial que muestra el Índice de Desarrollo Humano.....	92
Figura 3.10: Componentes del Índice de Desarrollo Humano.....	94
Figura 3.11: Carácter multidimensional de la eficiencia energética.....	97
Figura 3.12: Etiquetado tipo eficiencia energética de electrodomésticos de la UE	101
Figura 3.13: Etiquetado tipo de eficiencia energética de neumáticos de la UE.	104
Figura 3.14: Etiquetado tipo de eficiencia energética en edificios de la UE	105
Figura 3.15: Etiquetado energético para televisores A, A+, A++ y A+++	106
Figura 3.16: Etiquetado energético de lavadoras.....	107
Figura 3.17: Etiquetado Huella de Carbono.	109
Figura 3.18: Etiquetado con Huella de Carbono para patatas.....	111
Figura 3.19: Sostenibilidad fuerte.....	112
Figura 3.20: Representación de sostenibilidad. EcoSTEP	113
Figura 3.21: Representación de sostenibilidad rueda de Stockport	114

Figura 4.1: Etapas de confección del índice.....	117
Figura 4.2: Representación 1	129
Figura 4.3: Representación 2.....	130
Figura 4.4: Representación 3.....	132
Figura 4.5: Representación 4.....	133
Figura 4.6: Representación 5.....	135
Figura 5.1: Símbolo de punto verde y logotipos de sistemas de gestión.....	145
Figura 5.2: Envases de medicamentos con marca SIGRE.....	145
Figura 5.3: Modelos de recogida de residuos implantados en España	150
Figura 5.4: Modelo de recogida de multi-contenedor en acera en Córdoba.....	151
Figura 5.5: Elementos funcionales del sistema contenedorizado de recogida...	160
Figura 5.6: Sistema de recogida contenedorizada	161
Figura 5.7: Evolución de la recogida todo en uno a recogida por fracciones....	163
Figura 5.8: Sistema de Recogida Neumática Tipo	165
Figura 5.9: Buzones en zona común de una urbanización en Córdoba.....	166
Figura 5.10: Tolvas por fracciones subterráneas.....	167
Figura 5.11: Sistema de vertido neumático	167
Figura 5.12: Red de Transporte de sistema neumático.....	168
Figura 5.13: Sistema de aspiración en la central	170
Figura 5.14: Mapa de circuitos.....	175
Figura 5.15: Proporción de las fracciones de RSU en Córdoba	177

Figura 5.16: Zonas de expansión prevista en el Plan General de Ordenación Urbanística 01 de Córdoba	194
Figura 5.17: Evolución temporal de la generación de residuo por habitante y día	197
Figura 5.18: Representación Elegida	236

Índice de Gráficas

Gráfica 2.1: Suministro de trigo en países desarrollados y en México, India y Pakistán. Producción en (Kg/Ha)	21
Gráfica 2.2: Pico de Hubbert, consumo de combustibles fósiles	22
Gráfica 2.3: Pico de Hubbert. Desglose por yacimientos de países productores de petróleo	22
Gráfica 2.4: Evolución del precio de los barriles del petróleo	23
Gráfica 2.5: Distintos escenarios de evolución del pico del petróleo	31
Gráfica 2.6 : Estimación de la Energía en los EEUU	33
Gráfica 2.7: Contaminación óptima según la economía ambiental.	42

Gráfica 2.8: Gases de efecto invernadero en la UE-27 por su actividad de origen. 2007	48
Gráfica 2.9: Reducción potencial de consumo de energía final.....	51
Gráfica 3.1: Huella ecológica 1961-2100	73
Gráfica 3.2: Ecoeficiencia (PIB, Eficiencia Energética y GEI) en el sector energético.....	82
Gráfica 3.3: Evolución de la esperanza de vida 1960-2008.....	85
Gráfica 3.4: Tendencias mundiales entre 1980-2010 del IDH	93
Gráfica 3.5: Subíndices mundiales de IDH entre 1980-2010	95
Gráfica 3.6: Correlación de IDH y huella ecológica.....	96
Gráfica 5.1: Valor de mercado de los principales RSU producidos en EEUU en 1997.	157
Gráfica 5.2: Evolución de la Población y de los Residuos	158
Gráfica 5.3: Tendencias de Población y de residuos recogidos	159
Gráfica 5.4: Tendencias de PIB per cápita y los residuos recogidos	160
Gráfica 5.5: Problemas de la recogida de RSU	187
Gráfica 5.6: Proporción por sexo de la muestra.....	190
Gráfica 5.7: Distribución por edades de la muestra	190
Gráfica 5.8: Zona de residencia de los encuestados	191
Gráfica 5.9: Valoración de molestias para contenedorizada.....	192
Gráfica 5.10: Valoración de molestias para neumática	204
Gráfica 5.11: Probabilidad normal e histograma consumo de mercancías por carretera por tonelada-km	210

Gráfica 5.12: Probabilidad normal e histograma del Índice de Desempeño Medioambiental UE-17	212
Gráfica 5.13: Probabilidad normal e histograma del PIB per cápita en PPS UE-17	214
Gráfica 5.14: Probabilidad normal e histograma del PIB per cápita en PPS UE-16	216
Gráfica 5.15: Probabilidad normal e histograma del porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17	218
Gráfica 5.16: Probabilidad normal e histograma del Índice de Desarrollo Humano UE-17.....	221
Gráfica 6.1: Emisiones de CO ₂ equivalentes para varias energías	244

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Impacto de las actividades humanas en el planeta en el último siglo	20
Tabla 2.2: Porcentaje de emisiones de GEI, en España.....	49
Tabla 3.1: Indicadores sociales de indicadores energéticos sostenibles.....	58
Tabla 3.2: Indicadores económicos del los indicadores energéticos sostenibles	60
Tabla 3.3: Indicadores medioambientales de indicadores energéticos sostenibles	62
Tabla 3.4: Indicadores Europeos	64

Tabla 3.5: Indicadores de ODYSSEE-MURE	66
Tabla 3.6: Índice de Eficiencia Energética en Iluminación por sectores	67
Tabla 3.7: Esperanza de vida al nacer por continentes	84
Tabla 3.8: Codificación de colores del etiquetado energético en CMYK Y RGB	101
Tabla 3.9: Clases de eficiencia energética	102
Tabla 3.10: Tipología de actividades vinculadas a la huella ecológica	110
Tabla 4.1: Normalización más es mejor	121
Tabla 4.2: Normalización menos es mejor	121
Tabla 4.3: Ponderación por un experto	125
Tabla 4.4: Tabla de conversión de valores en tanto por 1 a escala de color A-G	131
Tabla 5.1: Ejemplos de implantación de la recogida neumática en España	153
Tabla 5.2: Procedencia de los R.U gestionados por SADECO.....	162
Tabla 5.3: Dimensiones elegidas	173
Tabla 5.4: Circuitos de recogida de residuos en la ciudad de Córdoba	176
Tabla 5.5: Circuitos seleccionados para la confección del subíndice de eficiencia energética.....	178
Tabla 5.6: Consumo energético por los camiones de recogida según circuito ..	179
Tabla 5.7: Número de contenedores según tipo de recogida	179
Tabla 5.8: Consumo energético de los lavacontenedores por circuito	180
Tabla 5.9: Gasto energético en la Recogida Tradicional de Residuos.....	180
Tabla 5.10: Litros de combustible consumido por tonelada de RSU	181

Tabla 5.11: Emisiones de CO ₂ por tonelada de RSU	181
Tabla 5.12: Coste medio de recogida selectiva lateral de orgánica por circuito para 2009	182
Tabla 5.13: Coste medio de recogida selectiva lateral de inerte por circuito para 2009	182
Tabla 5.14: Toneladas anuales de cada fracción de RSU	183
Tabla 5.15: Toneladas y coste medio anual de cada fracción de RSU	183
Tabla 5.16: Coste medio de la recogida de contenedorizada de RSU	183
Tabla 5.17: Porcentaje de renovables en la recogida de contenedorizada de RSU	184
Tabla 5.18: Quejas de los usuarios de SADECO al teléfono de atención al cliente	186
Tabla 5.19: Perfil sociodemográfico	189
Tabla 5.20: Valoración de molestias de contenedorizada	191
Tabla 5.21: Consumo energético de la central según la carga.....	196
Tabla 5.22: Coste energético por la central de neumática en kWh/t y kep/t	197
Tabla 5.23: Coste energético de Central-CMC	198
Tabla 5.24: Coste energético en la Recogida Neumática de Residuos.....	198
Tabla 5.25. Emisiones de Buzón – Central en base a los Mix Energéticos de diferentes años	199
Tabla 5.26. Emisiones de Central Neumática-CMC	200
Tabla 5.27: Emisiones de CO ₂ por tonelada de RSU generadas en ámbito urbano y extraurbano	200
Tabla 5.28: Coste Central Neumática para 2009	201

Tabla 5.29: Coste Central Neumática por tonelada para 2009	201
Tabla 5.30: Coste Neumática por tonelada para 2009	202
Tabla 5.31: Porcentaje de renovables en la recogida neumática de RSU	203
Tabla 5.32: Consumo de mercancías por carretera por tonelada-km UE-17	208
Tabla 5.33: Consumo de mercancías por carretera por tonelada-km.....	209
Tabla 5.34: Datos Descriptivos del consumo de mercancías por carretera por tonelada-km	209
Tabla 5.35: Índice de Desempeño Medioambiental UE-17	211
Tabla 5.36: Datos Descriptivos del Índice de Desempeño Medioambiental UE-17	212
Tabla 5.37: PIB per cápita en PPS UE-17	213
Tabla 5.38: Datos Descriptivos del PIB per cápita en PPS UE-17	214
Tabla 5.39: Datos Descriptivos del PIB per cápita en PPS UE-16.....	215
Tabla 5.40: Porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17.....	217
Tabla 5.41: Datos Descriptivos del porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17.....	218
Tabla 5.42: Índice de Desarrollo Humano UE-17	220
Tabla 5.43: Datos Descriptivos del Índice de Desarrollo Humano UE-17	221
Tabla 5.44: Índice de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética .	224
Tabla 5.45: Porcentaje de respuestas de representación preferida.....	230
Tabla 5.46: Porcentaje de respuestas y de acierto de proceso más sostenible ...	230
Tabla 5.47: Contingencia entre nivel de estudios y preferencia de representación.	231

Tabla 5.48: Porcentaje de respuestas y de acierto a preguntas basadas en factores	232
Tabla 5.49: Porcentaje de respuestas de autovaloración de confianza en la respuesta	233
Tabla 5.50: Porcentaje de respuesta de autovaloración del tiempo de respuesta	233
Tabla 5.51: Valoración de representación 3 y 4	234
Tabla 5.52: Valoración de representación 3 y 4 considerando el error estadístico	234
Tabla 5.53: Contingencia entre representación preferida y sexo.....	235

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se exponen ciertas consideraciones iniciales para identificar la necesidad del trabajo de investigación desarrollado en esta memoria. A continuación se describen algunos de los problemas que han sido detectados en el área de conocimiento en la que se enmarca este trabajo y que han dado lugar a los objetivos que se plantean como base fundamental del mismo. Por último se exponen brevemente los distintos capítulos en los que se ha dividido esta memoria.

1.1. Consideraciones iniciales

Desde los albores de la humanidad las luchas por el control de los recursos han decidido el desarrollo de los países. Sin embargo, el principal precursor de la revolución industrial no fue el control de los recursos, como en anteriores crisis en la historia del mundo, sino el intento inglés de sustituir costes de mano de obra en los telares por kilogramos de carbón; por lo tanto, un razonamiento de eficiencia [1].

Puesto que dichos cálculos rigen nuestras vidas, seguimos en una puja en la cual intentamos equilibrar recursos disponibles y su coste mediante un crecimiento geométrico de la técnica que contradice las predicciones maltusianas. De este modo, con una capacidad mayor de extracción de recursos energéticos y mejores procedimientos tecnológicos se ha acomodado un crecimiento de la población mundial cada vez superior [2].

Adam Smith postulaba que toda actividad económica realizada bajo los parámetros del libre mercado busca su optimización para generar el máximo beneficio al mínimo coste o ventaja absoluta [3]. Sin embargo, la economía mundial se enfrenta a una difícil encrucijada: los recursos no son infinitos y la capacidad de asestar mayores daños al planeta sin que nos devuelva el golpe tampoco [4]. La evaluación de la eficiencia energética es un área que ha tomado una gran relevancia en la primera década del S.XXI debido a su importancia económica y medioambiental [5].

Se requieren cambios a nivel social, económico y tecnológico para mantener nuestro bienestar y el de las generaciones futuras, aunque conllevaran modificaciones en el estilo de vida. Nuestra sociedad está basada desde hace más de un siglo en un consumo voraz y siempre en aumento de energía [6]. Para contrarrestar los efectos de la intervención humana en el planeta, diversas instituciones internacionales han propuesto en los últimos tiempos diferentes objetivos. Entre ellas, se encuentra la de Consejo Europeo de 8 y 9 de marzo de 2007: reducir un 20% el consumo de energía primaria, reducción vinculante del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero y presencia de un 20% de

energías renovables para 2020, que se conoce popularmente como objetivo “20-20-20”, lo que implica mejoras en la eficiencia energética [7].

La economía de los daños medioambientales se antoja como parte fundamental para dimensionar la ecuación de qué es rentable de una manera absoluta: hoy, mañana, siempre, aquí y allá [8]. Moderación, inteligencia y reparto constituyen la sustancia íntima de lo que entendemos por sostenibilidad [9].

1.2. Objetivos de la tesis

El Objetivo Principal del presente trabajo de tesis es:

- Crear un método escalable que permita comparar procesos¹ de igual finalidad en el ámbito de la eficiencia energética para conseguir que sea comprendido por políticos y calculado por técnicos a un nivel municipal.

Para conseguir dicho objetivo, se pretenden alcanzar los siguientes objetivos secundarios:

- Analizar los indicadores existentes relacionados con la eficiencia energética y la sostenibilidad.
- Crear una representación gráfica de alto impacto, basada en criterios de ergonomía cognoscitiva, que permita comparar las diferentes opciones para un mismo proceso e identificar la más idónea sin tener ningún conocimiento previo del método.
- Realizar un caso de estudio de aplicación del método.

¹ Entendiéndose proceso en este trabajo de tesis como: alternativa, opción o producto.

1.3. El problema

Los métodos de evaluación de la sostenibilidad y la eficiencia energética parecen robustos y listos para su aplicación en todos los entornos posibles. Más aún, gran parte de estas técnicas son una combinación directa de madurez de metodologías y de recopilación de indicadores durante décadas con grandes esfuerzos internacionales de homogeneización [10, 11, 12, 13]. Sin embargo, estos métodos se enfrentan aún a varios retos para su aplicación eficaz en entornos microeconómicos orientados a procesos y toma de decisiones [14, 15]. A continuación, se enumeran los problemas fundamentales que se han encontrado y cuyas soluciones se abordarán a lo largo de la presente memoria:

- **Evaluación parcial:** El problema que se plantea en este tipo de evaluaciones es que en los últimos 30 años se ha pasado de enfocar la eficiencia en producción a una sectorización de la evaluación en campos como edificación, equipos, luz, transporte, industria, etc. [14, 16, 17]. Sin embargo, y frente a esta mayor capacidad de determinar la eficiencia en estos campos específicos, han quedado lagunas en otros campos que hacen que sean muy complicados de evaluar [18].
- **Dificultad para aplicar el método adecuado:** La recopilación de las variables de entrada necesarias puede ser uno de los mayores impedimentos existentes [19].
- **Dificultad para seleccionar indicadores:** Resulta complicado comprender las limitaciones de cada método disponible, así como aplicarlo por personal inexperto [13, 20, 21].
- **Dificultad de interpretación:** En el caso de que sea posible evaluar cierta situación, la mayoría de los métodos generan una serie de valores difícil de interpretar por los creadores de políticas. Esta dificultad se antoja como crucial ya que, si no se es capaz de extraer conclusiones concretas que permitan acciones correctivas y evaluar su resultado con el paso del tiempo, cualquier método a aplicar fracasará [22, 23].

1.4. Metodología de investigación

La metodología de investigación a aplicar en este trabajo de tesis se compone de varias etapas que pueden solaparse en el tiempo y realimentarse:

1) Planificación

2) Revisión bibliográfica:

- Detección: Recuperar las referencias de los artículos científicos referidos a los aspectos clave de la tesis (sostenibilidad, cambio climático, eficiencia energética, etc.).

- Filtrado: Filtrar los artículos así recuperados, para seleccionar sólo aquellos que realmente corresponden a estudios científicos relevantes.

- Evaluación: Evaluación de la calidad metodológica de los artículos filtrados.

- Resumen: Resumen de los estudios científicos seleccionados como de mayor calidad metodológica.

3) Definición del método:

- Creación del método de análisis: Confeccionar un método de análisis fundamentado que conste de determinadas variables de entrada (datos) y de salida (resultados).

4) Toma de datos:

- Detección: Recuperar los datos requeridos para ser analizados. Los datos no cuantitativos, serán obtenidos mediante encuestas.

- Filtrado: Filtrar los datos con objeto de seleccionar sólo aquellos relevantes.

5) Aplicación del método:

- Procesado: Procesar los datos conforme al método de análisis creado.

6) Conclusiones.

1.5. Estructura y contenido del trabajo

A continuación se van a describir brevemente los distintos capítulos en los que se ha dividido esta memoria.

Capítulo 1: Introducción

Capitulo 2: Antecedentes

Capitulo 3: Métodos e Indicadores de eficiencia energética

Capítulo 4: Método para la creación de un índice de eficiencia energética sostenible.

Capitulo 5. Casos de estudio.

Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros

El Capítulo **Antecedentes** pretende realizar una revisión del estado del arte en que se encuentra enmarcada nuestra investigación. Se distinguen tres áreas de investigación fundamentales: Primero, se hace un estudio sobre los conceptos involucrados: ecosistema, sostenibilidad y eficiencia energética. Posteriormente se estudian las diferentes políticas aplicables para la sostenibilidad de los diferentes vectores analizados. Por último se analiza la normativa existente en lo concerniente a la sostenibilidad, a la eficiencia energética y al cambio climático.

En el Capítulo **Indicadores, métodos, índices y representaciones de eficiencia energética** primero se estudian los métodos e índices de sostenibilidad adecuados para la evaluación de la eficiencia energética. A continuación se estudian las fuentes de indicadores recomendados para las evaluaciones de eficiencia. Por último se estudian las representaciones existentes. Este trabajo

identifica aquellos indicadores, índices y métodos más representativos para el estudio de la sostenibilidad desde la perspectiva del uso final de la energía estudiando las limitaciones que presentan los índices.

El Capítulo **Método de análisis de sostenibilidad y de presentación de datos comprensible para la toma de decisiones** presenta un método para la creación de un índice que evalúe la sostenibilidad en el ámbito de la eficiencia energética como herramienta de apoyo a los agentes implicados en la toma de decisiones de sostenibilidad. En primer lugar, se describe la estructura del método. En los siguientes apartados se explica el método de normalización y ponderación de indicadores propuestos. Por último, se dedica un apartado a la presentación de datos y a las diferentes variantes propuestas y se analiza cual es más comprensible y adecuada para la toma de decisiones mediante la realización de un análisis estadístico.

El Capítulo **Caso de estudio: Recogida de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Córdoba** presenta los resultados obtenidos de la aplicación del método al caso de estudio. En primer lugar se comenta la situación actual de la recogida de residuos urbanos en Córdoba y se describe el funcionamiento de los dos sistemas de recogida de residuos sólidos urbanos que convivirán en la capital cordobesa (tradicional y neumática). En segundo lugar, se aplica el método por separado a ambos sistemas incluyendo la valoración mediante encuestas a la población de la dimensión social de las diferentes alternativas. Por último se realiza la comparación de la sostenibilidad en el ámbito de la eficiencia energética de ambos sistemas.

El Capítulo **Conclusiones y trabajos futuros** muestra un resumen de las principales contribuciones de esta investigación, así como las conclusiones de esta memoria incluyendo una evaluación de las ventajas y limitaciones del trabajo realizado. Además se hace mención a las futuras líneas de investigación que pueden abordarse a partir de esta tesis.

Después de los capítulos, se recogen las referencias bibliográficas utilizadas para la elaboración del presente trabajo de tesis.

Finalmente se presentan unos anexos:

- Anexo I: Cuestionarios.
- Anexo II: Cuestionarios para expertos.
- Anexo III: Glosario de acrónimos.

Capítulo 2. Antecedentes

El objetivo de este capítulo es introducir los principales antecedentes relacionados con nuestra investigación. Primero, se hace un estudio sobre los conceptos involucrados: ecosistema, sostenibilidad y eficiencia energética. Posteriormente se estudian las diferentes políticas aplicables para la sostenibilidad de los diferentes vectores analizados. Por último se analiza la normativa existente en lo concerniente a la sostenibilidad, a la eficiencia energética y al cambio climático.

2.1. Ecosistema

El ser humano desde la prehistoria ha tomado de su entorno los recursos que ha necesitado llevando a cabo realizando modificaciones sobre el ecosistema. Los efectos de este comportamiento, compartido con otros seres vivos como las termitas o los castores, tienen consecuencias para el ecosistema local, pero son despreciables para el conjunto del medio ambiente global. Sin embargo, en los últimos 50 años, estos efectos se han agravado a una escala antes desconocida [6]. A continuación se desarrollarán los efectos del desarrollo mundial sobre el medio ambiente y la salud humana.

2.1.1 Medio Ambiente

A nivel de publicaciones se puede considerar que la literatura de carácter ambientalista comienza a florecer a principios de la década de los 60, con la obra de Bertrand Russell “¿Tiene el hombre futuro?” [24]. Russell opina que el hombre debe modificar su comportamiento, puesto que en caso contrario peligra su propia supervivencia debido a la progresiva destrucción del medio.

En un congreso internacional, en 1968, se reunió en Roma un grupo importante de científicos, empresarios y políticos provenientes de 30 países distintos, con el objetivo de debatir sobre los cambios que se estaban produciendo en el planeta a consecuencia de factores antropogénicos. Fruto de estas conversaciones, surge en 1972 el informe “Los límites del crecimiento” [25] el cual da pie al inicio de la ecología política, el ecofeminismo y el ambientalismo. Dicho informe destacó las posibilidades de conciliar el progreso sostenible dentro de las limitaciones medioambientales. A continuación dicho informe se editó y se vendieron más de 12 millones de copias en 30 idiomas. Como consecuencia de este éxito de concienciación, el Club de Roma contribuyó a la creación de los Ministerios de Medio Ambiente en numerosos países.

La preocupación sobre aspectos medioambientales a nivel gubernamental no surgió hasta la segunda mitad del siglo XX cuando los principales países industrializados empezaron a legislar de manera fragmentada leyes referentes a las aguas y a las obras públicas. El primer país que decidió legislar con un enfoque global fue EEUU, en la NEPA² aprobada el 1 de Enero de 1970. En ella se establece que: “todas las instancias de gobierno identificarán y desarrollarán métodos y procedimientos que contribuyan a que en el menor tiempo posible los factores ambientales sean tomados en cuenta en la toma de decisiones técnicas y económicas” [26].

Los propósitos de la NEPA fueron:

- Declarar una política nacional que respete el medioambiente sin perjuicio de las personas.
- Promover esfuerzos de regeneración de la biosfera que estimulen la salud y el bienestar.
- Explicar a la ciudadanía el sistema ecológico y los recursos naturales importantes para la nación.
- Crear un Consejo sobre Calidad Ambiental.

Estos propósitos irradiaron con velocidad a otros países y durante la misma década y principios de la siguiente. Un gran número de países desarrollados habían creado su propia versión de la NEPA. Entre ellos, destaca Canadá que desarrolló un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental³ que cubre roles, responsabilidades, necesidades y objetivos en el cual destaca la importancia de la participación ciudadana.

Naciones Unidas, fue referente en la segunda mitad del siglo XX y principios del siglo XXI con dos importantes conferencias que constituyen los antecedentes

² National Environmental Policy Act.

³ Denominado EARP.

históricos de la gestión ambiental y que dinamizaron a gobiernos, sociedad civil y sector privado:

- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano en Estocolmo de 1972⁴, en la que se recomendó el día mundial del medio ambiente al 5 de junio [27].
- La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro de 1992 [4].
- La Convención Marco sobre Cambio Climático de Nueva York del 4 de Mayo de 1992 [28], que da origen a la firma del “Protocolo de Kioto” en 1997 [29].

Todas han contribuido a incrementar la conciencia ambiental y a crear nuevos puntos de vista sobre el medioambiente dando lugar a multitud de acuerdos y convenios multilaterales en los años posteriores a su celebración. La conferencia de Estocolmo de 1972, constituye el primer esfuerzo global de enfrentar los problemas medio ambientales. En la misma, se señalaron las amenazas generadas por la contaminación industrial y el desarrollo económico sobre el medio ambiente natural. Sin embargo, los países industrializados señalaron que estas presiones eran relativamente irrelevantes y que la pobreza se cernía como mayor amenaza para el bienestar humano, concluyendo que el desarrollo económico no era el problema sino parte de la solución. Brasil señaló que los países del Norte habían alcanzado su desarrollo a costa de daños irreparables al medio ambiente.

De la conferencia de Estocolmo de 1972 se evolucionó a una gestión ambiental de Estado. En esta visión no se hacía un cuestionamiento de las fuerzas degradantes y destructoras del medio ambiente inscritas en el modelo de desarrollo. Posteriormente, en 1983, la Asamblea General de la ONU⁵ crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo, que impulsa la

⁴ Actualmente después de casi 40 años se sigue manteniendo, siendo en 2011 el país anfitrión de WED (World Environment Day) fue la India.

⁵ Organización de Naciones Unidas

elaboración del informe “Nuestro Futuro Común”⁶ [30]. En este documento se analizaban los problemas medioambientales derivados del desarrollo económico y se abogaba por un desarrollo sostenible, que requería un cambio de los hábitos de consumo y las modalidades de interacción económica, y un freno a la utilización masiva de los recursos naturales. Entre otros aspectos, este informe subrayó a la pobreza de los países del sur y al consumismo extremo de los países del norte como las causas fundamentales de la insostenibilidad del desarrollo y la crisis ambiental.

Este informe sirvió como punto de partida para el debate que tuvo lugar en la conferencia de Río. De estos debates nos queda la creación del concepto de desarrollo sostenible y su adopción como meta hacia la cual se deben de dirigir todas las naciones de la tierra. Por primera vez se tendrá en cuenta desarrollo, economía, medio ambiente y ámbito social. A partir de la publicación del “Informe Brundtland” [30], y una vez identificadas y aceptadas las causas del problema, la sostenibilidad tomará el relevo al medioambiente aislado en la escena internacional y las decisiones se empezarán a tomar en función de los agentes desequilibradores relacionados con el desarrollo, la economía y las presiones demográficas.

A nivel europeo, podemos reseñar que el tratado de Roma pretende como objetivo general mejorar la calidad de vida de los europeos y uno de los aspectos clave es el medio ambiente. La cumbre de París de 1972 también incluyó el Medio Ambiente en la política de la CE⁷. El Acta Única Europea [31] en el artículo 25 constituyó la acción y los objetivos de la comunidad en lo referente al medio ambiente. Incluyó el término “*polluter should pay*” o en español: “el que contamina paga” definido previamente por la OCDE⁸ mediante diversas herramientas:

⁶ También llamado “Informe Brundtland”.

⁷ Comunidad Europea

⁸ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

- Reglamentos, que vinculan a los Estados miembros en lo que se refiere a los objetivos y medios.
- Directiva, que los vinculan en lo que se refiere a objetivos (resultados a alcanzar).
- Decisiones, que vinculan a ciertos estados miembros o a ciertos grupos de individuos en lo que se refiere a objetivos y medios.

2.1.2 Crisis medioambiental

En los últimos años la agudización de los problemas ambientales globales ha contribuido decisivamente a la aceptación social de la existencia de una verdadera crisis ecológica. Basta con echar un vistazo a los indicadores globales en materia medioambiental para comprobar el continuo y generalizado empeoramiento en las condiciones físicas del planeta tierra [32]:

- La capa de ozono protectora de las radiaciones ultravioletas ubicada sobre las latitudes densamente pobladas del hemisferio norte disminuye más rápidamente de lo que los científicos pensaban apenas unos pocos años atrás. La razón de esta destrucción de la capa de ozono es la emisión de algunas sustancias que son los compuestos nitrogenados y especialmente los clorofluorcarbonos (CFCs).
- El efecto invernadero, ocasionado por un mayor consumo de energía [33], provoca el incremento de los niveles atmosféricos de determinados gases, especialmente el dióxido de carbono y el metano⁹. Todo esto provoca un calentamiento global, el llamado cambio climático, que se está manifestando en un cambio en la situación del clima a nivel mundial

⁹ CO₂ y CH₄.

con aumentos de la temperatura media, del nivel del mar y una variación en la distribución espacial y temporal de las precipitaciones.

- La lluvia ácida que se produce por la emisión de sustancias procedentes del nitrógeno y, especialmente del azufre, que al llegar a la atmósfera se acidifican, precipitándose posteriormente al suelo bajo forma de lluvia. Esto provoca una serie de efectos que se muestran fundamentalmente en la muerte biológica de algunos bosques y lagos, así como la incidencia negativa en algunas cosechas en zonas especialmente expuestas.
- El despilfarro de recursos a que ha conducido el sistema económico vigente con la creencia de que la mayoría eran inagotables y gratuitos. Afortunadamente cada vez existe una mayor sensibilización social y somos más conscientes del coste de oportunidad de estos recursos.
- La pérdida y la desaparición de la diversidad biológica, ocasionadas por una explotación excesiva de determinados recursos naturales, así como la ocupación de tierras vigentes en los países en vías de desarrollo y por la contaminación en los países industrializados, y, en todos los casos, con la intención de conseguir un mayor desarrollo económico.
- La deforestación y la desertización de grandes áreas en zonas geográficas muy distantes, provocadas por causas distintas en función de la situación económica del país afectado. Mientras que en los países en vías de desarrollo la causa principal es la tala de grandes masas boscosas para mejorar las posibilidades de subsistencia a corto plazo, en los países desarrollados de clima cálido la causa fundamental de la deforestación son los incendios forestales.
- El crecimiento de la población a nivel mundial. Esto supone una presión sobre los recursos naturales y la producción de alimentos, así como por los problemas que esto plantea en los países menos desarrollados.

No obstante, los problemas de calidad ambiental y el agotamiento de los recursos naturales no son nuevos. De hecho, la historia está llena de ejemplos desoladores de degradación ambiental. Entre otros, encontramos registros de los historiadores de la Antigua Roma sobre insoportable olor que prevalecía en la

capital imperial; y más recientemente, disponemos de una amplia documentación del nocivo *smog*¹⁰, el ruido y los olores que plagaban las nuevas ciudades industrializadas de la Inglaterra victoriana [34].

Sin embargo, la particularidad de la situación actual se debe a que los impactos ambientales han dejado de ser localizados y fácilmente corregibles, para convertirse en impactos a escala mundial con efectos diseminados que podrían convertirse en hechos irreversibles. Esto no ha pasado inadvertido en los países desarrollados, donde muchas personas, después de haber alcanzado grandes niveles de bienestar material, están comenzando a cuestionarse la utilidad de tal comodidad si ésta se obtiene a costa de los grandes desequilibrios del ecosistema sobre el que se asienta la actividad biológica y económica del hombre. Más preocupantes son los problemas de los países en vías de desarrollo, donde la pobreza y el crecimiento de la población ejercen una fuerte presión sobre los recursos naturales.

Por tanto, podemos resaltar que desde hacia varias décadas existe en el ámbito económico y social internacional una serie de circunstancias (cambio climático, agotamiento capa de ozono, sobrepoblación, inmigración, contaminación, hambre, etc.) que nos deben hacer reflexionar y orientar nuestra conducta hacia nuevas formas de actuación enfocadas no solo desde un punto de vista económico, sino también social y medioambiental. Este es la idea en la que se basa el concepto de desarrollo sostenible.

2.1.3 Salud

A continuación se trata la salud desde un punto de vista ecológico y la influencia que ejercen sobre ella las actividades humanas.

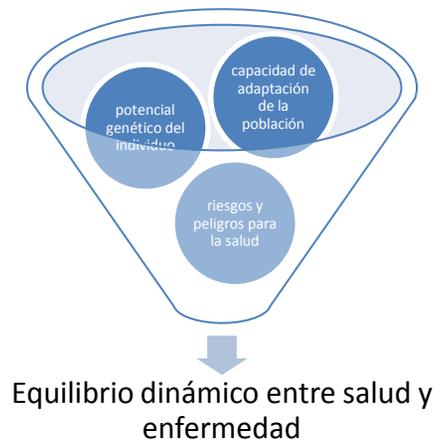
¹⁰ Término inglés que proviene de la combinación de las palabras *smoke* y *fog* “humo y niebla” utilizado para referirse a los densos gases generados por la quema del carbón en el Londres de la época de la revolución industrial.

2.1.3.1. CONCEPTO ECOLÓGICO DE SALUD

La salud depende de diferentes factores del entorno. Según Dubos [35], salud es “El estado de adaptación al medio y la capacidad de funcionar en las mejores condiciones en este medio”. Esto se conoce como concepto ecológico de salud y se ilustra en Figura 2.1. Los factores del entorno que afectan al grado de salud de un pueblo dependen de los siguientes medios:

- Medio ambiente: Conjunto de condiciones de orden físico, químico y biológico y social que de forma directa o indirecta inciden en la salud o enfermedad de la población.
- Medio físico: Compleja totalidad de factores biogeoclimáticos que actúan sobre una comunidad ecológica o sobre un organismo y determinan finalmente su forma y supervivencia.
- Medio social: Conjunto de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, incluyendo los recursos y estructuras (legislación, hábitos y costumbres) que influyen en la vida humana individual y colectivamente.

Figura 2.1: Concepto ecológico de salud



Fuente: Elaboración propia

2.1.3.2. SALUD Y DESARROLLO ECONÓMICO-SOCIAL

La interrelación entre desarrollo económico y salud es un problema complejo, el cual permanece poco comprendido, aun cuando existe una apreciación general de que a un mayor nivel de desarrollo económico se elevarán los niveles de salud de la población. Asimismo, se asume que el crecimiento económico conllevará a una expansión y mejoría en los servicios de salud. Estas consideraciones se toman en cuenta al observar que, en general, las condiciones de salud de los países industrializados son mejores que las condiciones de salud de los países no industrializados. De esta manera, se considera que el crecimiento económico es un determinante básico para la elevación de las condiciones de salud de una población, de la mejor organización y prestación de los servicios de salud [36].

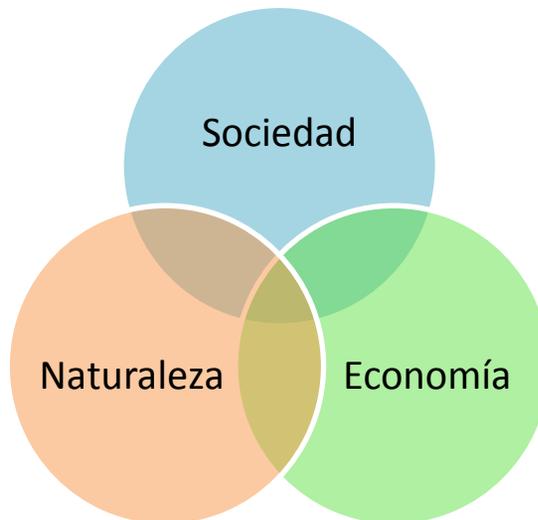
En los países no industrializados la carencia de recursos de inversión y la ausencia de tecnología endógena han limitado al crecimiento económico. La importación de tecnología condiciona a su vez los estilos del desarrollo económico. De igual modo, en los servicios de salud, el modelo imperante de atención curativa, a diferencia del modelo preventivo que se aplica en los países desarrollados, ha impuesto una barrera a la elevación de las condiciones de salud de la población por su énfasis en el uso intensivo de recursos costosos para las condiciones de un país no industrializado, como es el caso de los insumos importados o del empleo del profesional médico.

A pesar de los avances tecnológicos que la ciencia ha generado en el área de la salud para evitar los males de las epidemias como en el caso de la viruela, existe todavía una brecha entre el conocimiento científico y la disponibilidad de estos bienes a toda la población, la cual no ha permitido abatir problemas de salud pública básicos como las enfermedades transmisibles o infecciosas en los países no industrializados.

2.2. Sostenibilidad

Como podemos ver en la Figura 2.2, la sostenibilidad es una estrecha zona de equilibrio en la compleja relación entre el medio ambiente, la economía y la sociedad [37]. Resulta evidente que economía, sostenibilidad, cambio climático y bienestar son variables interdependientes [6].

Figura 2.2: Los tres pilares de la sostenibilidad. Diagrama de Venn.



Fuente: Elaboración propia

En el año 1798, Thomas Malthus, publicó su “Ensayo sobre el principio de la población”. En éste ensayo, pronosticó que la población aumentaría con más rapidez que el suministro de comida. Explicó que la población aumenta en progresión geométrica, mientras que el suministro de comida sólo puede aumentar en progresión aritmética. Predijo que cuando no hubiera suficiente comida para la población, se produciría una catástrofe, denominada posteriormente “Catástrofe Maltusiana”. Malthus teorizó que esta catástrofe sólo se podría evitar con contracepción, abortos y métodos similares.

Según Malthus, en época de bonanza la población crecía sin límites mientras que en épocas de crisis o retroceso la población se veía limitada por medidas morales, vicio y miseria [38]. Según McNeill y cómo podemos ver en la Tabla 2.1 la presión que ha ejercido el ser humano durante el siglo pasado sobre el planeta no ha sido proporcionada a su crecimiento demográfico [39].

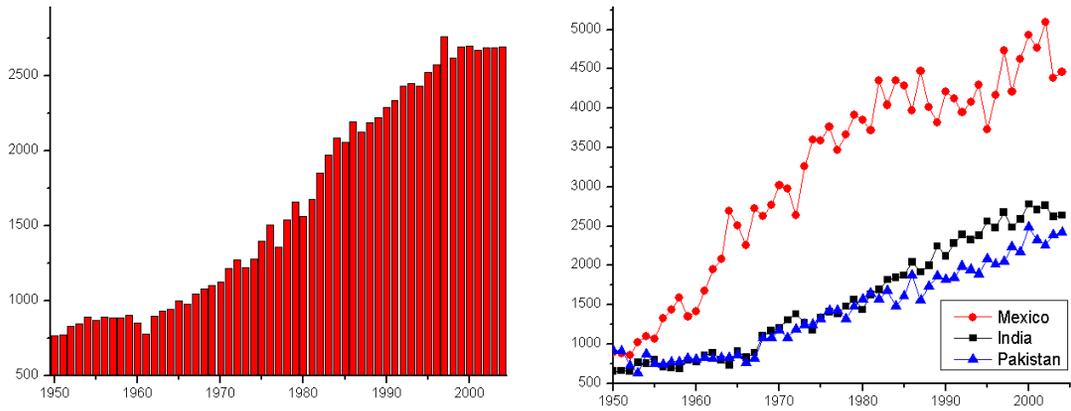
Tabla 2.1: Impacto de las actividades humanas en el planeta en el último siglo

1890 – 1990	Factor de aumento
Población mundial	4x
Población urbana mundial	13x
Economía mundial	14x
Producción industrial	40x
Consumo de energía	13x
Emisiones de CO₂	17x
Consumo de agua	9x
Pesca marina	15x
Especies de aves y mamíferos	0,99x
Población de ballenas azules	0,0025x

Fuente: McNeill

El aumento mundial de población ha sido, tal como pronosticó Malthus, geométrico. La catástrofe no ha ocurrido porque el suministro de comida ha aumentado de manera más o menos geométrica. Esto ha ocurrido porque nuevos avances en tecnología agrícola, en particular la revolución verde del fin de siglo XX, como podemos ver en la Gráfica 2.1, han aumentado la eficacia de las tierras que se usan para agricultura [40]. También, la contracepción y el aborto han aumentado, y el tamaño de los centros urbanos se ha ampliado desde la época de Malthus simplificando las tareas de distribución de alimentos.

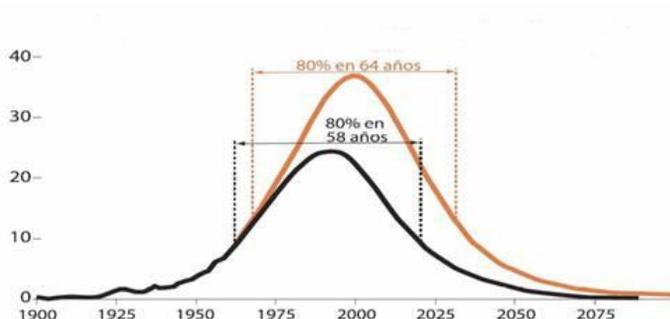
**Gráfica 2.1: Suministro de trigo en países desarrollados y en México, India y Pakistán.
Producción en (Kg/Ha)**



Fuente: FAO (Food and Agricultural Organization)

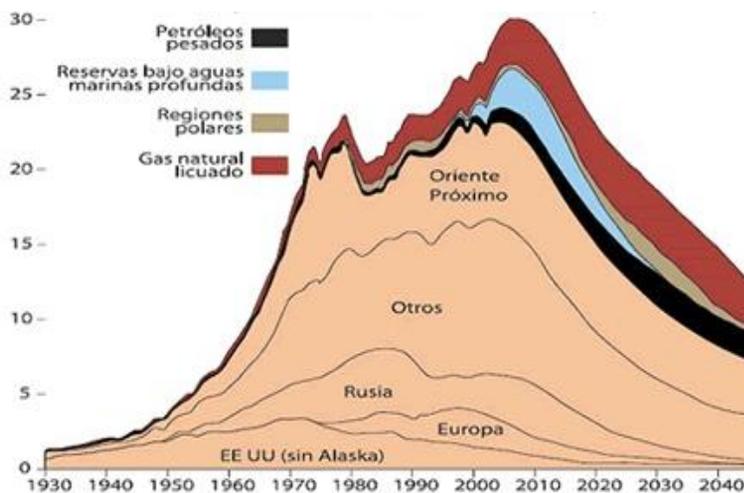
Sin embargo otros recursos como los combustibles fósiles, sobre los que está fundamentada nuestra sociedad, economía y calidad de vida [41], así como la calidad del aire y el agua, forman parte de la ecuación de la teórica catástrofe que adquirirá otros matices no propiamente alimentarios, como el pronosticado por el pico de Hubbert [42] que se muestra en Gráfica 2.2 y Gráfica 2.3 [45]. El momento de dicho pico, no está establecido con certeza ya que el pico se ha movido hasta nuestros días principalmente debido a las nuevas técnicas de extracción de petróleo y al descubrimiento de nuevos campos petrolíferos [43, 44, 45, 46], aunque existe certeza absoluta de que en algún momento se producirá ya que es un tipo de combustible no renovable. En el momento que esto se produzca se producirá escasez y el precio aumentará. La Gráfica 2.4 muestra la evolución de los precios del petróleo [47].

Gráfica 2.2: Pico de Hubbert, consumo de combustibles fósiles



Fuente: ASPO¹¹

Gráfica 2.3: Pico de Hubbert. Desglose por yacimientos de países productores de petróleo



Fuente: ASPO

¹¹ ASPO Asociación Internacional fundada en 2000 para el estudio del pico del petróleo y gas, por sus siglas en inglés Association for the Study of Peak Oil and gas

Gráfica 2.4: Evolución del precio de los barriles del petróleo



Fuente: IDAE

Precisamente el Club de Roma se hallaba preocupado por estos matices maltusianos no alimentarios y su repercusión en el medio ambiente. En 1970 decidieron encargar a un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology bajo la dirección del profesor Dennis L. Meadows, la realización de un estudio sobre las tendencias y los problemas económicos que amenazan a la sociedad global [25], cuyas conclusiones supusieron una revolución ecológica tal y como hemos visto en el apartado 2.1.1.

En el estudio se utilizaron las técnicas de análisis de dinámica de sistemas más avanzadas del momento. En primer lugar se recopilaron datos sobre la evolución que habían tenido en los primeros setenta años del siglo XX un conjunto de variables: la población, la producción industrial y agrícola, la contaminación, las reservas conocidas de algunos minerales, etc. Diseñaron fórmulas que relacionaban esas variables entre sí y comprobaron que esas ecuaciones sirven para describir con fidelidad las relaciones entre los datos conocidos que habían recopilado. Finalmente introdujeron el sistema completo en un ordenador y le pidieron que calculase los valores futuros de esas variables. Concluyeron que si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la

población mundial de industrialización, destrucción ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, el planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable será un súbito e incontrolable descenso de la población así como de la capacidad industrial [25].

La Doctora Donella H. Meadows junto con su marido Dennis L. Meadows, durante el transcurso de los siguientes años, fundaron el INRIC¹², con el objetivo de compartir información entre cientos de académicos, investigadores y activistas del movimiento de desarrollo sostenible. Donella fundó también el Instituto de Sostenibilidad, que combina la investigación en sistemas globales con demostraciones prácticas de vida sostenible, incluyendo el desarrollo de granjas orgánicas y ecovillas [48].

Durante los años posteriores, el Club de Roma, que había encargado las investigaciones del grupo de los Meadows continuó su trabajo de alto nivel a escala mundial [49], contribuyendo de manera significativa al desarrollo del concepto de sostenibilidad, que ha desempeñado un papel crucial al poner de relieve la interdependencia del medio ambiente y la economía.

Como hemos visto en 2.1.1, tras la aparición de Informe sobre Nuestro futuro común coordinado por Gro Harlem Brundtland en el marco de las Naciones Unidas [30], se fue poniendo de moda el objetivo del desarrollo sostenible entendiendo por tal aquel que permite satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

En 1992 se celebró bajo el marco de las Naciones Unidas la Conferencia de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también conocida como Cumbre de la Tierra. Como consecuencia de esta conferencia se llegó a tres grandes acuerdos: la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la Agenda 21, la

¹² International Network of Resource Information Centres, 1981.

Declaración de Principios para la Ordenación Sostenible de los Bosques, la UNFCCC¹³ y la Convención de Diversidad Biológica de las Naciones Unidas.

En la declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo se recogen 27 principios orientados a sentar las bases del desarrollo sostenible y a definir los derechos y obligaciones de las naciones en la búsqueda del progreso y el bienestar de la humanidad. La Agenda 21 [4] incluye numerosas recomendaciones para luchar contra los problemas medio ambientales y un programa de acción para el desarrollo sostenible, con la finalidad de establecer una política ambiental a nivel internacional. Entre ellas, en el Capítulo 4, Apartado 5 de dicho documento, se dice: *“Debe prestarse particular atención a la demanda de recursos naturales generada por el consumo insostenible, así como al uso eficiente de esos recursos, de manera coherente con el objetivo de reducir al mínimo el agotamiento de esos recursos y reducir la contaminación”*.

La energía, en el ámbito de la Cumbre de Río se discutió a lo largo Programa 21. La Agenda 21 destaca el hecho de que los niveles actuales de consumo y producción de energía no son sostenibles, especialmente si la demanda sigue aumentando, y subraya la importancia de utilizar los recursos energéticos de una manera que sea consistente con los objetivos de proteger la salud humana, el ambiente, y al medio ambiente natural.

En el capítulo 4, apartado 18 del Programa 21 podemos leer entre los objetivos principales:

“Fomento de una mayor eficiencia en el uso de la energía y de los recursos:

La reducción de la cantidad de energía y materiales que se utilizan por unidad en la producción de bienes y servicios puede contribuir a la vez a aliviar la tensión ambiental y a aumentar la productividad y competitividad económica e industrial. Por lo tanto, los gobiernos, en cooperación con el sector industrial, deberían intensificar los esfuerzos por utilizar la energía y los recursos en forma económicamente eficaz y ecológicamente racional mediante:

¹³ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En inglés United Nations Framework Convention on Climate Change.

- (a) El fomento de la difusión de las tecnologías ecológicamente racionales ya existentes;
- (b) La promoción de la investigación y el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales;
- (c) La asistencia a los países en desarrollo para que usen con eficacia esas tecnologías y desarrollen las tecnologías que mejor se adapten a sus circunstancias concretas;
- (d) El fomento del uso ecológicamente racional de las fuentes de energías nuevas y renovables;
- (e) El fomento del uso ecológicamente racional y sostenible de los recursos naturales renovables.”

Tras la Conferencia de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, se organizó la Comisión sobre Desarrollo Sostenible en 1993, con continuidad hasta nuestros días, con el objeto de dar apoyo y orientación a los Gobiernos y otros grupos y organismos en relación con las medidas a aplicar para cumplir los acuerdos adoptados y realizar una labor de seguimiento.

Desde entonces, el desarrollo sostenible es una exigencia indiscutible y algo más que un concepto atractivo. Se precisa la acción teniendo en cuenta que el gran potencial de aprovechamiento del medioambiente para el desarrollo solo será una realidad cuando la política ambiental se desarrolle con rigor y se incorpore en las políticas económicas, en las decisiones de los poderes públicos, en la elaboración de los procesos productivos y en el comportamiento y opciones del ciudadano común, “haciendo más con menos”; es decir, haciendo un uso racional de todos los recursos.

La comunidad y cada uno de los ciudadanos deben asumir sus propias responsabilidades e iniciar una acción colectiva basada en el reparto de la responsabilidad entre los diversos niveles de actuación. El equilibrio entre actividad humana y desarrollo por una parte y la protección del medio ambiente por otra exige un reparto de responsabilidades en relación con los consumos y la actitud frente al medio ambiente y los recursos naturales.

Como hemos visto en el apartado 2.1.2, una de las preocupaciones más acuciantes respecto de la sostenibilidad de nuestro desarrollo ha sido durante los

últimos años del siglo XX el llamado “Cambio Climático” por las profundas implicaciones que tiene sobre la humanidad (imprevisibilidad, sequías, tornados, cambios de temperatura, subida del nivel del mar, hambre, pobreza). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático¹⁴, se estableció en el año 1988 por la Organización Meteorológica Mundial¹⁵ y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas¹⁶. Los trabajos del IPCC, en especial sus dos primeros informes del año 1990 y 1995 fueron puestos a disposición de los países participantes en Kioto.

En referencia a ese tema, el Protocolo de Kioto [29], promovido por la ONU y que forma parte de la UNFCCC, ha sentado bases concretas y un compromiso internacional para frenar dicho Cambio Climático que ha firmado y ratificado la gran mayoría de países del mundo, excepto EEUU como se puede ver en la Figura 2.3 [50].

Figura 2.3: Países Firmantes del Protocolo de Kioto



Fuente: UNFCCC

¹⁴ IPCC por sus siglas en inglés. Actualmente constituido por más de 2500 científicos

¹⁵ WMO por sus siglas en inglés.

¹⁶ UNEP por sus siglas en inglés.

Kioto ha regulado específicamente el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por 55 países. Mediante este Protocolo, las partes se comprometieron a reducir sus emisiones de efecto invernadero, al menos un 5%, en el periodo 2008-2012, respecto a los niveles de 1990. El artículo 2, apartado 1.a) del protocolo de Kioto [29], indica entre otras medidas para promover el desarrollo sostenible, “fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional”

En 1997, la Comisión de Desarrollo Sostenible se reunió en Nueva York con objeto de analizar el grado de cumplimiento de los acuerdos de Río, llegándose a la conclusión de que la situación en aquellos momentos era muy parecida a la de cinco años atrás. Sin embargo, este dato no debe de producir desánimo, puesto que el espíritu de Río, ha impregnado las acciones de los gobiernos colocando en su agenda la adopción de medidas orientadas a conseguir un desarrollo sostenible global. También ha impregnado la sociedad con la creación de ONGs alrededor de todo el mundo. Gobiernos y ONGs se han centrado entre otros temas en planes y programas para impulsar las energías renovables, en estrategias de eficiencia energética y en estrategias de lucha frente al cambio climático [51].

Las implicaciones de la contaminación y el cambio climático son dramáticas (extinción de especies, destrucción de ecosistemas, agotamiento de la biosfera, destrucción de bosque lluvioso, destrucción de selvas tropicales, desaparición y muerte de endemismos, aumento de los vectores de enfermedades infecciosas, sequía). Sus causas, como el impacto del desarrollo humano e incluso la propia evidencia del aumento de la temperatura, no han estado bien definidas ni han sido aceptadas a lo largo de los años por los gobiernos mientras que ya existía una fuerte evidencia científica.

“El ser humano se ha convertido en una fuerza de la naturaleza” [6] es ahora una verdad irrefutable pero no siempre ha sido así: En 1990, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático – IPCC – concluyó: “El balance de la evidencia sugiere que hay una discernible influencia humana en el cambio climático”. En 1995, el IPCC concluyó: “Hay nuevas y mayores evidencias de que la mayoría del calentamiento observado en los últimos 50 años es atribuible a la actividad humana”. En 2001, el IPCC concluyó: “la mayoría del incremento observado en la temperatura media global desde mediados del siglo XX es muy

probablemente (90%) debido al incremento observado de la concentración de gases de efecto invernadero antropogénicos”. Finalmente, en 2007, el IPCC estableció: *“el calentamiento del clima es inequívoco como evidencian las observaciones del incremento de la temperatura media del aire y del mar, amplia fusión de los glaciares y hielo y la elevación global del nivel del mar”*.¹⁷.

En 2009, en la reunión del G8 + G5 de L’Aquila, en marco de un foro internacional económico, los países participantes acordaron como indicador que el máximo Cambio Climático admisible para 2050 sería de un aumento de 2°C sobre los valores medios anteriores y establecieron tomar ulteriores medidas si las predicciones previas a 2050 indicaban un aumento superior a la temperatura fijada. También en 2009 y con gran presión por conseguir un acuerdo audaz, la cumbre de Copenhague dejó a un gran número de países con un amargo sabor de boca por no ser capaces de crear un nuevo marco que revalidara el Protocolo de Kioto, el cual expirará en 2012.

2.3. Eficiencia Energética

Desde los inicios de la Revolución industrial en el siglo XVIII se ha debatido mucho acerca del ahorro de la energía. Pensadores enunciaron: aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo, pero incrementa el uso del modelo lo que provoca un incremento del consumo global [52]. Esto se conoce como paradoja de Jevons y se sigue produciendo en nuestros días [53].

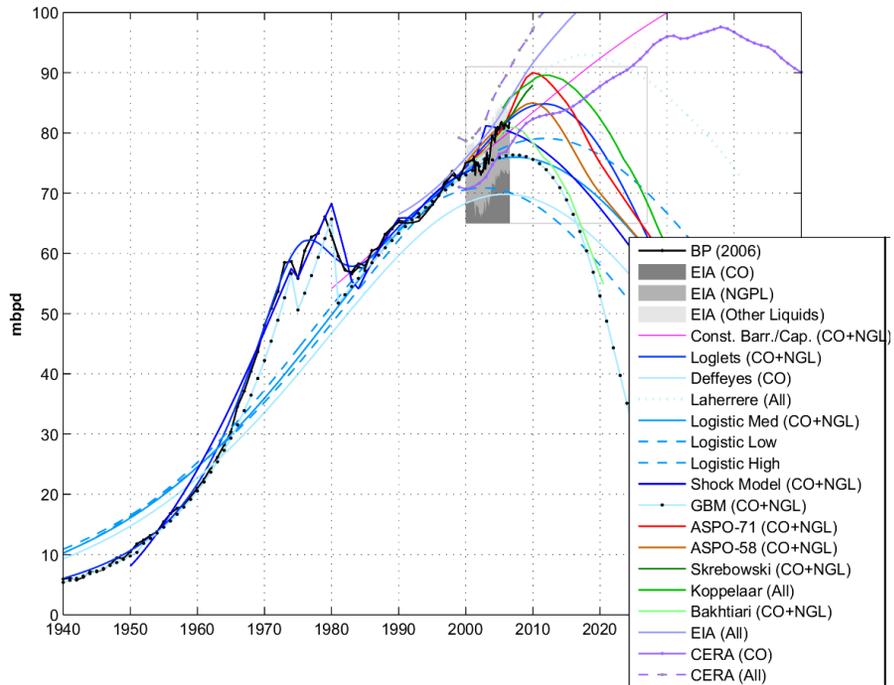
A partir de la Revolución Industrial, la eficiencia energética no ha resuelto una disminución de la presión sobre el medio ambiente, o de la pobreza en el mundo, como cabría esperar en buena lógica, sino que los esfuerzos gubernamentales han estado orientados a la resolución de los problemas de la

¹⁷ El IPCC y Al Gore compartieron el Premio Nobel de la Paz en 2007 por estos trabajos relacionados con el Cambio Climático

presión demográfica interna o a subir el nivel de riqueza nacional en función del tipo de país del que hablemos.

La eficiencia energética ha recibido históricamente poca atención excepto en momentos de crisis o sustos energéticos, ya que por un lado todavía no ha existido una verdadera crisis energética que nos obligue a replantear nuestros niveles de gasto y por otro lado la energía sigue siendo un recurso demasiado barato económicamente en relación con su auténtico valor. Produce un fuerte desasosiego conocer que un litro de petróleo en una cosechadora puede realizar el trabajo equivalente de cien brazos humanos durante el transcurso de una hora [54]. Pensar que podemos dejar de disfrutar de una ventaja así para la generación de recursos y bienes, debería de ser motivo de profunda reflexión y acciones concretas.

Durante los últimos cincuenta años el consumo mundial de energía se ha visto incrementado de manera desproporcionada con respecto al aumento de la población como consecuencia fundamentalmente del desarrollo económico y de la falta de sensibilización social en los países más desarrollados, donde cada vez es mayor la energía consumida por habitante [53], tal y como predecía Jevons dos siglos atrás, tal y como podemos observar en la Gráfica 2.5. Una mayor cantidad de energía disponible está relacionada con un mayor bienestar pero no mediante una relación lineal [55].

Gráfica 2.5: Distintos escenarios de evolución del pico del petróleo

Fuente: ASPO

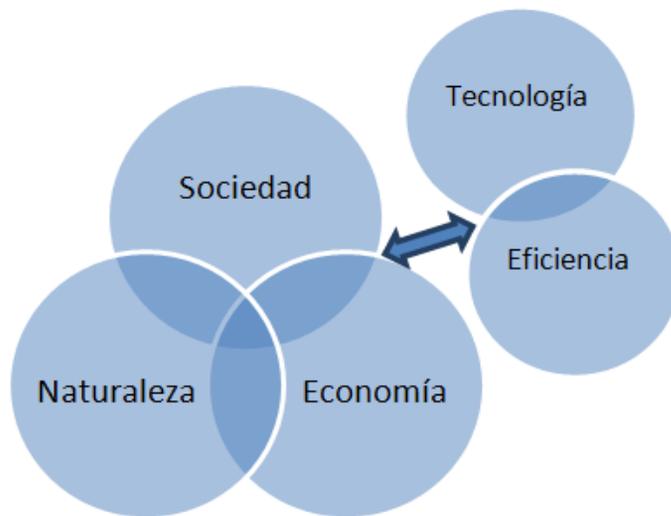
Jevons puede parecer anticuado dado que sus estudios se referían al consumo de carbón de las máquinas de vapor de Thomas Newcomen y su sucesora, la de James Watt. Sin embargo, hay ejemplos más recientes y relacionados directamente con el modelo mundial actual. En 1980, Daniel Khazzom [56] y Leonard Brookes [57, 58], demostraron que nuevos métodos de eficiencia energética conllevan un aumento en el consumo de energía. En 1992 [59], Harry Saunders unió esta hipótesis en el Postulado Khazzom-Brookes y demostró que era cierto bajo la teoría del sistema de crecimiento neo-clásico bajo un amplio abanico de supuestos. Lo que Khazzom, Brookes y Saunders demuestran, no es ni más ni menos que, si pretendemos que la eficiencia energética apareje un cambio mundial hacia la sostenibilidad, se requiere cambiar el orden mundial.

El panorama actual queda dibujado en el informe mundial de la energía, “La Energía y el Reto de la Sostenibilidad”, publicado en el año 2000 por Naciones Unidas. Este informe pone de manifiesto que la cantidad de energía primaria se

podría reducir de forma rentable en un 25-35% en los países industrializados durante los próximos 20 años, principalmente a partir de la mejora de eficiencia en la conversión de energía útil en los servicios energéticos dentro de los sectores industrial, transporte, público y comercial.

La Figura 2.4 muestra como la eficiencia energética y el progreso tecnológico son factores horizontales clave que pueden influir en los límites y redefinición del comportamiento del resto de las dimensiones [46].

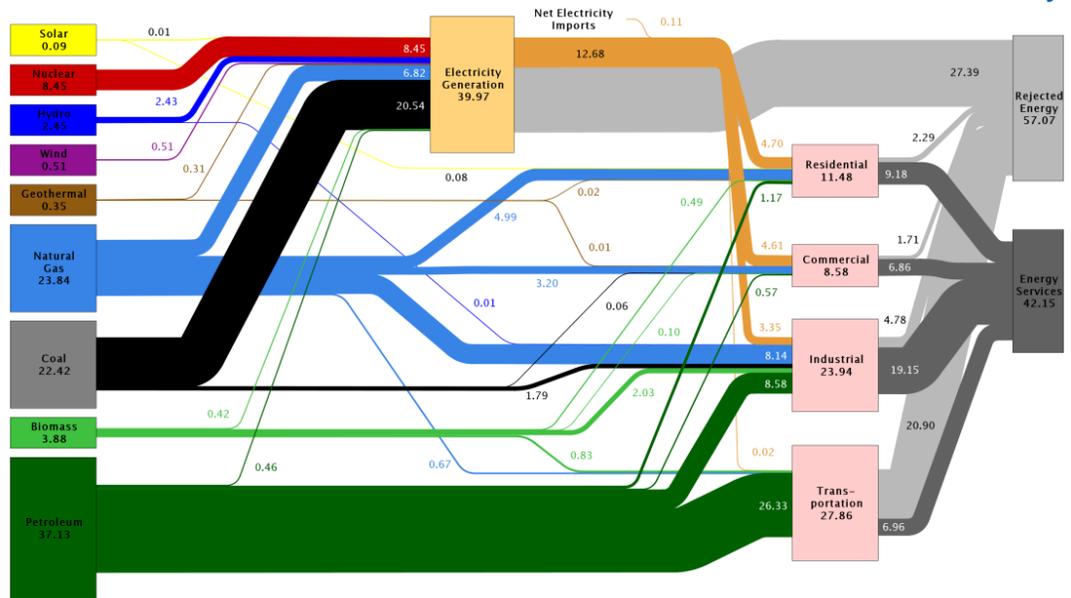
Figura 2.4: Diagrama de Sostenibilidad, con eficiencia y tecnología



Fuente: Elaboración propia

Resulta destacable en hecho de que, en lo que se refiere a la conversión de energía primaria en energía útil, dos tercios de la energía producida se pierden en forma de calor, desaprovechándose sin producir ninguna utilidad tal y como podemos observar en el diagrama de Sankey de la Gráfica 2.6 [60].

Gráfica 2.6 : Estimación de la Energía en los EEUU



Fuente: LLNL ¹⁸

Remontándonos a los primeros intentos de abordar el problema, en los últimos 50 años, fue en 1973, tras la crisis del Petróleo cuando tras varios años de investigación A. Lovins [61], acuñó el término “soft path” o “camino suave”. El “camino suave” consiste en un conjunto de técnicas, políticas y tecnologías donde la eficiencia y fuentes de energía renovable adecuadas poco a poco reemplazarían un sistema energético basado en la centralización y en los combustibles fósiles y las nucleares.

Las tecnologías “suaves” tienen cinco características definitorias:

- Se basan en recursos energéticos renovables.
- Están diversificadas y diseñadas para la máxima eficiencia en circunstancias particulares.

¹⁸ LLNL Lawrence Livermore National Laboratory desde 1952 aplica la ciencia de vanguardia y la tecnología para mejorar la energía y la seguridad ambiental.

- Son flexibles y relativamente simples de comprender.
- Están ajustadas a las necesidades finales en términos de escala.
- Están ajustadas a las necesidades finales en términos de calidad.

El “camino suave” y el “camino duro” en 1976 no eran tema de obligatoria elección [61] puesto que la generación de energía no renovable podía acomodarse a las necesidades existentes, aumentar e incluso despilfarrarse. Sin embargo, los buenos tiempos de la energía renovable tocan a su fin hacia 2008-2012, cuando alrededor de estos años, se vivirá con la máxima capacidad de extracción de petróleo en barriles por día que jamás verá la humanidad. Como hemos visto anteriormente, la Catástrofe Maltusiana podría estar a punto de suceder y el “camino duro” produciría cambios en el clima tan fuertes que todavía no sabemos si la vida en nuestro planeta podría soportarlos [37]. Evidentemente, nuestra independencia, vida individualista, confort y bienestar disminuirían notablemente según los estándares de la sociedad consumista.

También justo antes de la crisis del petróleo de Texas de 1973, Nicholas Georgescu-Roegen, publicó “La Ley de la Entropía y el Proceso Económico” [62] en la cual se establecía la visión de que la segunda ley de la termodinámica gobierna los procesos económicos. Su obra funda la Termoeconomía y contribuyó notablemente a la Economía Ecológica. En “La Ley de la Entropía y el Proceso Económico”, postula que la actividad económica humana se puede describir como un sistema disipativo, el cual florece transformando e intercambiando recursos, bienes y servicios. Estos procesos involucran complejas redes de flujos de energía y materiales.

Respecto de la eficiencia energética, los trabajos de Georgescu-Roegen son interesantes al crear un sistema de comparación de tipos de energía en función de su calidad para ser transformado mediante el que crea los conceptos “Emergía” y “Exergía”. Sus trabajos, también proporcionan un método para medir qué procesos son más rentables económicamente y más eficientes al ser energéticamente más transformables. Los análisis de Exergía se utilizan en el campo de la Ecología Industrial para utilizar la energía más eficientemente y causar un menor impacto a la biosfera.

Paralelamente a los estudios de los Lovins y de Georgescu-Roegen y tras la crisis del petróleo de 1973, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) creó la Agencia Internacional de la Energía (AIE) con objeto de coordinar las políticas energéticas de sus estados miembros y con la finalidad de asegurar energía confiable, adquirible y limpia a sus respectivos habitantes. Su objetivo inicial era asegurar el abastecimiento de petróleo, particularmente en situaciones de emergencia, con el fin de sostener el crecimiento económico de sus estados miembros. Hoy día se preocupa de los aspectos más relevantes de las políticas energéticas: seguridad energética, eficiencia energética, desarrollo económico y protección del medio ambiente.

En el Protocolo de la Carta de la Energía sobre la eficiencia energética y los aspectos medioambientales relacionados, se persiguieron como objetivo del tratado tres ejes: Eficiencia Energética, Economía y Ecología [63]. Hoy en día, la AIE [64], ha marcado 25 recomendaciones repartidas en siete sectores que incluyen:

- Sectores mixtos.
- Edificios.
- Equipos.
- Iluminación.
- Transporte.
- Industria.
- Generación energética.

La AIE estimula una política denominada WIN¹⁹.

Por tanto, la eficiencia energética a nivel transnacional y mundial desde el punto de vista de la demanda se presenta como un reto que requiere acciones inmediatas y una mejora sustancial siendo, en el pasado y en actualidad, un ámbito con un gran potencial de mejora en este aspecto [65, 66].

¹⁹ Worldwide Implementation Now, que es también un juego de palabras en inglés y que significa “ganar”.

Para ello, no sólo es necesario actuar sobre la tecnología de uso final de la energía sino que es necesario también influir sobre los hábitos de consumo y el derroche energético que, en general, hacemos todos los consumidores.

2.4. Políticas aplicables

Como hemos podido verificar en los apartados anteriores, existe un problema entre desarrollo, crecimiento humano, medio ambiente, economía y políticas aplicables que provoca que al punto actual no exista un planteamiento sostenible para el futuro de nuestra sociedad si se mantienen los estándares y niveles de consumo actuales. Existen distintas propuestas de solución aunque todas están en discusión. A continuación veremos las principales:

2.4.1 Desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible ha atraído debate y análisis desde prácticamente todos los puntos de vista académicos y ha trascendido los impenetrables límites disciplinarios de las Ciencias Sociales y de las Naturales. Algunos autores se han esforzado por encontrar una única definición de desarrollo sostenible que englobara todos los propósitos, mientras que otros se cuestionan si el concepto, debido a su ambivalencia y ambigüedad, tiene alguna relevancia teórica o práctica para las cuestiones de medio ambiente y desarrollo [67]. Por tanto, no sorprende que el desarrollo sostenible sea un tema de intenso debate tanto en la forma de paradigma global de desarrollo como en sus formas específicas, tales como las relacionadas con la actividad humana.

La Agenda 21 es considerada por algunos autores como "la Biblia del desarrollo sostenible" y, de alguna manera, ha salvado el abismo entre la ideología verde y una política viable de política ambiental [68]. La idea final de la Agenda 21 es que sus principios básicos sean desarrollados a través de la

elaboración de agendas sectoriales, es decir, se trata de elaborar una Agenda 21 para cada uno de los temas tratados en los capítulos de la Agenda 21 global. Además de las agendas sectoriales se propone la utilidad de aplicar los postulados de la sostenibilidad, "pensar globalmente y actuar localmente", mediante la puesta en marcha de Agendas locales.

Siguiendo con otras definiciones de desarrollo sostenible, para Crosby [69] el desarrollo sostenible implica permanencia, lo cual conlleva, en términos generales, una acción integrada hacia el aprovechamiento óptimo de los recursos, la implicación de la población local y la preservación y mejora del entorno.

En términos parecidos al informe "Nuestro Futuro Común", lo contempla la organización ALIDES²⁰ al definirlo como un proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, colocándolo como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico, con equidad social y con la transformación de los métodos de producción y patrones de consumo, sustentándose en el equilibrio ecológico y en el soporte vital de la región [70].

En resumen, y a pesar de las diferentes interpretaciones de desarrollo sostenible que con el tiempo se han convertido en la fusión de diferentes informes aceptados y que han respondido a la necesidad de una equidad global desde un punto de vista económico, social y político, podemos señalar que aún no se ha encontrado una solución satisfactoria a la paradoja fundamental del desarrollo sostenible, esto es como continuar con el crecimiento y desarrollo económico mundial sin la degradación o destrucción de los recursos naturales del planeta de los que depende ese desarrollo y crecimiento.

²⁰ ALianza para el DEsarrollo Sostenible.

2.4.2 Decrecimiento

Según se desarrolla en 2.1, 2.2 y 2.3, los cimientos del decrecimiento se construyen a partir de la teoría enunciada por Nicholas Georgescu-Roegen [62] sobre la bioeconomía en su obra *The Entropy law and the Economic Process*, así como las críticas a la industrialización en los años 1950, 60 y 70; o del Club de Roma, principalmente a través del Informe Meadows [25]. Georgescu-Roegen estima que el modelo económico no tiene en cuenta el principio de degradación de la energía y la materia.

Los decrecentistas suelen ver sus aspiraciones como un camino a seguir más que una meta a cumplir, es decir, suelen fijar un decrecimiento de los ritmos de consumo energético y material hasta un nivel que se acople a la velocidad natural de gestión de residuos y producción de recursos para posteriormente continuar con una etapa acrecentista que permita que las personas cubran sus necesidades básicas.

Así pues, los decrecentistas redefinen el significado del término sostenibilidad y calidad de vida:

- Calidad de vida no es aquello que está ligado al aumento de consumo de recursos.
- La sostenibilidad no es sólo cuestión de ecoeficiencia sino de suficiencia humana (simplicidad voluntaria y frugalidad).
- Únicamente la calidad de vida se asocia a la satisfacción de las necesidades humanas básicas: subsistencia, protección, afecto, entendimiento, identidad, libertad, ocio, participación y creación.

En contraposición al abuso que hace el modelo capitalista del prefijo “hiper”, que denota sobre, exceso o exageración de la verdad, como “hiperactividad”, “hiperdesarrollo”, “hiperproducción”, “hiperabundancia”, etc.; Serge Latouche [71] propone un sistema de soluciones bajo el prefijo “re”, que denota repetición o retroceso, a los que ha nombrado como los pilares del decrecimiento o el modelo de las “8 R”:

- Revaluar. Se trata de sustituir los valores globales, individualistas y consumistas por valores locales, de cooperación y humanistas.
- Reconceptualizar. Encaminado sobre todo a la nueva visión que se propone del estilo de vida, calidad de vida, suficiencia y simplicidad voluntaria ya mencionadas.
- Reestructurar: Adaptar el aparato de producción y las relaciones sociales en función de la nueva escala de valores, como por ejemplo, combinar ecoeficiencia y simplicidad voluntaria.
- Relocalizar: Es un llamamiento a la autosuficiencia local con fines de satisfacer las necesidades prioritarias disminuyendo el consumo en transporte.
- Redistribuir: Con respecto al reparto de la riqueza, sobre todo en las relaciones entre el norte y el sur.
- Reducir: Con respecto al cambio del estilo de vida consumista al estilo de vida sencilla y todas las implicaciones que esto conlleva.
- Reutilizar y reciclar: Se trata de alargar el tiempo de vida de los productos para evitar el consumo y el despilfarro.

2.4.2.1. DECRECIMIENTO SOSTENIBLE

El decrecimiento sostenible puede definirse como la disminución equitativa de la producción y el consumo que incrementa el bienestar humano y mejora las condiciones ecológicas al local y al nivel global, a corto y a largo plazo [72].

También, por contraposición, el decrecimiento sostenible, es aquel opuesto al decrecimiento insostenible o caótico donde las condiciones ecológicas se ven mejoradas a expensas del detrimento de las condiciones sociales tras crisis sociales. En lo que respecta al decrecimiento controlado si es intentado de arriba a abajo existe el riesgo de engendrar un régimen ecototalitario.

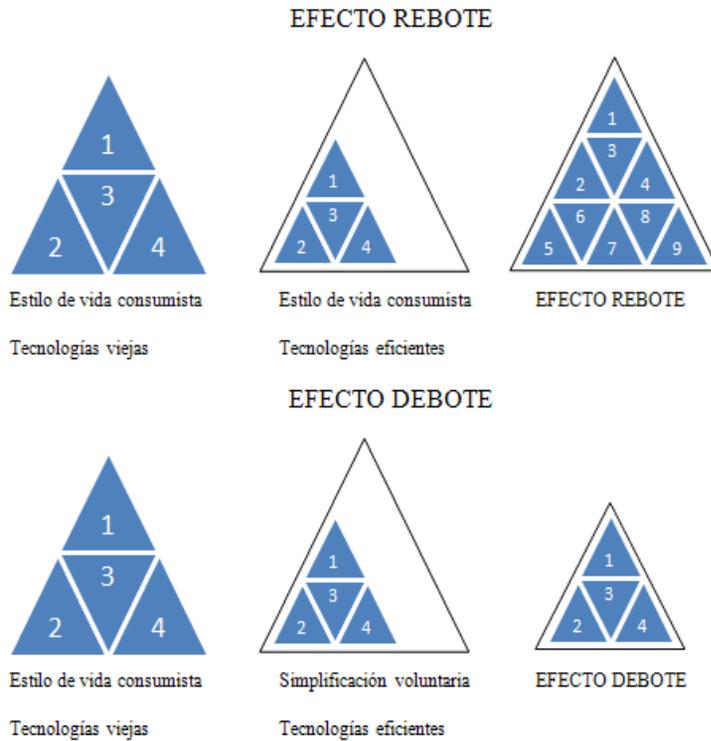
El decrecimiento sostenible es aquel donde se hace un llamamiento a la responsabilidad de los individuos, es decir, el cambio debería de conducirse de abajo a arriba de forma que se evitase una crisis social que pusiera en cuestión la democracia y el humanismo. Cada individuo ha de entender el nuevo significado del estilo y calidad de vida post decrecentista.

Un ejemplo de decrecimiento caótico o insostenible es el que ha tenido lugar en Rusia desde 1990, como consecuencia de la desindustrialización no buscada o deseada. Ejemplo de intentos de control de arriba a abajo podrían considerarse aquellos regímenes totalitarios en Europa que se establecieron después de la gran depresión.

Distintos autores [72, 73], están de acuerdo en que el crecimiento económico como paradigma es insostenible y creen que la única salida a la crisis medioambiental sin destruir la sociedad es el decrecimiento sostenible.

Además, se argumenta que la reducción drástica del consumo provocaría malestar social, desocupación, y en última instancia el fracaso de las políticas económico-ecológicas alternativas. Se propugna, en consecuencia, desplazar los acentos hacia lo que llama “bienes relacionales” y una economía solidaria. Se entiende, pues, que el decrecimiento material tendría que ser un crecimiento relacional, convivencial y espiritual.

Figura 2.5 : Efecto Rebote y Debote de Schneider



Fuente: Elaboración propia a partir de Schneider

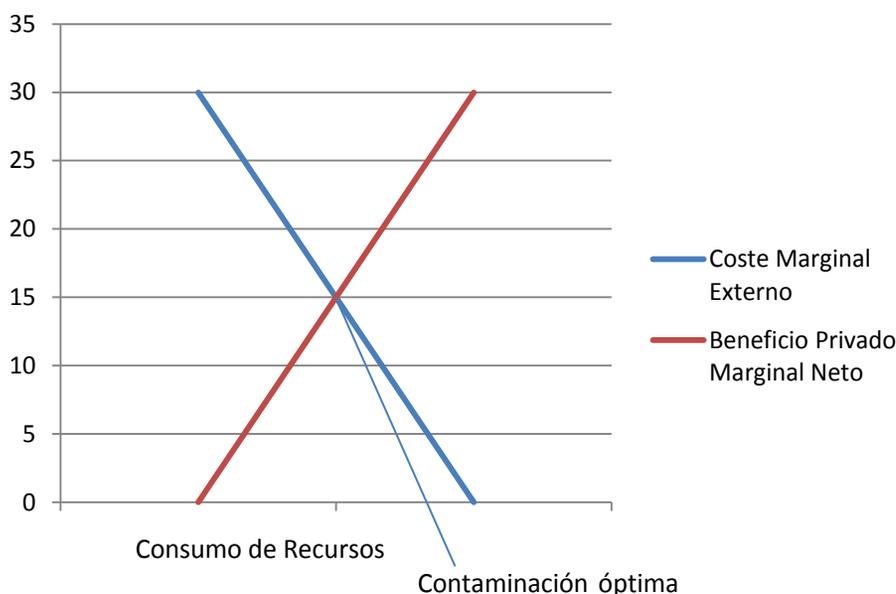
Schneider, como vemos en la Figura 2.5 [74], al igual que Clémentin, Cheynet y Gorz [73] suponen que un cambio correcto iría en el sentido de adoptar otra economía, otro estilo de vida, otra civilización y otras relaciones sociales, pero sin estas premisas, sólo se podrá evitar el colapso a través de restricciones, racionamientos y repartos autoritarios de recursos característicos de una economía de guerra.

Unander nos ilustra el típico caso de mejora en la eficiencia sin mejora en el consumo total o efecto rebote [53]. Gorz ve con interrogantes como se pudiese dar la salida al capitalismo y el ritmo en que esto pudiese suceder. Argumenta que ante la situación de extralimitación las posibilidades se restringen a dos: salir de forma civilizada o de forma bárbara.

2.4.3 Economía ecológica

La economía ecológica pretende la gestión de la sostenibilidad desde una perspectiva económica siendo un campo de estudio transdisciplinar. Pretende realizar una fusión de conocimientos que permita afrontar mejor los problemas referentes a sostenibilidad ya que el enfoque económico usual no se considera adecuado. Según este punto de vista, acciones que favorezcan una mayor eficiencia energética, mejorarán o invertirán los efectos del cambio climático [51, 75], siempre y cuando se cumplan una serie de condiciones que se han expuesto en el apartado 2.4.2.

Gráfica 2.7: Contaminación óptima según la economía ambiental.

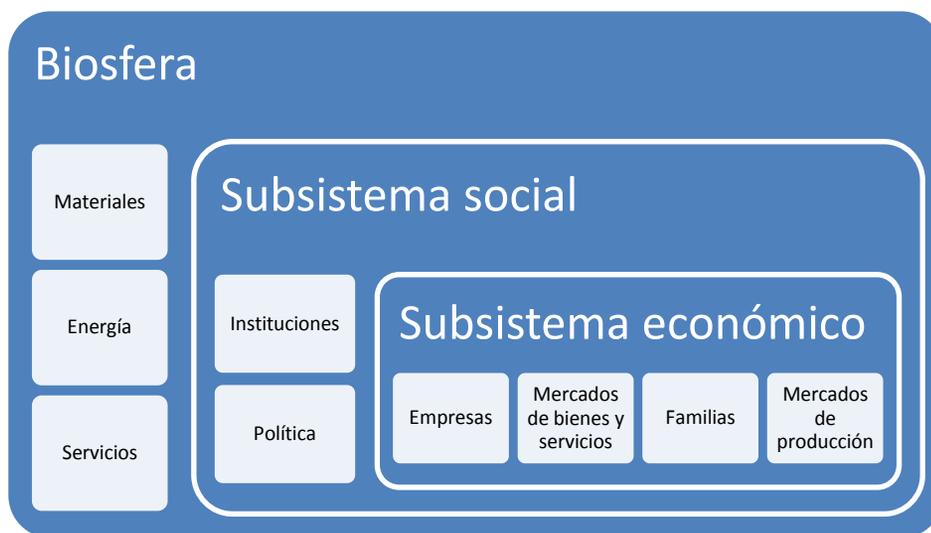


Fuente: Elaboración Propia a partir de Brookes

Según Brookes, el problema básico que estudia la economía ecológica es la sostenibilidad de las interacciones entre el subsistema económico y el macro sistema-naturaleza [76]. Dicha sostenibilidad entendida como la capacidad de la humanidad para vivir dentro de los límites ambientales es enfocada como

metabolismo social. La sociedad toma materia, energía e información de la naturaleza y le expulsa residuos, energía disipada e información aumentando la entropía. No es posible encontrar la sostenibilidad por la concepción del mercado de la economía convencional.

Figura 2.6 : Relación entre la biosfera, el hombre y la economía según la economía ecológica



Fuente: Elaboración propia.

La economía ecológica, pues, estudia las relaciones entre el sistema natural y los subsistemas social y económico, incluyendo los conflictos entre el crecimiento económico y los límites físicos y biológicos de los ecosistemas debido a que la carga ambiental de la economía aumenta con el consumo y el crecimiento demográfico. Los economistas ecológicos adoptan posturas muy críticas con respecto al crecimiento económico, los métodos e instrumentos de la economía tradicional y los desarrollos teóricos que proceden de ésta como la economía ambiental y la economía de recursos naturales.

El interés en la naturaleza, la justicia y el tiempo son características definitorias de la economía ecológica. Estos aspectos son dejados de lado por la economía convencional.

2.4.4 Economía sostenible: Internalización de costes medioambientales

Para la protección del medioambiente y la salud, en los entornos liberalizados se suelen introducir mecanismos de tipo indirecto, con el fin de evitar en lo posible restricciones directas en el mercado. Por medio de estos mecanismos, se procura la internalización de los costes ambientales hasta el nivel que la sociedad demanda, sin interferir directamente en el funcionamiento de los mercados energéticos. En otras ocasiones, la sociedad no admite determinados impactos, y el poder político prohíbe directamente el desarrollo de la actividad o la fabricación del producto, imponiendo determinadas calidades mínimas a los combustibles, como ocurre por ejemplo en el caso de la tradicional gasolina súper con plomo, cuya comercialización quedó prohibida en los países de la UE a partir del año 2002.

Los instrumentos más importantes de internalización de los costes ambientales que se emplean cada vez con mayor asiduidad en los sectores energéticos liberalizados son los siguientes [77]:

- Instrumentos de tipo fiscal, como los tributos, impuestos y tasas ambientales, asociados a la actividad de transformación potencialmente contaminante, a las emisiones de contaminantes o al uso o consumo de energía [78]. Estos instrumentos se complementan con deducciones, desgravaciones y subvenciones a las actividades menos contaminantes. En nuestro país, aparte del impuesto sobre el valor añadido, los productos petrolíferos y la electricidad soportan unos impuestos especiales, que incrementan de forma apreciable su precio, aunque no puedan ser considerados imposiciones ambientales propiamente dichas. En el ámbito de la UE, los Estados miembros deberán armonizar su regulación en este sentido acorde con la Directiva 2003/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.

- Instrumentos de tipo económico, como los incentivos económicos que pretenden fomentar la transformación tecnológica favoreciendo las actividades con menor impacto medioambiental relativo, como pueden ser las primas a las energías renovables, a la cogeneración o a los programas de gestión de la demanda. Estos incentivos se han mostrado tremendamente eficaces en nuestro país, fundamentalmente en el desarrollo de las instalaciones eólicas y de cogeneración.
- Instrumentos de mercado, como son el comercio de derechos de emisión (SO₂ ó CO₂) o las subastas de capacidad de energía renovables o los certificados verdes.

Otros instrumentos son el fomento de la información al consumidor (por ejemplo, información sobre el *mix* de generación de electricidad y las emisiones asociadas), la formalización de acuerdos voluntarios entre empresa y administraciones, o el marketing verde *green pricing*.

2.4.5 Progreso tecnológico

Históricamente los impulsores del progreso tecnológico han sido la guerra, la dominación, el poder y durante el siglo XX, la sociedad de consumo. En principio y bajo estas premisas, el progreso tecnológico se debería de identificar más bien con la causa de nuestros males, no sólo desde un punto de vista de sostenibilidad en su conjunto sino vector por vector.

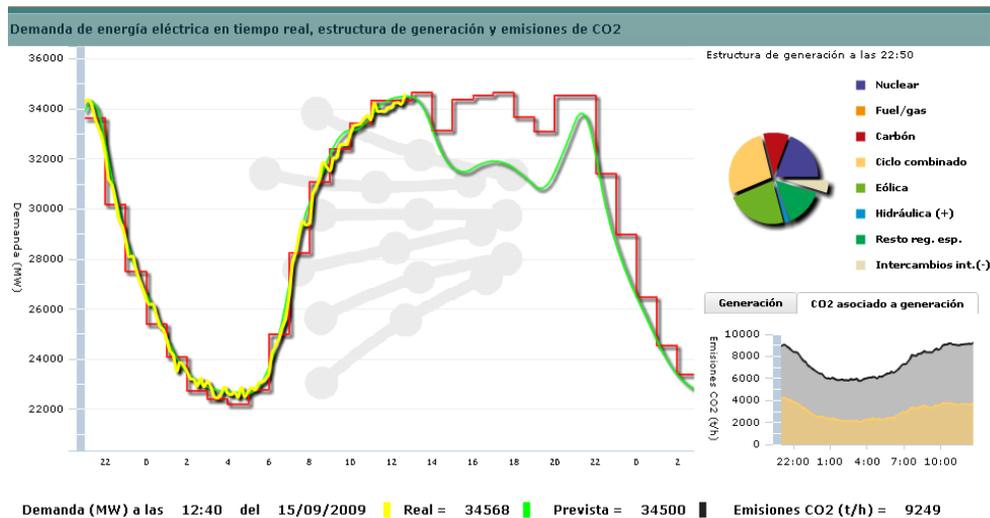
Sin embargo, los resultados y modificaciones de las tecnologías y avances militares realizados por la sociedad de consumo en muchos casos han contribuido a un mayor bienestar del ser humano y a la economía sin prestar ninguna atención a los efectos sobre el medio ambiente.

Cuando enfocamos el progreso tecnológico como instrumento al servicio de la sostenibilidad y se legisla en consecuencia, encontramos un amplio abanico de campos de actuación donde el progreso tecnológico puede brindar soluciones sin necesidad de reformar de inmediato nuestra sociedad y además permite aplazar

otras soluciones como el decrecimiento sostenible mientras nuevo progreso tecnológico va enfrentando los nuevos retos creados.

Según indica el “Libro Verde de la Unión Europea” la eficiencia se ha mejorado en un 30% en los últimos 30 años en las centrales de carbón, lo cual supone reducir las emisiones de CO₂. La política energética está apostando por un *mix* energético sostenible, eficiente y ecológico. Cabe destacar el papel de las centrales de ciclo combinado (optimización de la tecnología) y las renovables en el control de los GEI. Como se puede observar en la Figura 2.7, para un instante determinado la estructura de generación en España puede alcanzar casi las tres cuartas partes, entre renovables y ciclo combinado.

Figura 2.7: Demanda de energía eléctrica, estructura de generación y emisiones de CO₂



Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

Sin embargo, aunque se mejore la eficiencia en las centrales y se incorporen energías renovables, para que el desarrollo tecnológico sea una herramienta para la mejora de sostenibilidad hace falta ahorro y reducción del consumo por parte de la sociedad [79], como ya hemos visto anteriormente en 2.4.2.1, para evitar el contraproducente efecto rebote de la Paradoja de Jevons que nos conduce a soluciones más eficientes pero insostenibles.

2.5. Normativa

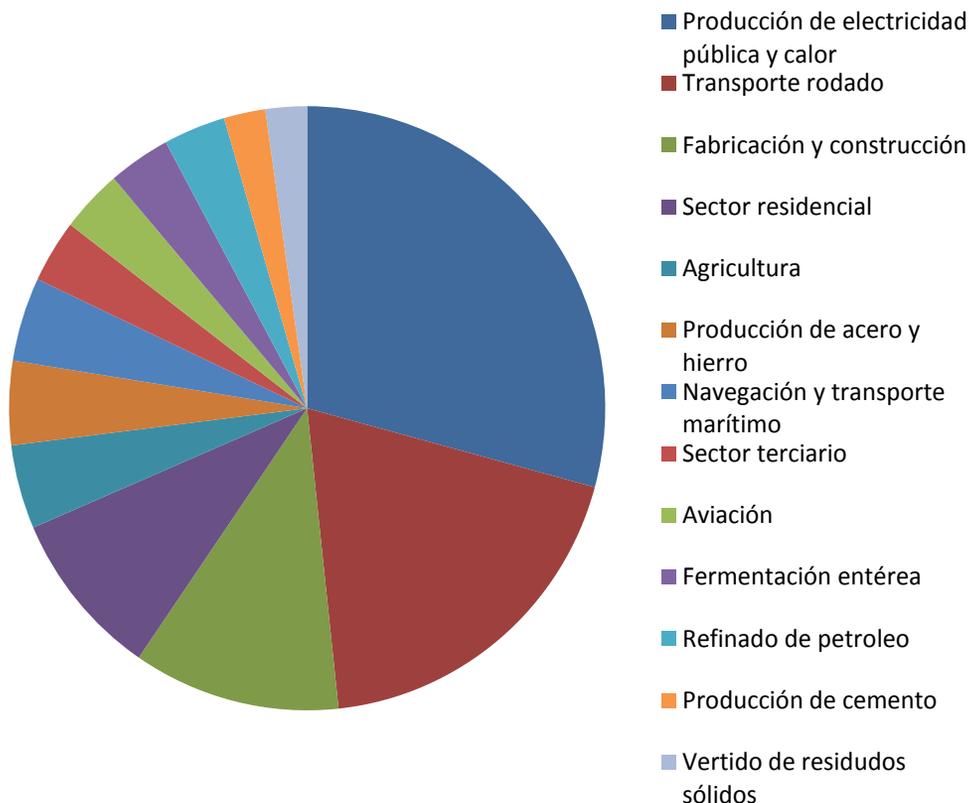
2.5.1 Ámbito Internacional

El protocolo de Kioto [29], como vimos en 2.2, es el mayor esfuerzo internacional existente, ratificado y en vigor para la consecución de objetivos de sostenibilidad y evitar los efectos del Cambio Climático. Kioto tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global. Según el Anexo A se consideran los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF_6)²¹

Dicha reducción se estima en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Por ejemplo, si la contaminación de estos gases en el año 1990 alcanzaba el 100%, al término del año 2012 deberá ser al menos del 95%. Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que este es un porcentaje a nivel global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir.

²¹ Los tres últimos son gases de origen industrial fluorados,

Gráfica 2.8: Gases de efecto invernadero en la UE-27 por su actividad de origen. 2007

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente²² 2009

La Unión Europea, como agente especialmente activo en la concreción del Protocolo, se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el periodo 2008-2012 en un 8% respecto de las de 1990.

No obstante, a cada país se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales según el principio de reparto de la carga, de manera que dicho reparto se acordó de la siguiente manera:

Alemania (-21%), Austria (-13%), Bélgica (-7,5%), Dinamarca (-21%),

²² También conocida por EEA, las siglas en inglés de European Environment Agency.

Italia (-6,5%), Luxemburgo (-28%), Países Bajos (-6%), Portugal (+27%), Finlandia (-2,6%), Suecia (+4%), Reino Unido (-12,5%), Francia (-1,9%), España (+15%), Grecia (+25%) e Irlanda (+13%)

Por su parte, España que, como vemos, se comprometió a aumentar sus emisiones un máximo del 15% en relación al año base, se ha convertido en el país miembro que menos posibilidades tiene de cumplir lo pactado. En concreto, el incremento de sus emisiones en relación a 1990 durante los últimos años ha sido como muestra la Tabla 2.2 [80].

Tabla 2.2: Porcentaje de emisiones de GEI, en España

Año	Porcentaje de incremento
1996	7%
1997	15%
1998	18%
1999	28%
2000	33%
2001	33%
2002	39%
2003	41%
2004	47%
2005	52%
2006	42,7%
2007	52%
2008	42,7%

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente MMA

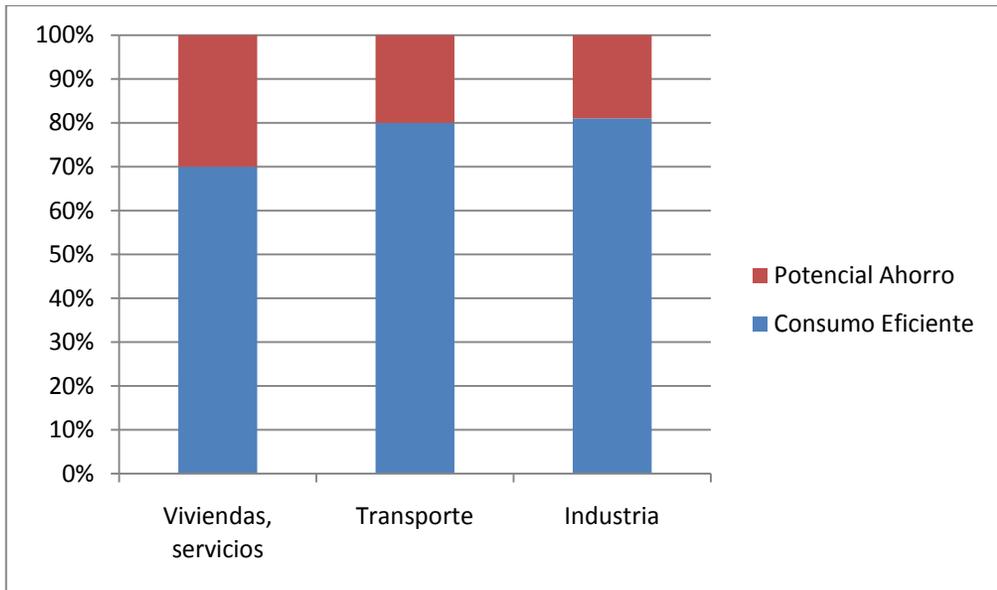
2.5.2 Ámbito Europeo

Existe abundante normativa en el ámbito de la sostenibilidad, la salud pública, la eficiencia energética y el cambio climático. En concreto, Kioto es un protocolo dinamizador de políticas en tanto en cuanto, en su Artículo 2, Apartado 1.a. indica que los países firmantes habrán de aplicar y/o seguir políticas que fomenten la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía de cada país, entre otras medidas.

El sector que genera mayores consumos de energía final en el mundo es el transporte, tal y como muestran la Gráfica 2.6 y Gráfica 2.8. Las principales medidas de política están enfocadas en este sentido como primer ámbito de actuación y mejora. La Directiva Europea 93/76/CEE, relativa a la reducción de emisiones de CO₂ mediante la mejora de la eficiencia energética, obliga a los estados miembros de la Unión Europea a establecer y aplicar programas relativos a la Certificación Energética en los distintos sectores implicados como muestra la Gráfica 2.8. Como consecuencia, se crean medidas y reglamentos.

La directiva 2005/32/CEE, insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicable a los productos que utilizan energía. La Comisión de las Comunidades Europeas 8-3-2006 [81], publica: “Libro Verde: Estrategia Europea para una Energía Sostenible, Competitiva y Segura”, donde citan la necesidad de un Plan de Acción para la Eficiencia Energética y este trata de sentar las bases de una nueva política energética europea de carácter general.

La UE reconoce que el ahorro de energía es la forma más inmediata y rentable que tiene la Unión Europea de tratar las cuestiones energéticas clave de la sostenibilidad, la seguridad del abastecimiento y la competitividad e identifica los sectores clave y el potencial ahorro de cada uno de ellos, como muestra la Gráfica 2.9 [82] para 2020 si se alcanzasen los objetivos marcados en la UE (en porcentaje respecto del valor actual).

Gráfica 2.9: Reducción potencial de consumo de energía final

Fuente: Elaboración propia a partir de CE

En 1992 apareció la primera normativa en Europa sobre etiquetado energético [83] cuyo objetivo era la permitir la armonización de las medidas nacionales a través del etiquetado de datos sobre el consumo de energía y de otros recursos esenciales, así como de datos complementarios relativos a aparatos eléctricos, de manera que los consumidores puedan elegir aparatos que tengan un mejor rendimiento energético.

Por otra parte la concienciación ciudadana, es unas de las claves para que todo esto se confiera como una realidad. Es por ello que la comisión europea ha tomado como iniciativa *Sustainable Energy Europe Campaign* con actividades dedicadas a soluciones en energías renovables y eficiencia energética, con más de 500 proyectos en la actualidad. La mayoría de estos proyectos se localizan dentro de las fronteras Europeas, pero progresivamente se extiende por cualquier latitud [84].

2.5.3 Ámbito Nacional

A nivel nacional, el primer Plan Eléctrico que tomó en consideración de manera específica la cuestión medioambiental, fue el elaborado en 1973 para el periodo 1975-85. Este Plan se fija como objetivos compaginar por un lado el creciente desarrollo tecnológico que lleva aparejado una gran demanda de energía y, por otro, la protección del medio ambiente [85] y otro aspecto destacable es que se refleja una cierta preocupación por el efecto invernadero, pues en él se decía parece que las concentraciones de CO₂ en el aire están aumentando lentamente en las últimas décadas [85]. Este plan se revisó en 1977, las circunstancias económicas y energéticas aconsejaron un segundo plan 1979-1987. El plan contiene el capítulo titulado “Contaminación y Ecología” en el que, por primera vez en un documento de este tipo, se afirma que los ecosistemas pueden verse afectados por las actividades energéticas en su conjunto.

Los cambios que han permitido llegar a la situación actual se iniciaron en la década de 1980 con la Ley 49/1984, de 26 de diciembre, sobre explotación unificada del sistema eléctrico nacional, el Real Decreto 1538/1987 y sus normas de desarrollo, conocido como Marco Legal Estable, y la Ley 40/1994, de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional²³.

En unos años de debate intelectual en el ámbito del derecho administrativo sobre el papel a desempeñar por parte de las administraciones independientes en las relaciones Gobierno-política-Administración, y en línea con las tendencias generalizadas en los países occidentales, la aprobación de la citada Ley 40/1994, de ordenación del sistema eléctrico nacional, supuso la creación del primer ente regulador del sistema eléctrico, la Comisión del Sistema Eléctrico Nacional²⁴ como ente regulador del sistema eléctrico [86].

²³ LOSEN, que en 1994 dio los primeros pasos hacia un modelo de competencia.

²⁴ CSEN. <http://www.cne.es/>

El Plan Eléctrico se revisa en 1984-1992. Por primera vez cita un Plan de Energías Renovables. Propone medidas de ahorro pero no las relaciona con el medio ambiente.

Es en 1984, cuando el Centro de Estudios de Energía que había nacido hace una década, se denomina IDAE²⁵, y que pasa de prestar sus servicios técnico y financieros como asesor en asuntos de energías renovables, auditorías diagnósticas energéticas, a poseer competencias entre otros para la mejora de la eficiencia energética y fomento de la implantación de las energías renovables, convirtiéndose en una herramienta para facilitar la implantación de las políticas de eficiencia energética y desarrollo de las energías renovables de los ministerios de turno.

El primer plan específico es el PAEE²⁶, integrado en el PEN²⁷, con vigencia de 1991 a 2000, aprobado en el Consejo de Ministros del 26/5/1991.

Posee los siguientes campos de actuación:

- Ahorro
- Sustitución por Gas natural
- Sustitución por Energías Renovables
- Potencia eléctrica en Cogeneración
- Potencia eléctrica en Energías Renovables.

En 2003 se aprueba la “Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética”²⁸. Identifica los objetivos de carácter estratégico, así como la senda que la política energética debería recorrer para alcanzar los objetivos de la misma: seguridad de suministro en cantidad y precio con unos niveles de autoabastecimiento umbrales, tomando en consideración el impacto

²⁵ Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. <http://www.idae.es/>

²⁶ Plan de Ahorro y Eficiencia Energética.

²⁷ Plan Energético Nacional.

²⁸ E4 2004-2012. Primer plan de acción nacional.

medioambiental que su uso conlleva y la importante componente en relación a la competitividad de nuestra Economía.

Con esta Estrategia, se entrecruzan otras dos en el ámbito de la sostenibilidad: la EECCEL²⁹, y el PER³⁰ 2005-2010. Actualmente se está elaborando la Estrategia Española Desarrollo Sostenible que englobaría a todas ellas y junto a ellas, se formula una cuarta en el lado de la dimensión tecnológica como uno de los principios activadores de los desarrollos anteriores. Con relación a la primera, los mandatos principales provienen de los PNA³¹ de derechos de emisión y especialmente regulan las intensidades de los sectores energéticos.

En Junio de 2008 se crea la comisión mixta no permanente (Congreso-Senado) para el estudio de cambio climático y sus trabajos giran en torno a cuatro líneas de actuación: incentivar a las empresas que hagan públicos sus compromisos de reducción de emisiones de CO₂; apoyar a los medios de transporte que propicien una movilidad sostenible; ayudar a los edificios respetuosos con el medio ambiente -que alcanzarán en 2012 un total de 500.000 viviendas, escuelas públicas y edificios- y, por último, tramitar un proyecto de Ley sobre Eficiencia Energética y Energías Renovables, por el ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que se implanta en Junio de 2009.

En 2012, nos encontramos dentro del plan de acción de eficiencia energética 2011-2020, segundo Plan de Acción Nacional que desarrolla el artículo 14 de la directiva 2006/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos, aprobado en el consejo de ministros de fecha 29 de julio de 2011. Los sectores que cubre el plan son: Industria, transporte, edificación y equipamiento, servicios públicos, agricultura y pesca y transformación de la energía.

²⁹ Estrategia Española del Cambio Climático y Energía Limpia.

³⁰ Plan de Energías Renovables.

³¹ Planes Nacionales de Asignación.

Capítulo 3. Indicadores, métodos, índices y representaciones de eficiencia energética

Actualmente las investigaciones sobre sostenibilidad se han vuelto cada vez más cuantitativas e incluyen múltiples dimensiones de sostenibilidad simultáneas [87, 88] y diferentes modelos [89]. De manera general, un sistema será sostenible sí es sostenible en todas sus dimensiones estudiadas. Para la medida de la sostenibilidad se utilizan indicadores agrupados mediante métodos que generan índices [46].

Los índices más complejos, aunque a priori más precisos, pueden producir resultados contradictorios. Algunos de los aspectos cruciales que provocan estas discrepancias entre índices son la naturaleza objetiva o subjetiva del índice, los sesgos aplicados, la elección de los límites del sistema, la transformación y ponderación de los datos y el método de agregación utilizado.

Este trabajo identifica aquellos indicadores, índices y métodos más representativos para el estudio de la sostenibilidad desde la perspectiva de uso final de la energía, estudiando las limitaciones que presentan los índices.

3.1. Fuentes de indicadores para índices de sostenibilidad

En cuanto a la formulación de políticas desde la perspectiva de la eficiencia energética, la Agencia Internacional de la Energía (AIE)³² ha desarrollado y mantiene desde 1996, varios indicadores adecuados para describir los sectores que consumen energía más relevantes: los edificios, la fabricación y el transporte. Los indicadores de la AIE tienen en cuenta la combinación de combustibles de generación de energía para poder determinar si las reducciones de CO₂ proceden de las energías renovables o de una mayor eficacia en cualquier sector en particular.

En 2002 una iniciativa de colaboración internacional denominada IDES³³ se llevó a cabo por el OIEA³⁴ en cooperación con el DAES³⁵, la Agencia Internacional de Energía, la Oficina Estadística de las Comunidades Europeas o

³² La Agencia Internacional de la Energía, es una entidad autónoma establecida en noviembre del 1974, dentro del marco de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para establecer un programa energético internacional. Publica el World Energy Outlook. Sus siglas en inglés son IEA International Energy Agency.

³³ Indicadores de Desarrollo Energético Sostenible

³⁴ Organismo Internacional de la Energía Atómica, en inglés IAEA: International Atomic Energy Agency, Se creó en 1957 es el organismo de Naciones Unidas que tiene en su misión “Contribuir al Desarrollo Sostenible de los Estados Miembros a través del uso pacífico de la Tecnología Nuclear” <http://www.iaea.org/>

³⁵ Departamento de Asuntos económicos y Sociales de las Naciones Unidas UN-DESA

Eurostat y la AEMA³⁶, esta iniciativa tuvo como objetivo lograr una optimización de los esfuerzos de las principales organizaciones internacionales para proporcionar a los usuarios con un único conjunto de indicadores energéticos que son aplicables en todo el mundo.

Los indicadores de la AIE son complementarios y se incluyeron desde 2002 en los indicadores del IDES. En el IDES, los indicadores evolucionaron y mantuvieron la idea original de la AIE de indicadores sectoriales y alto nivel de desagregación.

En el 2005, la iniciativa IDES ha logrado dos resultados a reseñar: el desarrollo y publicación de un conjunto de indicadores energéticos y las correspondientes directrices y metodologías que se pueden utilizar en todo el mundo por los países en el seguimiento de los objetivos de desarrollo. También realizan una serie de estudios de casos nacionales para el control y el análisis de la aplicabilidad, pertinencia y utilidad de estos indicadores en una serie de países seleccionados.

La publicación "Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies" [90] es un informe de varias agencias que representa una colaboración única entre las cinco principales organizaciones internacionales – OIEA, AIE, AEMA, DAES, y Eurostat – con experiencia en el campo de indicadores energéticos.

El conjunto de indicadores del IDES no es fácilmente comprensible, sino que trata los temas más importantes relacionados con la energía que presentan interés para el conjunto de los países del mundo. Los indicadores energéticos fueron seleccionados basándose en el consenso alcanzado por las organizaciones internacionales que participaron en esta asociación, se agrupan en 3 dimensiones: social, económico y medioambiental. En total determinan 30 indicadores que se subdividen en 7 Temas y 19 Subtemas.

³⁶ Agencia Europea del Medio Ambiente. En inglés EEA European Environmental Agency <http://www.eea.europa.eu/>

Alejándose de las primeras versiones de IDS³⁷ de Naciones Unidas que contenía 130 indicadores en posteriores versiones se redujeron a 58 indicadores en 4 dimensiones, 15 temas y 38 subtemas. El número de indicadores se redujo considerablemente cuando se hizo evidente que un conjunto excesivo de indicadores era poco manejable y difícil de aplicar en la práctica. [90]. Los 30 IDES, se distribuyen en las citadas dimensiones básicas de sostenibilidad.

En la Tabla 3.1, se describen los cuatro indicadores sociales, estos indicadores están relacionados con valores, dentro de los temas equidad y salud, que pueden emplearse para estudios macros (no son aconsejables en sistemas de pequeña escala) para toma de decisiones en sostenibilidad de procesos muy determinados. Los indicadores de la dimensión social ponderan los objetivos de la Agenda 21 [11].

Tabla 3.1: Indicadores sociales de indicadores energéticos sostenibles

SOCIAL		
Tema/subtema	Indicador	Descripción
Equidad/Accesibilidad	SOC1	Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales
Equidad/Asequibilidad	SOC2	Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad
Equidad/Disparidades	SOC3	Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados
Salud/Seguridad	SOC4	Víctimas mortales de accidentes por la energía producida por la cadena de combustibles

Fuente: IAEA

SOC1-SOC3: Agenda 21 - Capítulo 3. “Lucha contra la pobreza”. Según estimaciones 1700 millones de personas carecen de electricidad, y 2000 millones de personas, o cerca de una tercera parte de la población mundial dependen

³⁷ Indicadores de Desarrollo Sostenible.

fundamentalmente de energías derivadas de la biomasa tradicional: leña rastrojos y estiércol animal.

SOC4: Agenda 21 - Capítulo 6 “Protección y fomento de la salud humana”. Se indica que los riesgos para la población y las tasas de traumatismos ocupacionales y de muertes provocados por accidentes relacionados con la energía son elevados.

En la Tabla 3.2, según la IAEA [11], se distinguen 2 temas, 9 subtemas y se describen los 16 indicadores económicos, se encuentra representados conceptos como intensidad energética, eficiencia, *mix* energético, seguridad. Estos indicadores están relacionadas con el Capítulo 4 “Evolución de las modalidades de consumo” de la Agenda 21.

Solo uno de los 16 indicadores se refiere directamente al precio, mientras que del ECO1 al ECO10, casi la tercera parte de los indicadores, de esta dimensión se relacionan con la eficiencia energética, en producción o uso final, según el caso en cuestión, por lo que se pone de relevancia que el problema económico en gran parte es un problema de eficiencia, un problema técnico.

En el indicador ECO2, se define que la energía usada con respecto al PIB se denomina “Intensidad energética agregada³⁸” o “intensidad energética de la economía”.

³⁸ Intensidad energética agregada: Energía ‘consumida’ por unidad de actividad o producto.

Tabla 3.2: Indicadores económicos del los indicadores energéticos sostenibles

ECONÓMICO		
Tema/subtema	Indicador	Descripción
Patrones de uso y producción (PUP)/Uso global	ECO1	Uso de energía per cápita
PUP/Productividad Global	ECO2	Uso de energía por unidad de PIB
PUP/Eficiencia de suministro	ECO3	Eficiencia de la conversión y distribución de energía
PUP/Producción	ECO4	Relación reservas/producción
	ECO5	Relación recursos/producción
PUP/Uso final	ECO6	Intensidades energéticas de la industria
	ECO7	Intensidades energéticas del sector agrícola
	ECO8	Intensidades energéticas del sector comercial/de los servicio
	ECO9	Intensidades energéticas de los hogares
PUP/Fuel mix	ECO10	Intensidades energéticas del transporte
	ECO11	Porcentajes de combustibles en la energía y electricidad
	ECO12	Porcentaje de energía no basada en el carbono en la energía y electricidad
PUP/Precios	ECO13	Porcentaje de la energía renovable en energía y electricidad
	ECO14	Precio de la energía de uso final por combustible y por sector
Seguridad/Importaciones	ECO15	Dependencia de las importaciones netas de energía
Seguridad/Reservas estratégicas de combustibles	ECO16	Reservas de combustibles críticos por consumo del combustible correspondiente

Fuente IAEA

Se indica en “Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies” [90] que el ratio de energía agregada respecto del PIB no es un indicador ideal de eficiencia energética, ni de la sostenibilidad del uso de la energía ni del desarrollo tecnológico, tal y como se ha venido utilizando anteriormente a esta publicación. Por ello, es importante complementar el indicador de uso de energía respecto del PIB con la intensidad desglosada por sectores ya que los indicadores desagregados son un reflejo más fiel de la evolución de la eficiencia energética. Se desaconseja utilizar sólo el indicador ECO2, para la toma de decisiones. Y se indica en el Anexo 3 [90] la metodología

de descomposición para indicadores de intensidad de uso de la energía. Los sectores que identifica la IAEA son:

- Industria.
- Sector agrícola.
- Sector comercial o servicios.
- Hogares.
- Transporte.

La última dimensión incluida es la medioambiental. Está compuesta por 10 indicadores según se puede observar en la Tabla 3.3. Estos indicadores se engloban en los tres estados de la materia y determinan sus tres temas:

- Gaseoso -> Atmosfera.
- Líquido -> Agua.
- Sólido -> Tierra.

El ENV1 hace referencia al cambio climático y en concreto a los gases de efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto como podemos ver en el apartado 2.5.1. ENV1 y ENV3 están relacionados con el Capítulo 9 de la agenda 21 “Protección de la atmósfera”. ENV4 tiene que ver con los capítulos 17 y 18, sobre la protección de aguas saladas y dulces, ENV5 se relaciona con el capítulo 9, sobre la protección de la atmósfera, en concreto con el apartado D, contaminación atmosférica transfronteriza. ENV6 se relaciona con el Capítulo 11 sobre la lucha contra la deforestación.

Los indicadores ENV7-ENV10 hacen referencia a la generación y gestión de los desechos sólidos generados por la producción de energía. ENV7-ENV8, relacionados con el Capítulo 4, y Capítulo 21 “Gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos y cuestiones relacionadas con las aguas cloacales”. ENV9-ENV10 están relacionados con los desechos radiactivos; en la Agenda 21 se recogía en el Capítulo 22 “Gestión inocua y ecológicamente racional de los desechos radiactivos [11].

Tabla 3.3: Indicadores medioambientales de indicadores energéticos sostenibles

MEDIOAMBIENTAL (Environmental)		
Tema/subtema	Indicador	Descripción
Atmósfera /Cambio climático	ENV1	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la producción y uso de energía, per cápita y por unidad de PIB
Atmósfera /Calidad del aire	ENV2	Concentraciones Ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas
	ENV3	Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos
Agua/Calidad del agua	ENV4	Descargas de contaminantes en efluentes líquidos procedentes de los sistemas energéticos incluidas las descargas de petróleo
Tierra/Calidad del suelo	ENV5	Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica
Tierra/Bosques	ENV6	Tasa de deforestación atribuida al uso de energía
Tierra/generación y gestión de desechos sólidos	ENV7	Relación entre la generación de desechos sólidos y las unidades de energía producida
	ENV8	Relación entre los desechos sólidos adecuadamente evacuados y el total de desechos sólidos generados
	ENV9	Relación entre los desechos sólidos radiactivos y las unidades de energía producida
	ENV10	Relación entre los desechos sólidos radiactivos en espera de evacuación y el total de desechos sólidos radiactivos generados

Fuente: IAEA

El conjunto de indicadores del IDES debe ser de referencia para un análisis macro de las principales dimensiones de la sostenibilidad. Los indicadores económicos están muy correlacionados con la generación de energía para el transporte y consumo, al tiempo que las dimensiones sociales y ambientales dependen en gran medida de las diferentes formas de desperdicio de energía y los desastres.

3.2. Indicadores

Eurostat elabora un informe de seguimiento, con base en el conjunto de IDS de la UE, que debe ser herramienta complementaria para el conjunto del IDES, cuando se trabaja o se compara exclusivamente entre países europeos. Los IDS se utilizan para supervisar la Estrategia de Desarrollo Sostenible³⁹ en un informe publicado por Eurostat cada dos años. Se presentan en diez temas, como se puede ver en la Tabla 3.4.

3.2.1 Indicadores principales

De los más de 100 indicadores, once han sido identificadas como indicadores principales. Tienen la finalidad de ofrecer un panorama general de si la Unión Europea ha logrado un progreso hacia el desarrollo sostenible en términos de los objetivos y metas definidas en la estrategia. Para obtener una imagen más completa es necesario tener en cuenta el progreso de todos los indicadores dentro de cada uno de sus temas, como muestra la Tabla 3.4.

³⁹ EDS UE.

Tabla 3.4: Indicadores Europeos

Tema	Indicador principal
El desarrollo socioeconómico	Tasa de crecimiento del PIB real per cápita.
Consumo y producción sostenibles	Productividad de los recursos.
Inclusión social	Población en riesgo de pobreza o exclusión.
Los cambios demográficos	Tasa de empleo de los trabajadores de edad.
Salud pública	Años de vida sana y esperanza de vida al nacer, por sexo.
Cambio climático y energía	Las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuota de las energías renovables en el consumo final bruto de energía.
El transporte sostenible	El consumo de energía del transporte con relación al PIB.
Recursos naturales	Índice de aves comunes. Las capturas de peces de poblaciones fuera de los límites biológicos: Situación de los recursos pesqueros administrados por la UE en el Atlántico Nordeste.
Asociación mundial	Asistencia oficial para el desarrollo como porcentaje del ingreso nacional bruto.
El buen gobierno	No hay indicador de primera línea.

Fuente: Eurostat

ODYSSEE MURE es un proyecto coordinado por ADEME⁴⁰ (Agence de l'Environnement et de la Mabrise de l'Energie) y encuadrado bajo el Programa de la Comisión Europea de Energía Inteligente. Este proyecto reúne representantes tales como las Agencias de la Energía de los 27 estados miembros de la UE más Noruega y Croacia y se concentra en la monitorización de tendencias de eficiencia energética y medidas de reglamentación en Europa utilizando la misma metodología y definiciones que Eurostat.

⁴⁰ Agencia del Medioambiente y de la gestión de la energía de Francia.

El proyecto ODYSSEE-MURE tiene 3 objetivos principales:

- Evaluar y comparar progresos en eficiencia energética por sectores para los países de la UE y para la UE como un todo y relacionar el progreso a las tendencias observadas en el ámbito del consumo de energía.
- Evaluar las medidas de políticas de eficiencia energética en los países de la UE.
- Monitorizar los objetivos nacionales y los de la UE en materia de eficiencia energética.

Este proyecto se divide en 5 Sectores, como muestra la Tabla 3.5, coincidiendo los 4 sectores particulares con los indicados por la OIEA, como se vio en el apartado 3.1, a falta del sector agrícola. Otra diferencia es que la unidad monetaria de OIEA, es el dólar estadounidense.

LA AIE, utiliza el tep⁴¹, como forma homogénea de medir la energía.

⁴¹ tep: tonelada equivalente de petróleo. En inglés toe: ton of oil equivalent, que también puede ser expresada por 1000 kep o koe (según la lengua que utilicemos).

Tabla 3.5: Indicadores de ODYSSEE-MURE

Sectores	Descripción	Unidad
MACRO	Intensidad primaria	tep/€2005p
	Intensidad final	tep/€2005p
INDUSTRIA	Intensidad de la industria	tep/€2005p
	Intensidad de la fabricación	tep/€2005p
	Intensidad ajustada de la fabricación	tep/€2005p
	Consumo específico de cemento	tep/t
	Intensidad de los productos químicos	tep/€2005p
	Consumo específico de papel	tep/t
	Consumo específico del acero	tep/t
	TRANSPORTE	Unidad del consumo de transporte aéreo
Unidad del consumo del transporte por carretera de mercancías		tep/tkm
Unidad del consumo del transporte por carretera por coche equivalente		tep/cocheeq
Consumo específico de coches		l/100km
Consumo específico de los vehículos nuevos		l/100km
Cuota de transporte público de pasajeros		%
Cuota de ferrocarril y canales para mercancías		%
HOGARES	Consumo por vivienda	tep/vivienda
	Consumo por vivienda por aparato eléctrico	kWh/vivienda
	Consumo por vivienda para la calefacción	tep/vivienda
	Consumo por m ² para calefacción	tep/m ²
	Consumo por vivienda en el clima de la UE	tep/vivienda
SERVICIOS	Consumo de servicios por empleados	tep/empleado
	Electricidad consumida de servicios por empleado	kWh/empleado
	Intensidad energética de los servicios	tep/€2005p
	Intensidad eléctrica de los servicios	kWh/€2005p

Fuente: ODYSSEE-MURE

En España, el IDAE, junto al CEI⁴², poseen varias Guías Técnicas de Eficiencia Energética para iluminación por sectores. Se recomienda el IEE o Índice de Eficiencia Energética y se define como el factor que mide la eficiencia energética de una instalación de alumbrado. La unidad de medida del IEE es $W/m^2-100Lux$, el IDAE indica un baremo entre óptimo de 1.5 y máximo de 5.5, que pueden variar entre estos límites según el sector en cuestión: centros docentes, oficinas (en este apartado realiza 4 subdivisiones, colmena, celda, club y lobby según la distribución de los espacios y las personas en la oficina), hospitales o centros de atención primaria, como se puede observar en la Tabla 3.6. [91, 92, 93].

Tabla 3.6: Índice de Eficiencia Energética en Iluminación por sectores

Centros Docentes	Oficinas				Hospitales y centros de atención primaria	
	Colmena	Celda	Club	Lobby		
IEE óptimo	2	1,5	2,5	2	3	2,5
IEE medio	3,5	3,5	4	3,5	4	4
IEE máximo	4,5	4,5	5	5	5	5,5

Fuente: Elaboración propia a partir de IDAE

⁴²Comité Español de Iluminación.

3.3. Métodos e índices de sostenibilidad

Se han desarrollado un gran número de índices de sostenibilidad, con diferentes dimensiones [87, 94] y que responden a diferentes modelos [95, 21, 23].

Aunque puedan parecer distintos, casi todos incorporan los mismos datos debido al limitado número de variables fidedignas a evaluar. En su mayoría, en los índices objetivos cuantitativos, estas variables proceden principalmente de datos recogidos por las Naciones Unidas u otras organizaciones internacionales de reconocido prestigio [10].

En especial aquellos índices que se basan en un conjunto de datos predeterminado encontramos que son difícilmente adaptables a la determinación la sostenibilidad desde una perspectiva energética.

Aunque las magnitudes económicas, presentes en la mayoría de los índices existentes, se pueden convertir a energía equivalente y las mejoras en la eficiencia energética de los productos o procesos pueden compararse con los productos o procesos existentes siempre que se tengan en cuenta los daños causados al medioambiente y el ciclo de vida del producto o proceso analizado existente y nuevo [46], estas conversiones resultan poco prácticas cuando los datos de entrada no se pueden modificar de manera precisa al ser sistemas no lineales.

Por tanto, sólo aquellos índices de sostenibilidad con un componente energético fuerte, o flexibles desde el punto de vista de los datos de entrada, serán de interés para nuestro estudio. Extraídos de la clasificación de Mayer [19] y teniendo en cuenta este último criterio podemos distinguir:

3.3.1 Índice de sostenibilidad basado en imágenes de satélite

El índice de sostenibilidad basado en imágenes de satélite está compuesto entre otros factores por la medición de la intensidad de la iluminación artificial nocturna como indicador del grado de modificación del medioambiente, y como medida indirecta de las emisiones de efecto invernadero [96, 97]. Según este índice, mejoras en la eficiencia en la producción de luz artificial, aumentarían la sostenibilidad de las comunidades estudiadas. Este índice tiene sentido si se acompaña de un estudio de las tecnologías utilizadas para generar iluminación dado que, para generar la misma energía lumínica, se puede gastar hasta 10 veces más en función de la tecnología utilizada. Su mayor ventaja es que las imágenes nocturnas pueden procesarse objetivamente, están disponibles y no pueden ser falseadas por gobiernos poco transparentes.

3.3.2 Análisis disperso de componentes principales

El análisis disperso de componentes principales o, en inglés, Principal Components Analysis (PCA) está basado en técnicas de reducción de datos y puede utilizarse para agregar indicadores de sostenibilidad a diferentes escalas. La principal ventaja de este índice es que podemos utilizarlo como base para agregar índices que estén centrados en aquellos aspectos que sean de nuestro interés y por otro lado, que proporciona una reducción de dimensiones, como demostraron Barrios y Komoto [98] que en su estudio resultó ser de 18 a 3. Esto permite que los resultados sean más fáciles de interpretar. Sin embargo, este índice encierra una gran complejidad matemática para poderlo aplicar.

3.3.3 Índice de información Fisher

El índice de información Fisher es un índice que permite agregar indicadores, con la particularidad de que se centra en la medición de la estabilidad a lo largo del tiempo.

Una de las características de los sistemas sostenibles es la estabilidad durante el tiempo. Incluso aunque algunas características fluctúen, el sistema para que sea sostenible ha de mantenerse estable. El índice de información Fisher proporciona un método para agregar una amplia variedad de indicadores que se miden a lo largo del tiempo y pueden indicar la estabilidad general de un sistema [99].

El índice se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$I = \int \frac{1}{p(\varepsilon)} \left[\frac{dp(\varepsilon)}{d(\varepsilon)} \right]^2 d\varepsilon$$

Donde $p(\varepsilon)$ es la densidad de probabilidad en función de la desviación, ε , del verdadero valor de la variable.

Procesos medidos utilizando el Índice de Información de Fisher, se verán afectados positivamente si se aplican políticas de mejora de la eficiencia (e.g. adaptación a ciclo combinado de centrales existentes). El índice permite determinar si las medidas a tomar afectan positiva o negativamente a los sistemas con el paso del tiempo y desvelan falsas soluciones que a priori parecen adecuadas.

El índice es nuevo y no ha sido aún testada su precisión [19], además, el índice indica la estabilidad de un sistema, sea este deseable o no. Sólo la elección adecuada de indicadores permitirá realizar mediciones que permitan conclusiones en el campo de la sostenibilidad.

3.3.4 Índice de ahorros auténticos

Desarrollado y promovido por el Banco Mundial, el índice de ahorros auténticos consiste en el cálculo de los ingresos nacionales netos ajustados al daño y desgaste medioambiental.

El índice de ahorros auténticos es un índice que, además, incluye entre sus variables de análisis las emisiones de CO₂ y el consumo de recursos. Puesto que estas dos variables están relacionadas con la eficiencia energética y con el tipo de tecnología de generación utilizada, resulta relevante en este documento. El índice se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$GENSAV = \frac{GDS - D_p + EDU - \sum R_{n,i} - CO_2 \text{emissions}}{GDP}$$

Donde GENSAV es el índice de ahorros genuinos, GDS es el ahorro interior bruto, D_r es la depreciación del capital físico, EDU es el gasto en educación, R_{n,i} es la renta generada por el consumo del capital natural i-ésimo⁴³, “CO₂ emissions”⁴⁴ son las emisiones de CO₂ y GDP es el producto interior bruto a precios de mercado.

Sin embargo, este índice es discutido por distintos autores [100], ya que no tiene en cuenta diversos efectos como la finalización de los recursos, la importación de los mismos de otro país, y como consecuencia de lo anterior, una pobre medición de la sostenibilidad a largo plazo.

⁴³Se incluye el consumo de energía, minerales y bosques.

⁴⁴Estimado actualmente a 20 dólares por cada tonelada de carbón emitida.

3.3.5 Ingreso Nacional Sostenible

El índice de ingreso nacional sostenible es un índice que agrega datos de consumo de recursos de distintos sectores de producción en modelo general de equilibrio. Su mayor inconveniente radica en la disponibilidad de un número suficiente y veraz de datos para construir la estimación, aunque si se dispone de ellos, se convierte en un instrumento adecuado para medir los efectos que provocarían mejoras en la eficiencia [101].

3.3.6 Análisis de Emergía

Gran parte de los indicadores disponibles de sostenibilidad están diseñados para su utilización por economistas y basan su análisis en una conversión de consumo de recursos, bienes y desechos generados principalmente a valores económicos. Los análisis de emergía se basan en el estudio de la energía convertida de todos los bienes, servicios, procesos y desechos involucrados en una actividad concreta y son adecuados para valorar la sostenibilidad desde una perspectiva de ingeniería.

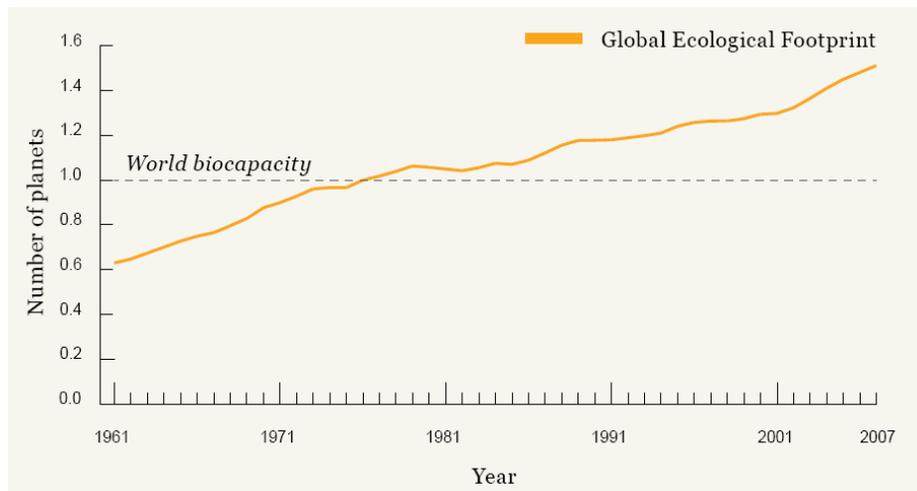
Mientras que la masa circula a través del sistema global y sus subcomponentes, la energía siempre fluye en un sentido. En los análisis de emergía, la unidad fundamental es el emJ, que es una unidad que representa la “energía almacenada” en Julios, contenida en un servicio o producto. La emergía no representa una cantidad de energía consumida, sino la calidad de esta.

Una vez establecidos los límites, se utilizan diagramas de flujo para seguir el movimiento de la emergía a través del sistema. La emergía que fluye hacia dentro o hacia fuera del sistema se puede medir con facilidad y de ese modo permite identificar pérdidas de la misma en los procesos energéticos. Existen equivalentes de EmJulios disponibles para una amplia variedad de bienes y servicios aunque los métodos de transformación para estas transformaciones han sido puestos en entredicho repetidamente [102].

3.3.7 Índice de huella ecológica

El índice de huella ecológica asume que la disponibilidad de los recursos naturales y los servicios que nos proporciona el ecosistema, como por ejemplo la capacidad de absorción de polución, son el límite final para el consumo humano [103]. El índice calcula la cantidad de energía utilizada o consumida por un sistema y la presenta como el área requerida por las plantas, organismos que almacenan la energía solar, para absorber los desperdicios generados.

Gráfica 3.1: Huella ecológica 1961-2100



Fuente: WWF⁴⁵

En el momento que utilizamos más de una Tierra, estamos sobreexplotando la biocapacidad del planeta a costa de la degradación irreparable del medio, disminuyendo la biocapacidad futura y creando un escenario insostenible para las

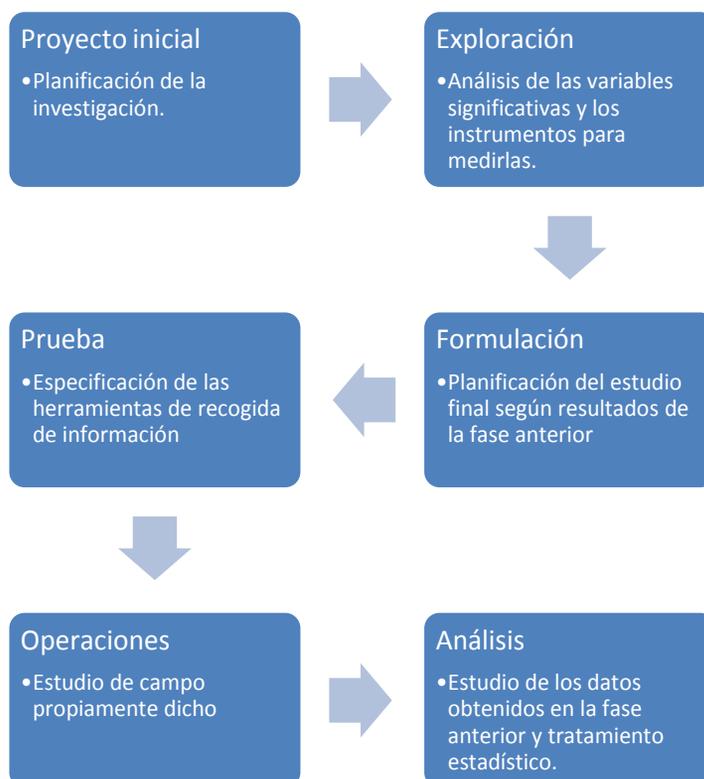
⁴⁵ World Wildlife Foundation, Fundación mundial para la vida salvaje. Fundada en 1961, es la mayor organización conservacionista independiente del mundo. Desde 1998 realiza los Informes del Planeta Vivo, donde muestra el estado del mundo y el impacto de la actividad humana en este.

siguientes generaciones. En los años 70 del siglo XX, como podemos observar en Gráfica 3.1, ya hemos rebasado el límite de biocapacidad de la tierra [104].

3.3.8 Método de investigación en las Ciencias Sociales

La investigación aplicada en las Ciencias Sociales pretende la creación de conocimiento acerca de una determinada realidad del sistema social en su totalidad o sobre alguno de sus componentes. Cualquiera que sea esta realidad, la investigación trata de buscar soluciones a algún problema previo implementando ciertos criterios metodológicos.

Figura 3.1: Etapas de la realización de un estudio de campo



Fuente: Elaboración propia a partir de Festinger y Katz

Cada estudio específico dicta sus propios procedimientos, por lo que las etapas descritas anteriormente no tienen por qué aplicarse por completo a todos los estudios de campo de manera exhaustiva. Según Festinger y Katz, es conveniente, no obstante, dividir la investigación en sus procesos principales, examinando la importancia de cada una de las fases [105].

3.3.8.1. TABLAS DE CONTINGENCIA. PRUEBA CHI-CUADRADO

Para realizar el análisis de la influencia de cada variable sobre el resto de las mismas, resulta apropiado plantear el procedimiento de tablas de contingencia. Éste se emplea para detectar la independencia o asociación en variables de tipo nominal u ordinal.

Las tablas de contingencia son tablas de doble entrada donde se representan las frecuencias absolutas obtenidas del cruce de valores en las distintas categorías de las dos variables sobre las que se desea estudiar su asociación o independencia.

Por su parte, el estadístico χ^2 se utiliza para realizar un contraste formal para la hipótesis nula de independencia entre las variables a través de la información muestral obtenida de la tabla de contingencia. Como hipótesis alternativa se plantea la existencia de asociación entre dichas variables. Este estadístico χ^2 se distribuye según una distribución chi-cuadrado con $(h-1)(k-1)$ grados de libertad siendo h y k el número de categorías de cada una de las dos variables analizadas.

Para realizar el contraste se tomará el p -valor ofrecido por el estadístico, de forma que si es inferior al nivel de significación seleccionado se rechaza la hipótesis nula de independencia y se admite la existencia de asociación entre las variables.

No obstante, aunque este procedimiento es útil como análisis preliminar, no establece el grado o intensidad de la relación entre las variables ni el signo de la misma. Por tanto, se emplea este contraste como herramienta meramente descriptiva para el análisis inicial de las variables. Para hallar la fuerza de la

relación y su sentido, se emplean posteriormente el coeficiente de correlación de Spearman y de Pearson.

3.3.8.2. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN Y DE PEARSON

En estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por si misma, ninguna relación de causalidad. Existen diversos coeficientes que miden el grado de correlación, adaptados a la naturaleza de los datos. El más conocido es el coeficiente de Pearson (ambas variables son cuantitativas) y de Spearman (alguna de las variables utilizada es cualitativa).

Concretamente, el coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

El cálculo del coeficiente de correlación lineal se realiza dividiendo la covarianza por el producto de las desviaciones estándar de ambas variables:

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X * \sigma_Y}$$

Siendo:

σ_{XY} y la covarianza de (X, Y).

σ_X y σ_Y las desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1, +1]:

- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica una independencia total entre las dos variables, es decir, que la variación

de una de ellas puede influir en el valor que pueda tomar la otra y, por tanto, puede haber relaciones no lineales entre las dos variables. Estas pueden calcularse con la razón de correlación.

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en idéntica proporción.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en idéntica proporción.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Spearman, ρ (rho), es una prueba no paramétrica que mide la asociación o interdependencia entre dos variables. Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ viene dado por la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde D es la diferencia entre los correspondientes rangos de x y N es el número de observaciones.

La interpretación de coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson. Oscila entre -1 y +1, indicándonos asociaciones negativas o positivas respectivamente, y cero significa no correlación pero no independencia.

Asimismo, se considera, como en la prueba chi-cuadrado, el nivel de significación del 5% para estos dos coeficientes.

3.4. Limitaciones de los índices

Como hemos visto, los métodos de agregación son la base principal de los índices de sostenibilidad disponibles. Estos métodos no pueden escalarse sin ambigüedad o pérdida de consistencia [19]. Esto provoca una mezcla de errores acumulados que causa que los índices se contradigan o que generen resultados anómalos. Las causas principales de estos problemas deben ser puestas de manifiesto para comprender los resultados generados por los índices y proporcionar una base sólida sobre la que interpretarlos y compararlos. Estas son:

3.4.1 Límites de los sistemas.

Aunque la mayoría de los datos utilizados para examinar la sostenibilidad se recoge de sistemas definidos políticamente, los límites políticos pueden ser irrelevantes o crear confusión para la investigación de la sostenibilidad. Los límites del ecosistema raramente coinciden con las limitaciones políticas ya que los ecosistemas están altamente conectados a través de patrones de circulación hidrológica y climática, así como dispersión de las especies y migración.

El flujo de personas, bienes de primera necesidad y la polución a través de los límites nacionales puede ser sustancial según Panayotou⁴⁶ [106]. Los índices que se calculan a escala nacional e ignoran estos flujos pueden subestimar el fenómeno de pérdidas. Sin embargo, los límites políticos son relevantes para la sostenibilidad tanto como puedan serlo las leyes políticas vigentes en cada momento.

⁴⁶ Teodoro Panayotou es el Director de Programa Medioambiental y de Desarrollo Sostenible en el Centro para el Desarrollo Internacional de Harvard. Su investigación se centró en la intersección entre crecimiento económico y sostenibilidad medioambiental.

3.4.2 Inclusión de datos.

Si un indicador se incluye en un índice de sostenibilidad, es porque se considera importante para la misma. Aquellos indicadores que se excluyen se consideran irrelevantes. Por tanto, la simple elección de la inclusión de un indicador u otro afecta al valor final del índice [22, 23]. Todos los índices son problemáticos si no están a disposición indicadores considerados relevantes [21]. Para índices calculados y comparados a lo largo del tiempo, la adición de nuevos indicadores con el paso del tiempo puede modificar el valor del índice sin que existan cambios reales en el sistema. La elección de indicadores con un alto nivel de correlación con métodos de agregación genera una falsa ponderación de un aspecto cubierto por ambos indicadores.

3.4.3 Normalización y métodos de ponderación.

Los indicadores de sostenibilidad incluyen una amplia variedad de datos, los cuales tienden a diferir en su rango de valores y unidades de medida. Es por tanto necesario estandarizar los valores para que el rango de variabilidad de los mismos en determinados métodos de agregación sea constante. Sin embargo, la normalización es un método de ponderación que asume que los indicadores han de tener unos rangos de variación concretos. Concretamente, aplicando un peso igual a cada indicador, se asume que todos afectan de manera igual a la sostenibilidad lo que es evidentemente erróneo [22]. Las alternativas para ponderar los indicadores son:

- Opiniones de expertos [107].
- Opiniones de personas que viven en el sistema [108, 109].
- Ponderaciones basadas en la teoría de elección social normativa [110].

3.4.4 Métodos de agregación.

Se pueden generar grandes diferencias en los resultados simplemente mediante la utilización de distintos métodos de agregación, incluso cuando dichos métodos se aplican al mismo conjunto de indicadores [111].

Para evitar estas diferencias, existe la posibilidad de aplicar un análisis de sensibilidad que proporcionará datos sobre la transparencia y veracidad del índice a los creadores de políticas. Los análisis de sensibilidad pueden identificar discrepancias entre los indicadores y entre sistemas comparados. Dependiendo del método de agregación y ponderación aplicado, algunos índices pueden ser muy sensibles a unos pocos indicadores con muy alta variabilidad [21]. En esta situación, un índice puede sugerir que un sistema es profundamente menos sostenible que otros, simplemente porque el sistema tiene peor resultado para uno o unos indicadores altamente variables [111].

3.4.5 Comparaciones entre índices.

Las revisiones de índices de sostenibilidad existentes han encontrado poca consistencia en cómo los índices miden la sostenibilidad de los países de más a menos sostenible [100]. Estas inconsistencias se producen parcialmente debido a los puntos de partida realizados respecto de los sistemas, ya que pueden forzar el índice a una desviación hacia dimensiones sociales, económicas o medioambientales [112].

Sin embargo, las disparidades raramente se reconocen por los creadores de políticas y por tanto los investigadores que utilizan estos índices deben tener en cuenta estos asuntos metodológicos de una manera más directa y explícita [21]. Además, los indicadores son más útiles si proporcionan información del estado del sistema con respecto a las metas políticas o a los límites biofísicos. Establecer metas puede ser un proceso difícil aunque factible [23].

3.5. Índices adecuados para la ponderación de las dimensiones de la sostenibilidad

En el siguiente apartado se enumeran índices que se pueden tener en cuenta en el ámbito de la sostenibilidad, primero se enumeran índices simples, y a continuación índices que puede ser compuesto por varios índices simples.

3.5.1 Producto Interior Bruto per cápita

El producto interior bruto, producto interno bruto (PIB) o producto bruto interno (PBI) es la principal magnitud existente que mide el valor monetario de la producción de bienes y servicios finales de un país durante un período de tiempo⁴⁷. El PIB es usado comúnmente por los economistas como una medida del bienestar material de una sociedad. Su cálculo se encuadra dentro de la contabilidad nacional. Para estimarlo, se emplean varios métodos complementarios; tras el pertinente ajuste de los resultados obtenidos en los mismos, al menos parcialmente resulta incluida en su cálculo la economía sumergida, que se compone de la actividad económica ilegal y de la llamada economía informal o irregular⁴⁸.

El PIB per cápita, también llamado renta per cápita o ingreso per cápita, es una magnitud que trata de medir la riqueza material disponible. Se calcula simplemente como el PIB total dividido entre el número de habitantes. La Figura 3.2 muestra a los países del mundo en términos de PIB per cápita.

⁴⁷ Normalmente un año.

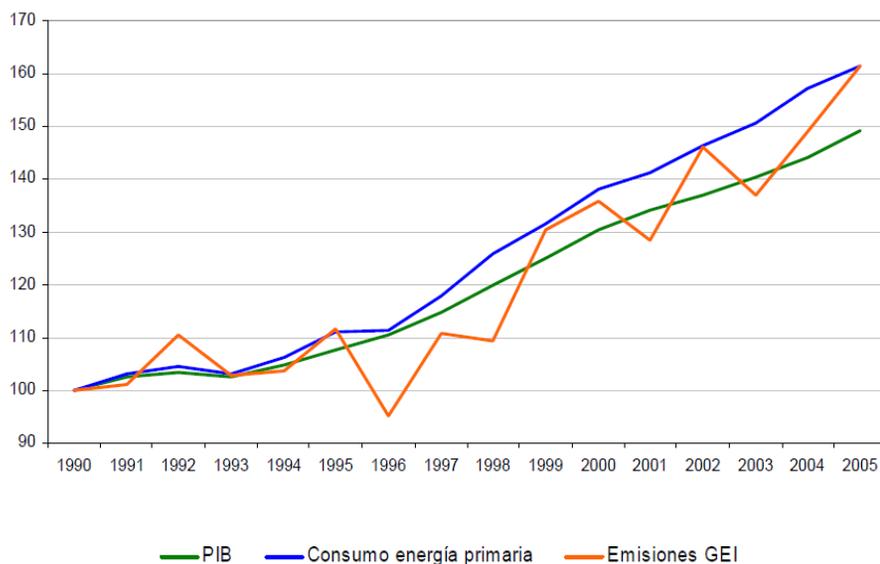
⁴⁸ Actividad económica intrínsecamente lícita aunque oculta para evitar el control administrativo.

3.5.1.1. RELACIÓN DEL PIB CON EL CONSUMO DE ENERGÍA

Existe una relación entre el bienestar y el consumo de energía [113].

El aumento de consumo de energía normalmente aumentaba el PIB, y en general el bienestar, pero si ese consumo de energía no es adecuado, se hace sin eficiencia, sin respecto por el medio ambiente se pierde competitividad y en definitiva bienestar, como se puede observar en la Gráfica 3.2, relacionado con el sector energético en España.

Gráfica 3.2: Ecoeficiencia (PIB, Eficiencia Energética y GEI) en el sector energético



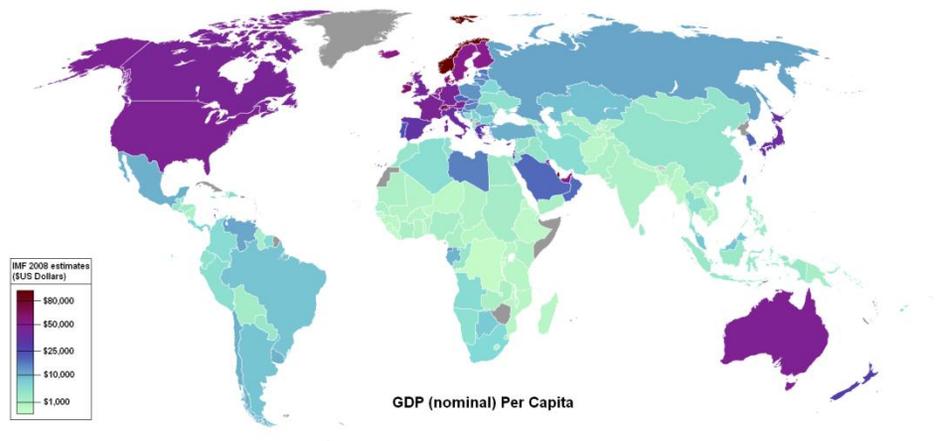
Fuente: Banco de Público de Indicadores de Medioambiente de MMA⁴⁹

⁴⁹ Ministerio de Medio Ambiente de España.

3.5.1.2. EL PIB COMO MEDIDA CONTROVERTIDA DE BIENESTAR

El uso del PIB per cápita como medida de bienestar es generalizado y adecuado [114], aunque según algunos autores erróneo [115, 18]. Estas cifras deben ser observadas con cuidado al menos, debido a las siguientes causas: no tiene en cuenta la depreciación del capital, no tiene en cuenta externalidades negativas de algunas actividades productivas, no tiene en cuenta la distribución del ingreso, no tiene en cuenta actividades productivas que afectan al bienestar pero que no genera transacciones o que lo afecten negativamente e ignora el endeudamiento externo. Algunos autores proponen un indicador PIB modificado teniendo en cuenta los condicionantes anteriores [116, 110].

Figura 3.2: Mapa de países por PIB per cápita 2008 (nominal)



Fuente: FMI⁵⁰ (Abril 2008)

⁵⁰ Fondo Monetario Internacional

3.5.2 Esperanza de vida al nacer

La esperanza de vida es el número medio de años de vida de un recién nacido según los patrones de mortalidad actuales. Es un indicador del Banco Mundial de Desarrollo. La estadística por continentes arroja enormes diferencias como puede observarse en la Tabla 3.7.

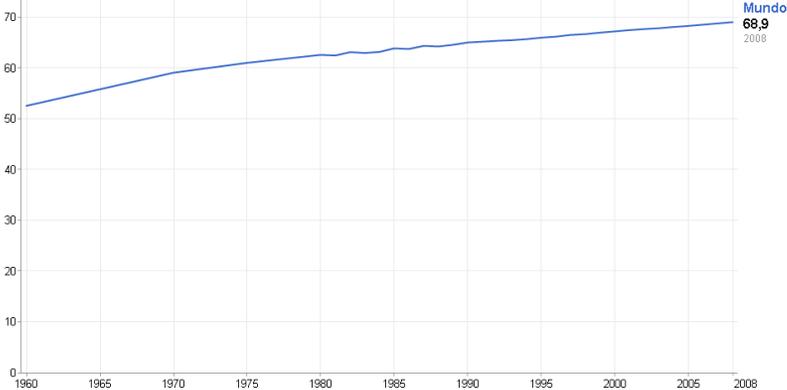
Pese a las enormes desigualdades mundiales [117], la esperanza de vida mundial ha mejorado constantemente desde la II Guerra mundial hasta ahora lo cual demuestra una mejora en las condiciones de vida de la humanidad como conjunto, tal y como podemos ver en la Gráfica 3.3 aunque existen grandes desigualdades, como muestra la Figura 3.3.

Tabla 3.7: Esperanza de vida al nacer por continentes

2000 - 2005	años de vida
América del Norte	77,6
Oceanía	74,0
Europa	78,4
América Latina	71,5
Asia	67,3
África	49,1

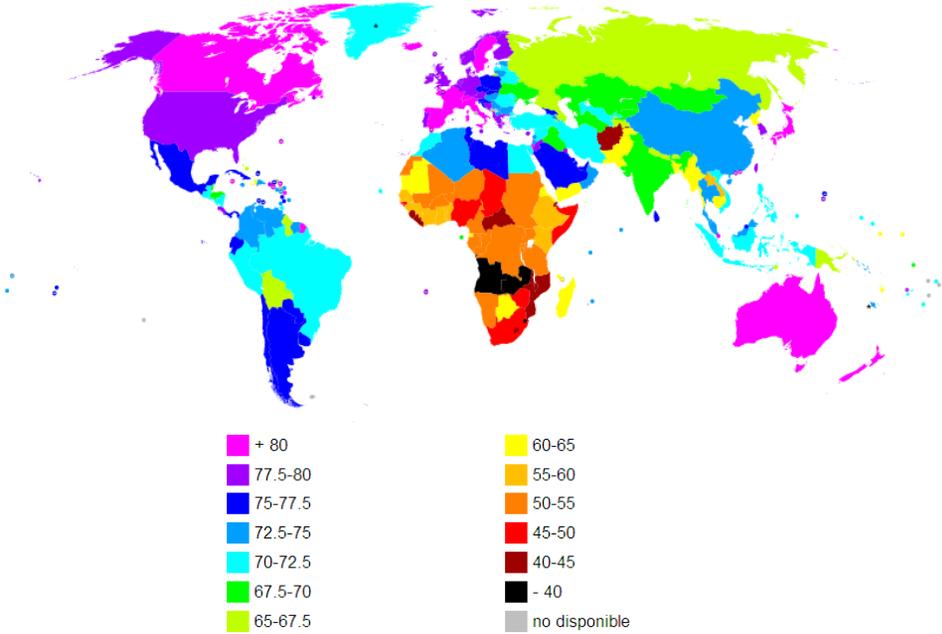
Fuente: Worldlife expectancy

Gráfica 3.3: Evolución de la esperanza de vida 1960-2008



Fuente: Banco Mundial

Figura 3.3: Mapa Mundial de la esperanza de vida en años

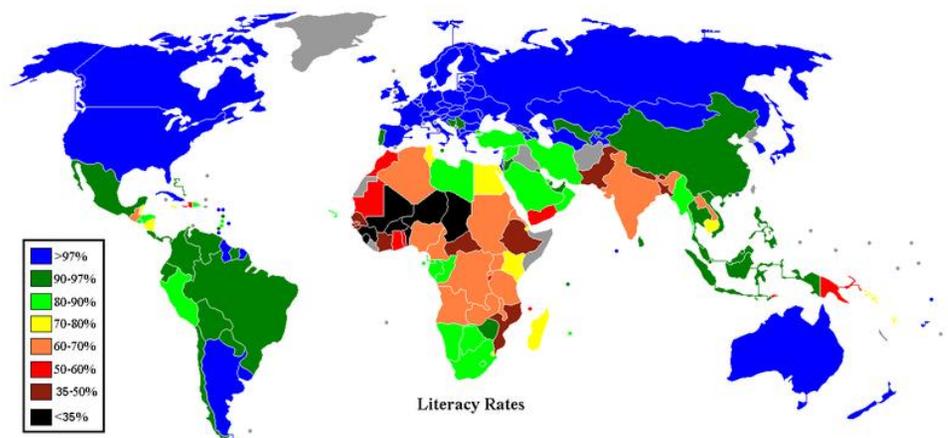


Fuente: CIA World Factbook 2008

3.5.3 Alfabetización y educación

El índice o tasa de alfabetización es el porcentaje de la población que sabe leer o escribir después de determinada edad. No existe una convención internacional acerca de la edad a tomar en cuenta ni el nivel cualitativo de lectura o escritura. La Figura 3.4 muestra el porcentaje de educación por países.

Figura 3.4: Mapa Mundial que muestra el índice de alfabetización

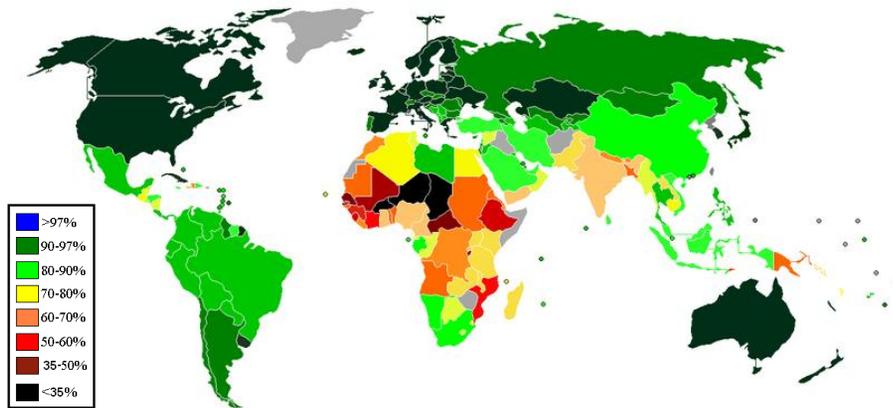


Fuente: UN Human Development Report 2007/2008

El índice de alfabetización es una medida engañosa del criterio de los habitantes de un país basado en sus conocimientos, sin embargo es una buena medida de subdesarrollo.

La educación medida según el índice de educación, incluye los niveles de educación primaria, secundaria y terciaria y sí que nos proporciona una imagen de cómo de crítica será la opinión pública de un país respecto de asuntos más complicados y cómo de compleja y evolucionada será la sociedad. La Figura 3.5 muestra sus valores porcentuales por países.

Figura 3.5: Mapa Mundial que muestra el índice de educación



Fuente: UN Human Development Report 2007/2008

3.5.4 Índice de Desempeño Medioambiental

El Índice de Desempeño Ambiental o EPI⁵¹ es un método para cuantificar y clasificar numéricamente el desempeño ambiental de las políticas de un país. El EPI fue precedido por el Índice de Sostenibilidad Ambiental o ESI⁵², publicado entre 1999 y 2005.

Ambos indicadores fueron desarrollados por el Centro de Política y Ley Ambiental de la Universidad de Yale, en conjunto con la Red de Información del

⁵¹ EPI: Environmental Performance Index

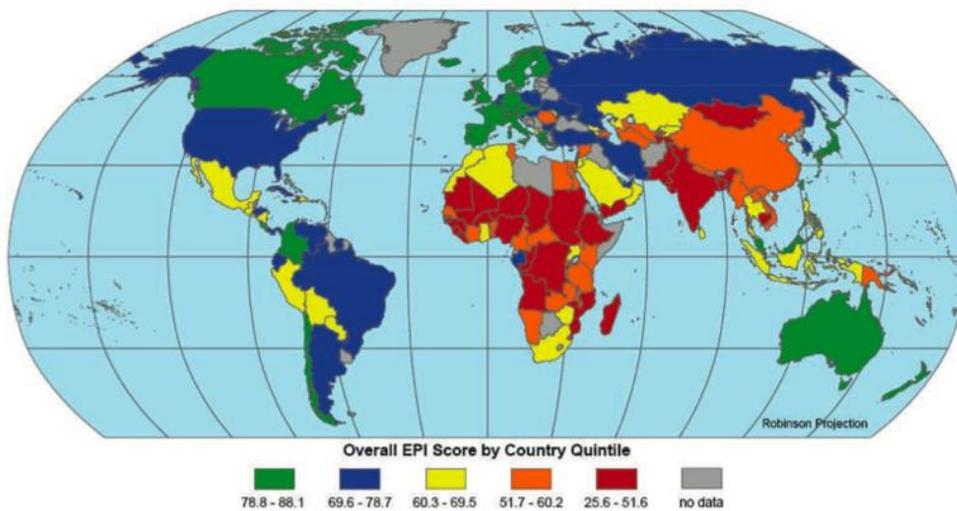
⁵² ESI: Environmental Sustainability

Centro Internacional de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Columbia. El ESI fue desarrollado para evaluar la sostenibilidad relativa entre países.

Debido a cambios en el enfoque del equipo de investigación que desarrolló el ESI, el nuevo índice EPI utiliza indicadores orientados hacia resultados, por lo que sirve como índice de comparación, permitiendo así un mejor entendimiento por parte de políticos, científicos, defensores del ambiente y el público en general.

Hasta enero de 2010 han sido publicados tres informes, el Índice de Desempeño Ambiental Piloto de 2006, el Índice de Desempeño Ambiental de 2008, y el Índice de Desempeño Ambiental de 2010. La figura siguiente muestra los valores del índice de desempeño ambiental en valor porcentual de los distintos países del mundo.

Figura 3.6: Mapa Mundial del Índice de Desempeño Ambiental 2006

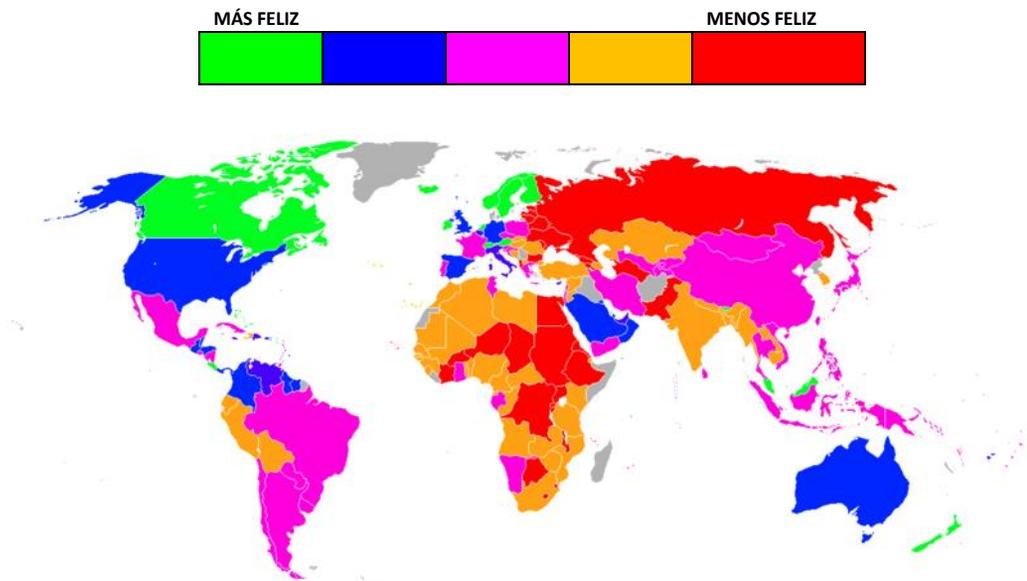


Fuente: Universidad de Yale

3.5.5 Índice de Satisfacción con la Vida

El Índice de Satisfacción con la Vida fue creado por Adrian G. White, un psicólogo social de la Universidad de Leicester, utilizando los datos de un meta-estudio. Es un intento de mostrar la satisfacción de vida o satisfacción con la vida subjetiva en diferentes naciones, como muestra la Figura 3.7. En este cálculo, el bienestar subjetivo se correlaciona más fuertemente con la salud (0,7), la riqueza (0,6), y el acceso a la educación básica (0,6).

Figura 3.7: Mapa Mundial del Índice de la Satisfacción de la Vida



Fuente: Leicester University

3.5.6 Índice de Calidad de Vida

El Índice de calidad de vida, creado por Economist Intelligence Unit, se basa en una metodología única que vincula los resultados de encuestas subjetivas de satisfacción con la vida con los factores objetivos determinantes de calidad de vida entre los países. El índice se calculó en el 2005 e incluye datos de 111 países y territorios, que se muestran en la Figura 3.8.

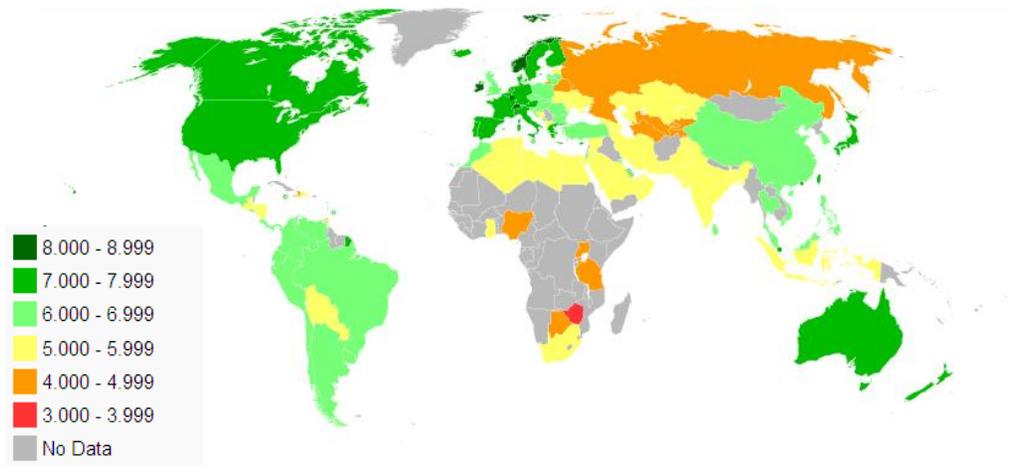
Utiliza nueve factores de calidad de vida para determinar la puntuación de un país. Se enumeran a continuación, incluidos los indicadores utilizados para representar a los siguientes factores:

1. **Salud:** La esperanza de vida al nacer (en años). Fuente: Oficina del Censo de EE.UU.
2. **La vida familiar:** Tasa de divorcio (por 1.000 habitantes), convertida en índice de 1 (menor tasa de divorcios) a 5 (más alta). Fuentes: Naciones Unidas; Euromonitor.
3. **La vida comunitaria:** Variable que toma el valor 1 si el país tiene ya sea alta tasa de asistencia a la iglesia o pertenencia a sindicatos; cero en caso contrario. Fuente: Encuesta mundial de valores
4. **Bienestar material:** el PIB por persona, en PPA⁵³. Fuente: Economist Intelligence Unit.
5. **La estabilidad política y seguridad:** La estabilidad política y clasificaciones de seguridad. Fuente: Economist Intelligence Unit.
6. **El clima y la geografía:** Latitud, para distinguir entre los climas más cálidos y más fríos. Fuente: CIA World Factbook.

⁵³ PPA Paridad de Poder Adquisitivo. En Inglés PPP Purchasing Power Parity

7. **La seguridad del empleo:** Tasa de desempleo (%.) Fuente: Economist Intelligence Unit.
8. **La libertad política:** Promedio de índices de las libertades políticas y civiles. Escala de 1 (totalmente libre) a 7 (no libre). Fuente: Freedom House.
9. **La igualdad de género:** Medición efectuada utilizando proporción de la media en los ingresos masculinos y femeninos. Fuente: Informe sobre Desarrollo Humano del PNUD.

Figura 3.8: Mapa Mundial que muestra el índice de calidad de vida



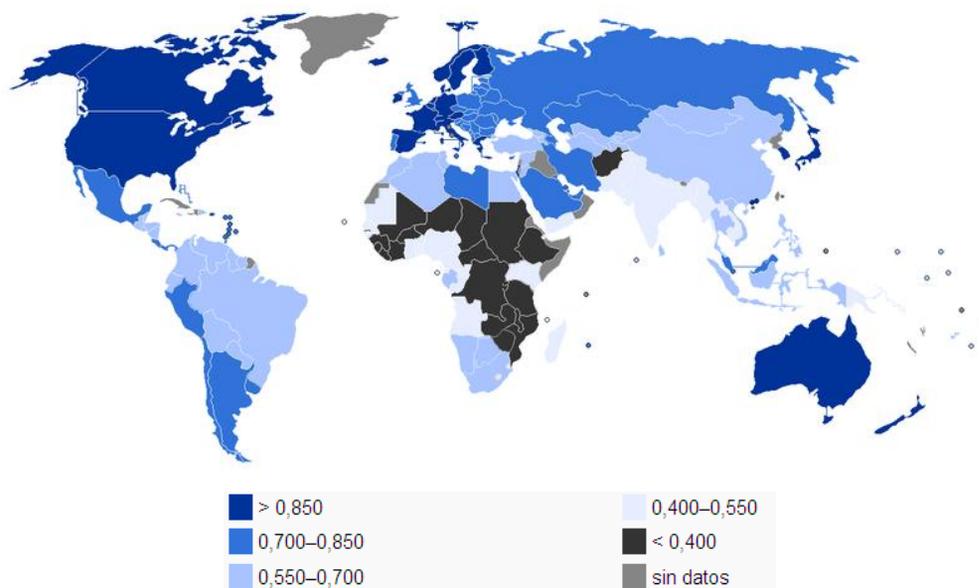
Fuente: Economist Intelligence Unit

3.5.7 Índice de Desarrollo Humano

El índice de desarrollo humano (IDH) es un indicador del desarrollo humano por país, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se basa en un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros [118]:

- Vida larga y saludable: medida según la esperanza de vida al nacer.
- Educación: medida por la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta combinada de matriculación en educación primaria, secundaria y superior, así como los años de duración de la educación obligatoria.
- Nivel de vida digno: medido por el PIB per cápita PPA en dólares internacionales.

Figura 3.9: Mapa Mundial que muestra el Índice de Desarrollo Humano.



Fuente: PNUD

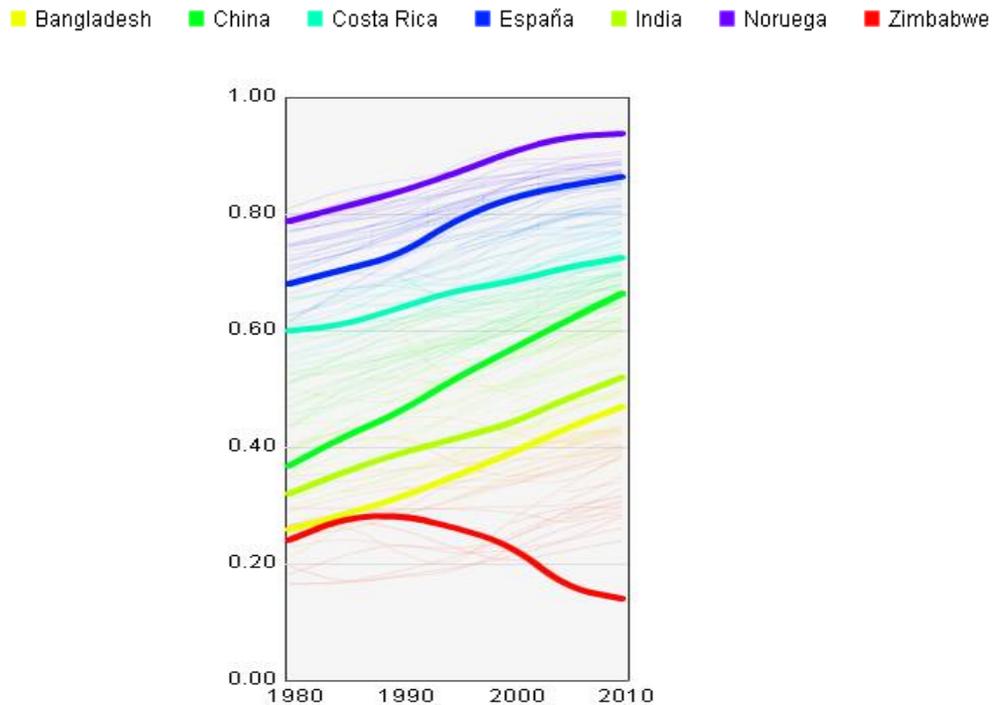
Como podemos observar en Figura 3.9 se identifican las diferencias norte sur, exceptuando Australia y Nueva Zelanda, países emergentes, y el gran continente pendiente de atención que es África.

En el ranking de 2010, el país con mejor IDH, es Noruega, ocupando el 1 lugar, en el 4 lugar se encuentra EEUU, y en último lugar [169] se encuentra

Zimbabwe, que en contra del resto de la humanidad va empeorando su situación como podemos observar en Gráfica 3.4.

Costa Rica es uno de los países que con menos ingresos consigue una mejor posición general. Hay que destacar el avance de los países emergentes y sus alrededores, como puede ser China, India y Bangladesh en menor medida. En el caso de España la posición 20 nos sitúa en una buena posición, pero con posibilidad de mejora.

Gráfica 3.4: Tendencias mundiales entre 1980-2010 del IDH



Fuente: Elaboración propia a partir de PNUD

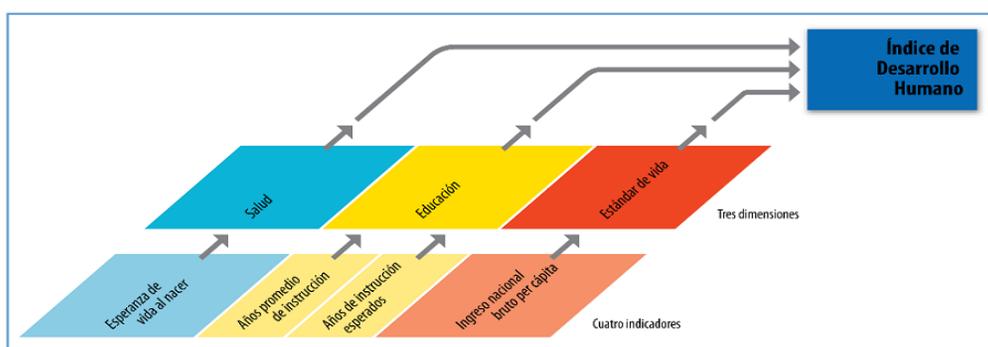
3.5.7.1. CÁLCULO DEL IDH

El Índice de Desarrollo Humano IDH, se construye a partir de tres índices como muestra la Figura 3.10.

$$\text{IDH} = \frac{1}{3}(\text{IEV}) + \frac{1}{3}(\text{IE}) + \frac{1}{3}(\text{IPIB})^{54}$$

$$\text{IE} = \frac{2}{3}(\text{IA}) + \frac{1}{3}(\text{IM})^{55}$$

Figura 3.10: Componentes del Índice de Desarrollo Humano



Fuente: PNUD

Si comparamos los países anteriores por sus subíndices, como muestra la Gráfica 3.5, podemos observar como en educación en estas últimas décadas, todos los países han tenido una evolución positiva. En salud Bangladesh ha mejorado a un ritmo tal que ha superado incluso a India, aunque no en ingresos.

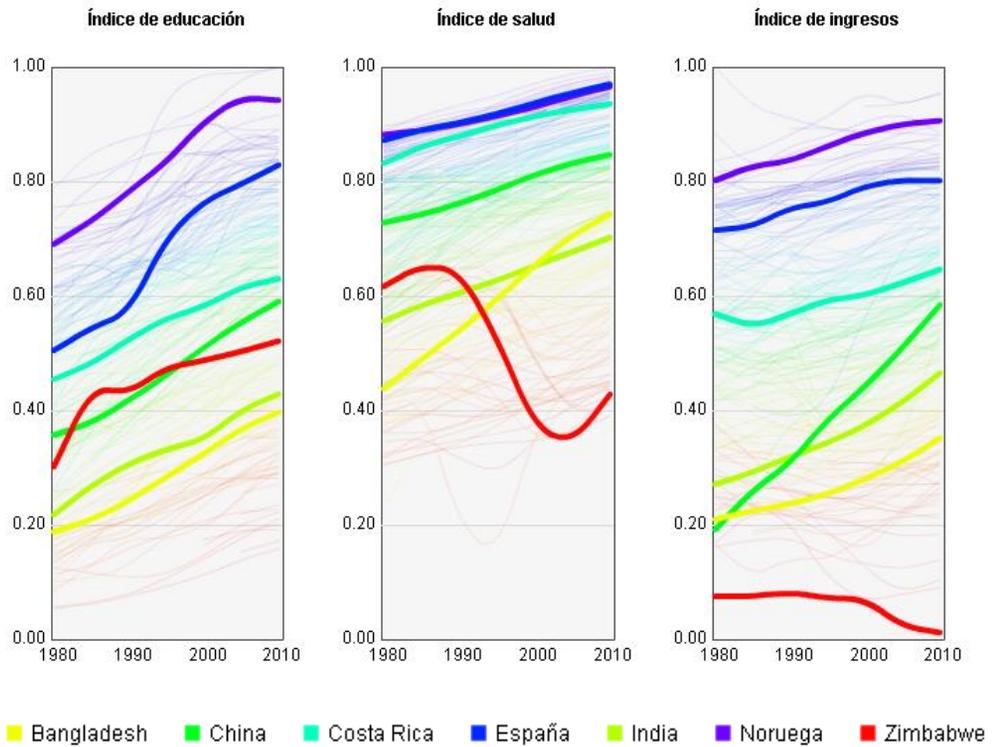
Zimbabwe ha tenido un gran revés en la salud pero parece que en los últimos años la tendencia se está invirtiendo. La posibilidad de visualizar las

⁵⁴ IEV: Índice de esperanza de vida, también denominado Índice de salud. IPIB: Índice del PIB, también denominado estándar de vida o Índice de Ingresos. IE: Índice de educación.

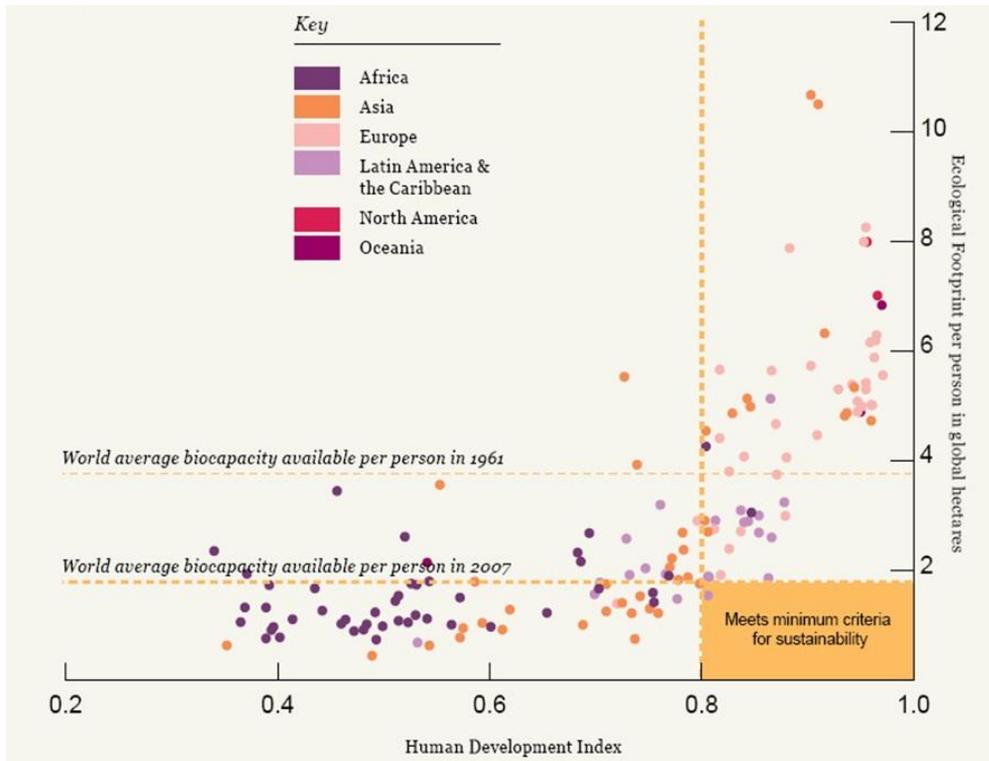
⁵⁵ El índice de educación está compuesto a su vez por dos índices: el Índice de alfabetización adulta (IA), y el Índice bruto de matriculación (IM).

subdimensiones o subíndices del IDH permite crear medidas cuya eficacia sea mejor dependiendo del ámbito particular con el objetivo de una mejora general.

Gráfica 3.5: Subíndices mundiales de IDH entre 1980-2010



Fuente: Elaboración propia a partir de PNUD

Gráfica 3.6: Correlación de IDH y huella ecológica.**Fuente: WWF**

En la Gráfica 3.6 se puede observar como los países con mayor Índice de Desarrollo Humano lo obtienen a costa de los recursos de las generaciones futuras siendo este desarrollo insostenible. Según WWF [104] sólo un país latinoamericano cumple los criterios mínimos de sostenibilidad.

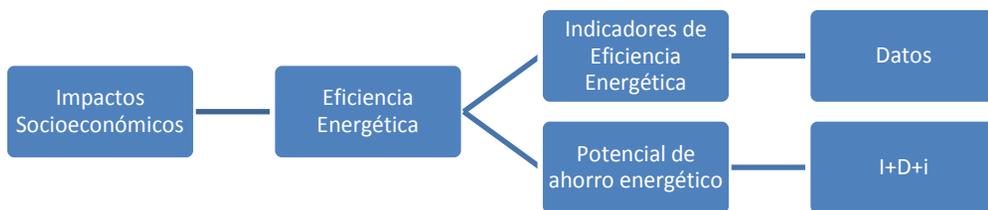
3.6. Metodología para el análisis de la sostenibilidad en la UE

Una de las prioridades principales de la UE en este asunto es el establecimiento de una colección de datos normalizados en los estados miembros. La UE ha financiado gran cantidad de encuestas y acciones específicas de mejora de datos en esta dirección durante los últimos años.

En particular, el procedimiento se basa en información y datos seleccionados de organizaciones internacionales, contribuciones de expertos y resultados de las acciones llevadas a cabo por la UE que tienen en cuenta el carácter multidimensional de la eficiencia energética de uso final y sus externalidades como se muestra en Figura 3.11.

El procedimiento se estructura en cuatro pasos [10], tal y como se describe a continuación.

Figura 3.11: Carácter multidimensional de la eficiencia energética



Fuente: Elaboración propia a partir de Doukas

3.6.1 Formulación de las categorías de referencia

Se ha de realizar una breve categorización de los datos que permitan promover las opciones más prometedoras desde el punto de vista de la sostenibilidad y la eficiencia energética. Dicho análisis ha de medir cuidadosamente el impacto sobre otras externalidades como el cambio climático o los impactos socio-económicos. Los indicadores que deben de ser tenidos en cuenta se dividen en las siguientes categorías:

- Rendimiento.
- Potencial.
- Dimensión Socio-económica
- Gastos en I+D.
- Datos de los parámetros del sistema.

3.6.2 Revisión de métodos

Se estudian los métodos disponibles para procesar y acumular indicadores de relevancia. Esto puede llevarse a cabo a partir de datos de instituciones internacionales, literatura, bases de datos estadísticas o colecciones de datos recopiladas para el análisis en cuestión.

3.6.3 Definiciones y comparaciones

Se analiza la relevancia de los datos disponibles y la idoneidad de su inclusión en el análisis. Este paso se lleva a cabo por expertos en tecnología y socio-economistas que conozcan el estado del arte en referencia al objeto del análisis a realizar. La discusión de porqué han de ser tenidos en cuenta unos valores y no

otros es crítica para el resultado final del análisis y ha de ser plausible y bien fundamentada.

3.6.4 Presentación y discusión de los resultados

Los datos de la aplicación del método elegido han de ser presentados desde una perspectiva que permita la toma fluida de decisiones, así como la aplicabilidad de las distintas posibilidades existentes en función de los resultados obtenidos.

3.7. Representación de datos: eficiencia, cambio climático y sostenibilidad

A continuación analizamos las representaciones gráficas más utilizados en los campos de eficiencia, cambio climático y sostenibilidad.

3.7.1 Etiquetas energéticas

En 1992 apareció la primera normativa en Europa sobre etiquetado energético [83] cuyo objetivo era permitir la armonización de las medidas nacionales a través del etiquetado de datos sobre el consumo de energía y de otros recursos esenciales, así como de datos complementarios relativos a aparatos eléctricos, de manera que los consumidores puedan elegir aparatos que tengan un mejor rendimiento energético, convirtiéndose así el etiquetado energético en una herramienta para la toma de decisiones a nivel micro desde un punto de eficiencia energética.

En ese momento los aparatos elegidos eran: frigoríficos, lavadoras, lavavajillas, fuentes de luz, hornos, calentadores de agua, aparatos de aire acondicionado, etc.

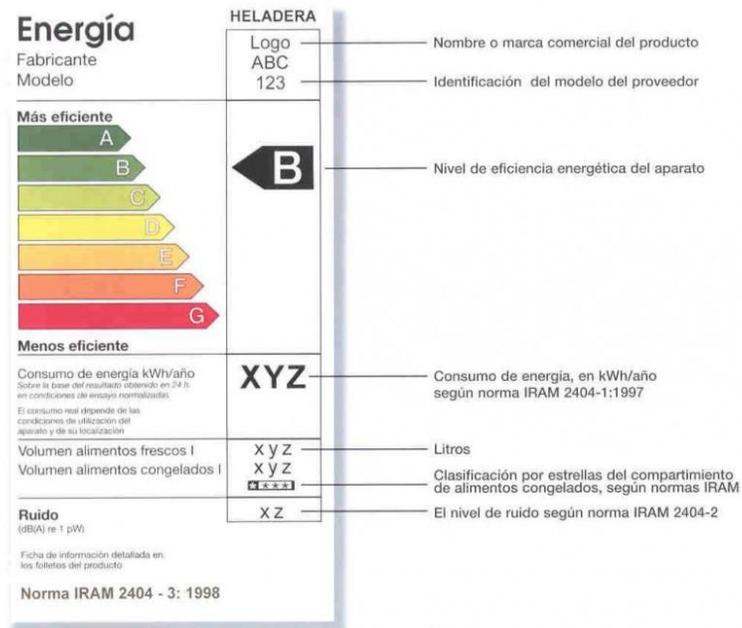
La UE, mediante la Directiva 1994, Directiva 94/2/CE de la Comisión, de 21 de enero, por la que se establecen las disposiciones de aplicación de la Directiva 92/75/CE del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos [119], describe las especificaciones de dicho etiquetado.

En el Anexo I de dicha directiva se especifican siete clases de eficiencia, las cuales se categorizan por medio de letras y colores, asignándose el color verde y la clase A a los equipos más eficientes, el punto de óptima eficiencia, y el color rojo y la clase G, a los equipos menos eficientes. En la actualidad estos últimos pueden llegar a consumir el triple de energía que los equipos de clase A. La Figura 3.12 muestra la disposición típica [119].

El código de color se establece mediante el estándar CMYK⁵⁶. Todo el texto ha de escribirse en negro. El fondo de la etiqueta se mantiene en blanco. La codificación CMYK se puede traducir al sistema RGB (Red Green Blue), cuyos valores van desde el 0 para el 0% al 255 para el 100%. Como se ha realizado en la Tabla 3.8 [120].

⁵⁶ Cyan, Magenta, Yellow (amarillo), black (negro).

Figura 3.12: Etiquetado tipo eficiencia energética de electrodomésticos de la UE



Fuente: CE

Tabla 3.8: Codificación de colores del etiquetado energético en CMYK Y RGB

	A	B	C	D	E	F	G	Contorno
CMYK⁵⁷	X0X0	70X0	30X0	00X0	03X0	07X0	0XX0	X070
R	0	77	178	255	255	255	255	0
G	255	255	255	255	178	77	0	255
B	0	0	0	0	0	0	0	77

Fuente: Elaboración propia a partir de CE

⁵⁷ 07X0 significa: 0% cian, 70% magenta, 100% amarillo y 0% negro.

En el Anexo II de dicho documento se indica que además en el caso de que los datos se presenten en un cuadro y que algunos de los aparatos recogidos en éste hayan obtenido una etiqueta ecológica comunitaria, de acuerdo con el Reglamento (CEE) nº 880/92, esta información podrá hacerse constar en este epígrafe. Con el título de “Etiqueta ecológica comunitaria” e incluirá una representación de la etiqueta ecológica (flor). En el Anexo V, de la Directiva 94/2/CE [119], se indica cómo se identifica la clase energética tal y como muestra la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Clases de eficiencia energética

A	Índice menor del 55%
B	Índice entre el 55% y el 75%
C	Índice entre el 75% y el 90%
D	Índice entre 90% y el 100%
E	Índice entre 100% y el 110%
F	Índice entre el 110% y el 125%
G	Índice más del 125% del estándar

Fuente: Elaboración propia a partir del CE

El valor del Índice de Eficiencia Energética de cada aparato se calcula según la siguiente ecuación:

$$IEE = \frac{\text{Consumo de energía del aparato}}{\text{Consumo de energía normalizado}} \times 100 (\%)$$

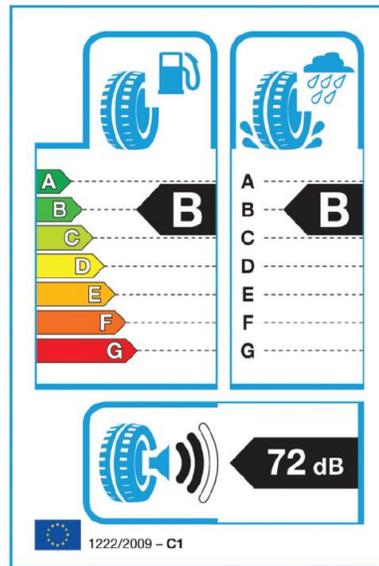
Esta clasificación depende de las características de cada elemento, en relación con las características de eficiencia existentes en el mercado. Los datos de la etiqueta energética se basan en ensayos determinados por las normas internacionales, estableciendo una comparación entre los diferentes equipos, el consumo de energía y las capacidades de cada producto.

En 2009, se regulariza a través del Reglamento de Consejo Europeo sobre etiquetado de Neumáticos, y entre sus objetivo está el ahorro energético, que ya incluían en la Comunicación de la Comisión de 19 de octubre de 2006 titulada

«Plan de acción para la eficiencia energética: realizar el potencial», subrayaba la posibilidad de reducir el consumo total de energía en un 20 % para el año 2020 mediante una lista de acciones concretas, entre ellas el etiquetado de los neumáticos.

Por otro lado la Comisión de 7 de febrero de 2007 titulada «Resultados de la revisión de la estrategia comunitaria para reducir las emisiones de CO₂ de los turismos y los vehículos industriales ligeros» destacó la posibilidad de reducir las emisiones de CO₂ mediante medidas complementarias para los componentes de los automóviles con mayor impacto en el consumo de combustible, como los neumáticos y hace además referencia a requisitos mínimas legales que tiene que cumplir con respecto a adherencia en superficie mojada y ruido.

No queda ninguna duda para los políticos europeos sobre la importancia y la difusión del etiquetado energético para la toma de decisiones del consumidor y a pequeña escala: La etiqueta energética que clasifica los aparatos domésticos en una escala de la «A» a la «G» en virtud de la Directiva 92/75/CEE del Consejo, de 22 de septiembre de 1992, relativa a la indicación del consumo de energía y de otros recursos de los aparatos domésticos por medio del etiquetado y de una información uniforme sobre los productos es sobradamente conocida por los consumidores y ha tenido éxito en cuanto al fomento de aparatos más eficientes. Debe por lo tanto utilizarse ese mismo formato para el etiquetado de la eficiencia en términos de consumo de carburante de los neumáticos [121].

Figura 3.13: Etiquetado tipo de eficiencia energética de neumáticos de la UE

Fuente: CE

Como podemos ver en la etiqueta energética para neumáticos Figura 3.13, se mantienen los 7 grados de eficiencia energética, y se añaden valores que para este determinado producto son importantes, incluso esenciales normativamente [121]. También existen otras etiquetas energéticas mixtas como la que muestra la Figura 3.14, que califican el grado de eficiencia energética en edificación añadiendo el vector de emisiones de CO₂.

Figura 3.14: Etiquetado tipo de eficiencia energética en edificios de la UE



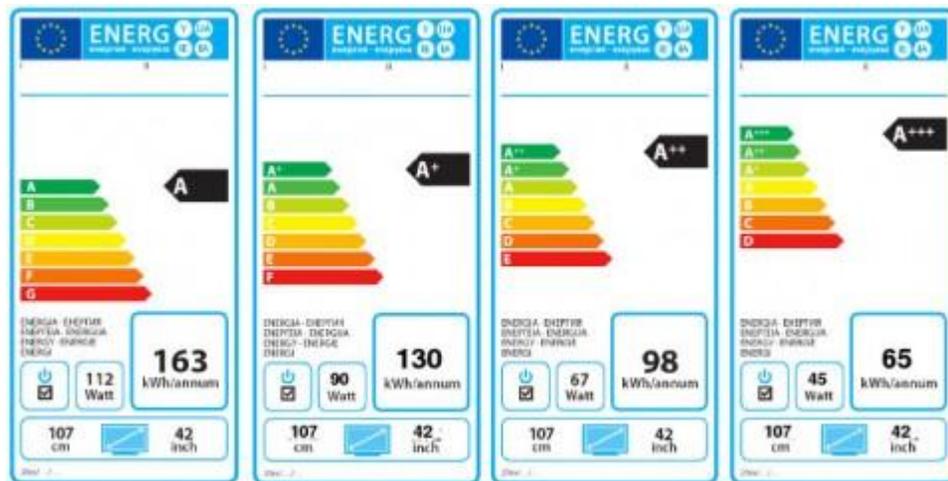
Fuente: Basado en RD 47/2007

Respecto de la Figura 3.14 [122], el etiquetado energético alemán Plus energie Haus, da un paso más allá respecto de la normativa europea y se aplica a viviendas que generan un excedente de energía respecto a su consumo energético [123].

Ha surgido en los últimos tiempos una directiva europea, 2010/30/UE del parlamento europeo y del consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada, que extiende la normativa de la anterior directiva a otros ámbitos distintos de los electrodomésticos y proporciona una información más específica y da cabida a niveles superiores de eficiencia no cubiertos anteriormente.

Esto implica que se podrán añadir a la clasificación otras tres clases adicionales cuando los avances tecnológicos así lo exijan. Estas clases adicionales se denominarán A+, A++ y A+++, siendo esta última la clase más eficiente [124]. El número total de clases no será superior a siete, a menos que haya elementos para más clases. La Figura 3.15 ilustra como incluir el nivel de eficiencia A+++ respetando los códigos de color de la Tabla 3.9.

Figura 3.15: Etiquetado energético para televisores A, A+, A++ y A+++

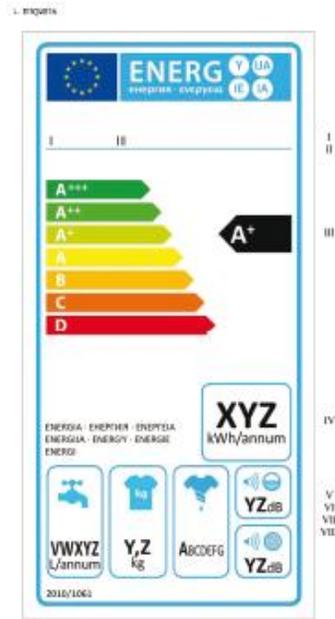


Fuente: DOUE⁵⁸

⁵⁸ DOUE Diario Oficial de la Unión Europea

Para los nuevos televisores que introducidos en el mercado, Etiqueta A, para 2011, A+ en 2014, A++en 2017, A+++ se estima para 2020.

Figura 3.16: Etiquetado energético de lavadoras



Fuente: DOUE

La Figura 3.16 muestra cómo se diseñaría la etiqueta para el caso de lavadoras [125]. Existen etiquetas similares para lavavajillas así como actualizaciones de las etiquetas anteriormente vistas⁵⁹.

⁵⁹ Refrigeradores y lavavajillas domésticos

<http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2010:314:SOM:ES:HTML>

3.7.2 Huella de carbono

La huella de carbono es un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana – país, región o ciudad - sobre su entorno, considerando tanto los recursos necesarios como los residuos generados para el mantenimiento del modelo de producción y consumo de la comunidad.

La huella ecológica se expresa como la superficie necesaria para producir los recursos consumidos por un ciudadano medio de una determinada comunidad humana, así como la necesaria para absorber los residuos que genera, independientemente de la localización de estas áreas. Este indicador es definido como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistema acuático) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida específico indefinidamente, donde quiera que se encuentre esta área.

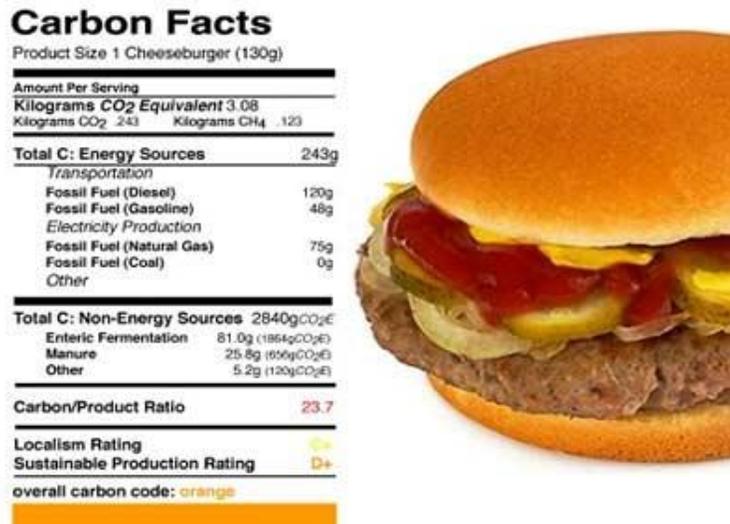
La filosofía del cálculo de la huella ecológica tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Para producir cualquier producto, independientemente del tipo de tecnología utilizada, necesitamos un flujo de materiales y energía, producidos en última instancia por sistemas ecológicos.
- Necesitamos sistemas ecológicos para reabsorber los residuos generados durante el proceso de producción y el uso de los productos finales.
- Ocupamos espacio con infraestructuras, viviendas equipamientos, etc. reduciendo, así las superficie de ecosistemas productivos.

Aunque este indicador integra múltiples impactos como podemos observar en la Figura 3.17 [126], hay que tener en cuenta entre otros, los siguientes aspectos que subestiman el impacto ambiental real:

- No quedan contabilizados algunos impactos como la contaminación del suelo, la contaminación del agua, la erosión, la contaminación atmosférica⁶⁰, etc.
- Se asume que las prácticas en los sectores agrícola, ganadero y forestal es sostenible, esto es, que la productividad del suelo no disminuye con el tiempo. Obviamente, con el tiempo, la productividad disminuye, a causa, entre otras, de la erosión, contaminación, etc.

Figura 3.17: Etiquetado Huella de Carbono.



Fuente: Anónimo

⁶⁰ A excepción del CO₂

Tabla 3.10: Tipología de actividades vinculadas a la huella ecológica

Actividades	Superficies
Alimentación	Superficies necesarias para la producción de alimentación vegetal o animal, incluyendo los costes energéticos asociados a su producción.
Vivienda y servicios	Superficies demandadas por el sector doméstico y servicios, sea en forma de energía o terrenos ocupados.
Movilidad y Transportes	Superficies asociadas al consumo energético y terrenos ocupados por infraestructuras de comunicación y transporte.
Bienes de consumo	Superficies necesarias para la producción de bienes de consumo, sea en forma de energía y materias primas para su producción, o bien terrenos directamente ocupados para la actividad industrial.

Fuente: A partir de Gobierno de Cantabria

Un elemento complementario es el análisis del conjunto de actividades humanas y las demandas de superficie (huellas ecológicas) asociadas a cada una de ellas. Para ello se pueden establecer las categorías generales de la Tabla 3.10 [127]. La consideración de estas categorías de actividades nos permite analizar la huella ecológica a partir de los sectores demandantes de superficies, pudiendo evaluar así en qué ámbitos puede ser más prioritario incidir.

A pesar de que la huella ecológica es un indicador que pueda subestimar el impacto real de la actividad humana sobre el entorno, hay que destacar entre sus principales potencialidades:

- **Visualización de la dependencia ecológica:** El progresivo proceso de concentración de la población en sistemas urbanos y globalización de los flujos de materiales y energía dificulta de forma creciente la vinculación por parte de la población del consumo de bienes y energía con el impacto que tienen sobre el medio. La huella ecológica permite definir y visualizar la dependencia de las sociedades humanas respecto al funcionamiento de los ecosistemas del planeta a partir de superficies apropiadas para satisfacer un determinado nivel de consumo. Permite así establecer el área real productiva de la que se está apropiando ecológicamente una determinada comunidad humana,

independientemente de que se encuentre más allá de su territorio, distinguiendo así mismo entre las diferentes funciones ecológicas que ejercen los ecosistemas.

- **Agregación y simplificación:** Agrupa en un solo número, como muestra la Figura 3.18, la intensidad del impacto que una determinada comunidad humana ejerce sobre los ecosistemas, tanto por el consumo de recursos como por la generación de residuos.

Figura 3.18: Etiquetado con Huella de Carbono para patatas



Fuente: TESCO⁶¹

- **Visualización de la desigualdad social:** La posibilidad de realizar el cálculo para diferentes comunidades humanas o sectores de una misma sociedad con estilos de vida diferenciados permite la visualización de inequidad en la apropiación de los ecosistemas del planeta.
- **Monitorización del consumo de recursos:** Pese a sus limitaciones, la huella ecológica permite hacer un seguimiento del impacto de una comunidad humana asociado al consumo de recursos – entradas del sistema – mediante la actualización del indicador a lo largo de los años.

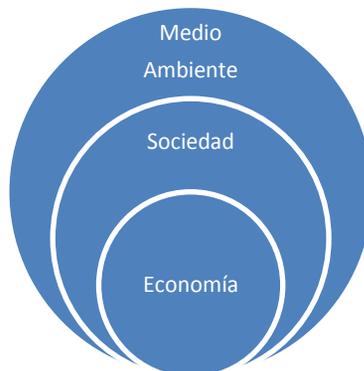
⁶¹ Cadena de Hipermercado Británica

3.7.3 Sostenibilidad

El diagrama de sostenibilidad más conocido y extendido se basa en las representaciones de Venn, comúnmente utilizados para ilustrar resultados de la teoría de conjuntos Figura 2.2. Sin embargo esta representación no se acepta de manera universal ya que existe un espacio común donde cada uno de los círculos converge, pero la principal prioridad de este modelo es la salud de la economía. Asume que la degradación de un grupo de activos (ambientales, sociales o económicos) puede compensarse mediante la mejora de otro y que las externalidades pueden ser cubiertas. Este modelo se denomina como de sostenibilidad débil y no reconoce las limitaciones ecológicas que los humanos desarrollan en otras especies, con los que debe de operar conjuntamente [128].

Los modelos de sostenibilidad fuerte son los preferidos por los defensores de la sostenibilidad, como muestra la Figura 3.19. Según Mann, estos modelos reconocen que la economía es un subconjunto de la sociedad, ya que sólo existe en el contexto de una sociedad), y que muchos aspectos importantes de una sociedad no incluyen una actividad económica. De modo similar, la sociedad humana y la actividad económica están totalmente limitadas por los sistemas naturales de nuestro planeta [129].

Figura 3.19: Sostenibilidad fuerte

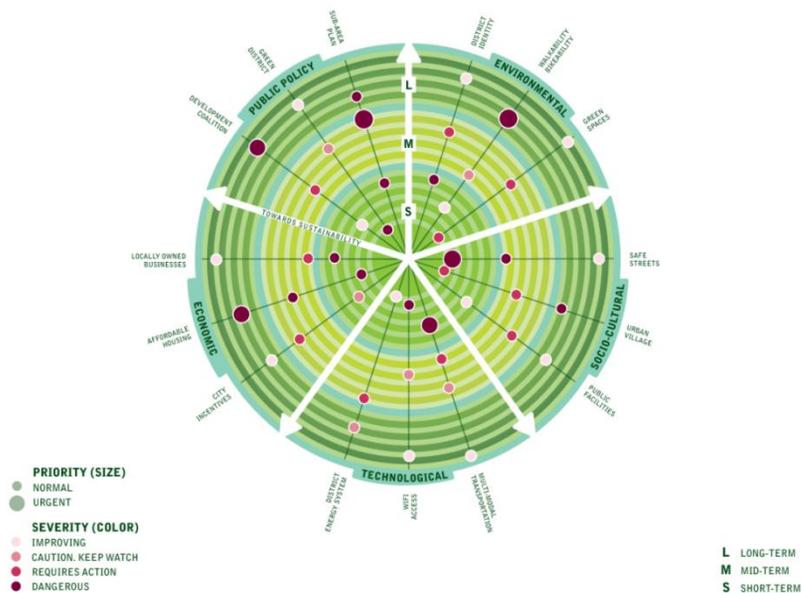


Fuente: Elaboración propia a partir de Mann

Hemos seleccionado a partir del trabajo “Computing for sustainability” de Samuel Mann [129], donde se recogen más de 200 diagramas de visualización de sostenibilidad, dos diagramas con características comunes (representación de araña, múltiples dimensiones, orientados a la toma de decisiones) que pueden representar modelos de sostenibilidad fuerte y que pueden utilizarse para el análisis de sostenibilidad a nivel municipal:

EcoSTEP: Es una representación de sostenibilidad en araña desarrollada por el Joslyn Institute for Sustainable Communities [130] EcoSTEP permite que cualquier usuario pueda valorar posibles situaciones de la vida real, para valorar a partir de unas premisas, las consecuencias y perjuicios, y comunicar esas situaciones a los agentes implicados y a los creadores de políticas. Como se puede observar en la Figura 3.20 incorpora cinco dominios de acción. La herramienta es efectiva midiendo los progresos así como la evolución de la situación en el futuro.

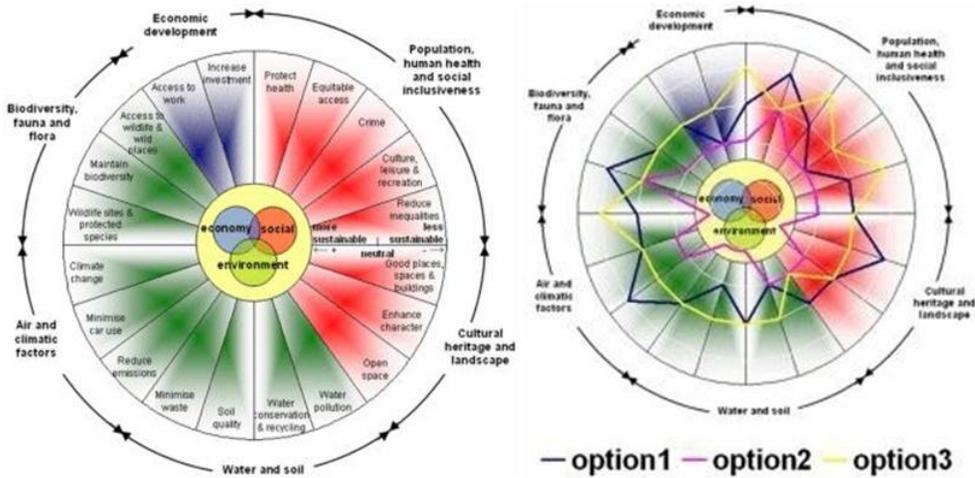
Figura 3.20: Representación de sostenibilidad. EcoSTEP



Fuente: Joslyn Institute for Sustainability Communities

Rueda Stockport de sostenibilidad: La rueda Stockport de sostenibilidad [131] muestra mediante un diagrama de araña, los valores de 20 objetivos de los cuales 2 son económicos, 8 sociales y 10 medio ambientales. El resultado es una indicación del impacto de cada posible decisión como positivo, neutral o negativo. Para que una opción sea sostenible, debe respetar los 20 objetivos evaluados. Una Rueda Stockport típica se muestra en la Figura 3.21.

Figura 3.21: Representación de sostenibilidad rueda de Stockport



Fuente: Stockport

Los diagrama de araña o diagrama radiales se utilizan entre las representaciones preferidas para visualizar las dimensiones de los índices de sostenibilidad [132].

Capítulo 4. Método de análisis de sostenibilidad y de presentación de datos comprensible para la toma de decisiones

En este capítulo se presenta un método para la creación de un índice que puede servir de herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Realizando un análisis de sostenibilidad; generando resultados comprensibles y presentando dichos resultados de una forma adecuada a la toma de decisiones por los responsables de políticas sostenibles. En primer lugar, se describe la estructura del método. En los siguientes apartados se explica el método de normalización y ponderación de indicadores desarrollados. Por último, se dedica un apartado a la presentación de datos y a las diferentes variantes propuestas y se indica cómo elegir la representación más comprensible y adecuada para la toma de decisiones mediante la realización de un análisis estadístico.

4.1. Introducción a la toma de decisiones

En su dimensión más básica, un proceso de toma de decisión puede concebirse como la elección por parte de un centro decisor (un individuo o un grupo de individuos) de “lo mejor” y “lo posible” en un determinado contexto decisional [133].

En este trabajo de tesis, identificamos como “lo posible” aquellas alternativas existentes para una determinada solución y “lo mejor” como aquellas opciones que obtenga un grado de sostenibilidad mayor mediante el método que se expone a continuación.

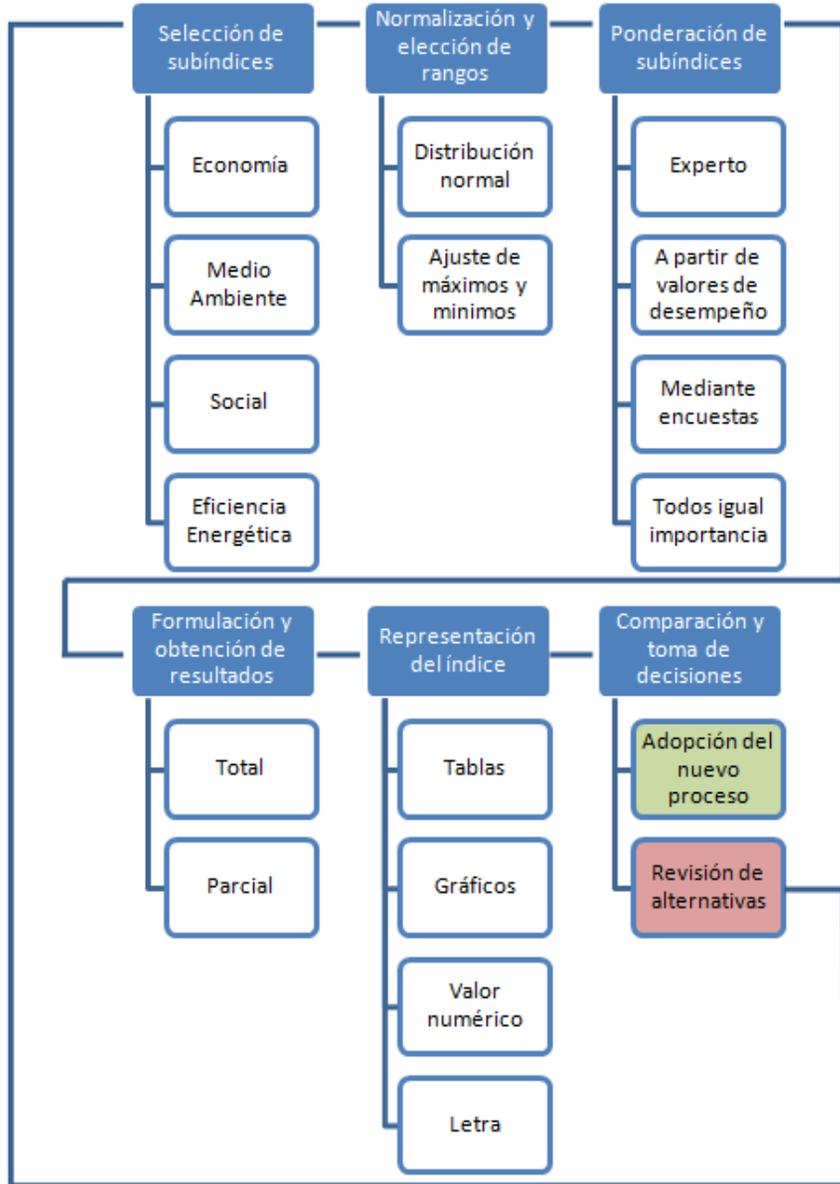
4.2. Fases de cálculo del índice

Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo de tesis es el de proporcionar un método sencillo para la toma de decisiones en materia de sostenibilidad que ha de ser comprendido por políticos y calculado por técnicos a un nivel municipal. Por ello debe ser sencillo en su formulación matemática en el sentido de que en el entorno de uso al que va dirigido, cualquier método que requiera de arduos cálculos basados en una formulación compleja resultará inaccesible al público.

Una vez revisados en el apartado 3.3 los diferentes índices existentes en materia de sostenibilidad, creemos que índices con el grado de simplicidad del índice de ahorros auténticos serían los adecuados para la tipología de usuarios finales a la que el método va dirigido.

Por otro lado, tal y como se ha discutido en el apartado 3.4 somos conscientes de las limitaciones de los índices y métodos existentes, ya que la ponderación que aplican sobre cada uno de los indicadores no parece adecuarse a todos los escenarios posibles.

Figura 4.1: Etapas de confección del índice



Fuente: Elaboración propia

Para solventar esta debilidad y adaptarnos mejor a un entorno local o un entorno más genérico se han descrito distintos índices disponibles que nos servirán para ponderar la importancia relativa en ese entorno de cada una de las dimensiones de la sostenibilidad. Las etapas de confección del índice se corresponderán con las de la Figura 4.1.

4.3. Selección de Subíndices

En la primera etapa de método se encuentra la selección de subíndices, que pueden ser índices simples (indicadores) o índices complejos (índices compuestos por varios índices o indicadores). Los datos pueden provenir de distintas fuentes como vimos en los apartados 3.1 y 3.2. Los valores se han de normalizar de 0 a 1, para el cual 1 es el mejor resultado posible y 0 el peor [19]. Al número de subíndices le llamaremos n . Definimos $n \geq 4$. Este método, al menos incluirá como subíndices la eficiencia energética para un proceso, alternativa u opción dada, así como tres subíndices representativos de las dimensiones social, económica y medio ambiental.

Las variables social, económica y medioambiental se añaden, ya que como vimos en el apartado 2.2, son las variables reconocidas internacionalmente como ejes de la sostenibilidad. La eficiencia energética, la cual está muy relacionada con el progreso tecnológico, está justificada, ya que afecta de manera muy considerable al desempeño de las otras tres [46], y por otro lado, no hemos de olvidar que estamos confeccionando un índice de sostenibilidad en el ámbito de la eficiencia energética.

Los subíndices normalizados sin ponderar responden al valor NX_i de la siguiente ecuación:

$$FSEEt = \frac{(1 - Y_i) * NX_i}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

“Y” es un factor de ponderación de X_i normalizado o NX_i como veremos en 4.5. FSE*E* es el Factor *i*-ésimo de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética como veremos en 4.6.

En la literatura existente, tal y como vimos en el capítulo anterior, se pretende que los indicadores/subíndices empleados sean el menor número posible sin estar correlacionados. Métodos como el SPCA que vimos en el apartado 3.3.2 están específicamente orientados a este objetivo a partir de un número grande de indicadores, con objeto de lograr que los resultados sean fáciles de interpretar. De manera general, el resto de métodos analizados en el apartado 3.3 se han formulado para que exista un número pequeño de variables. Hemos pretendido que este método siguiese las pautas del consenso existente en este sentido.

4.4. Selección y normalización de máximos y mínimos

A continuación se desarrolla la estrategia que se seguirá para la selección de máximos y mínimos, así como la posterior normalización de subíndices.

4.4.1 Selección de máximos y mínimos

En muchos casos no se dispondrá de valores de X_i normalizados de 0 a 1. En este caso y en función de la tipología de los procesos a analizar y de los datos existentes, se han propuesto las siguientes guías teniendo en cuenta el sentido común, los principios de la física y la ciencia, las regulaciones políticas y por último los métodos existentes:

- Si existe un límite legal, y el proceso es peor que el límite se asignará el valor 0.
- Si existe una limitación física a todas las soluciones posibles, ese será el valor máximo posible.
- Si existe una recomendación o un valor normalmente aceptado, ese será valor medio.
- Si existe una recomendación y un valor máximo o mínimo y es posible calcular el grado de dispersión de los datos, se ajustarán mediante una distribución, tal y como se trata en el epígrafe siguiente.
- Se asumirá una relación lineal entre el máximo y el mínimo, excepto en el caso anterior.
- Si el índice es peor cuanto mayor sea X_i , entonces $NX_i=1- X_i$.
- Si no hay mejor opción, los valores los asignará un experto a partir de los datos existentes referidos al momento en el que se obtuvieron los datos. En este caso, si se van a realizar comparaciones, el factor a estimar del proceso más consolidado y extendido (o tradicional) en el entorno recibirá el valor de 0,5 y en función de él, y siguiendo la Tabla 4.1 o la Tabla 4.2 se asignarán sus valores normalizados según la filosofía de la etiqueta energética.

El modo de comparar de la etiqueta energética es una solución de compromiso cuando no existe un valor máximo o mínimo definitivo para realizar un proceso. En un entorno estático o estancado de evolución tecnológica (esto puede ocurrir en algunos sectores actuales), pueden fijarse con claridad máximos y mínimos para un proceso. Sin embargo, en un entorno de fuerte y continua evolución tecnológica, resulta imposible adivinar cuales serán los límites para cada uno de los procesos tecnológicos involucrados en cada subdimensión.

Tabla 4.1: Normalización más es mejor

Xi	Valor a normalizar en función de otro cuando más es mejor
1	>145 %
0.9	135-145 %
0.8	125-135 %
0.7	115-125 %
0.6	105-115 %
0.5	95-105 %
0.4	85-95 %
0.3	75-85 %
0.2	65-75 %
0.1	55-65 %
0	<55 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Normalización menos es mejor

Xi	Valor a normalizar en función de otro cuando menos es mejor
1	<55 %
0.9	55-65 %
0.8	65-75 %
0.7	75-85 %
0.6	85-95 %
0.5	95-105 %
0.4	105-115 %
0.3	115-125 %
0.2	125-135 %
0.1	135-145 %
0	>145 %

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Normalización

En muchos casos no se dispondrá de valores normalizados para cada indicador, en especial a nivel municipal o en sectores emergentes en la evaluación de la eficiencia energética y la sostenibilidad. Si sólo se poseen valores máximos y mínimos, se asignará el valor del parámetro mediante relación lineal entre el máximo y el mínimo.

Sin embargo, si se posee un conjunto de datos suficiente, para un determinado Y_i , se calculará la distribución normal gaussiana del indicador correspondiente. Esto nos proporcionará grandes ventajas, ya que si el subíndice se adapta bien a la distribución normal, el resultado obtenido es un valor de 0 a 1.

La distribución normal será adecuada siempre que el subíndice represente un gran número de pequeñas causas actuando de forma aditiva e independiente. Existen métodos estadísticos, que veremos más adelante, que prueban empíricamente esta asunción.

Si un experto estimase que la aproximación gaussiana no modela adecuadamente el conjunto de datos, y esto podría ocurrir cuando se presume que existe un factor preponderante o que los efectos son multiplicativos en lugar de aditivos, podría sustituirse por otra distribución que si los modelase oportunamente. Ejemplos de otras alternativas son:

- Distribución normal logarítmica.
- Distribución χ^2 (o Chi-cuadrado).
- Distribución exponencial.
- Distribución t de Student.
- Distribución Gamma.
- Distribución Beta.
- Distribución F.

En el caso de responder la distribución de los datos a la distribución normal, se calculará del conjunto de datos la media μ y la varianza σ^2 :

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^2\right) - \mu^2}$$

Y así el valor normalizado según la distribución probabilística de Gauss de Y_i , será $f(w)$:

$$f(w) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}; \quad -\infty < w < \infty$$

En el caso de que para un determinado indicador valores cercanos a 0 fueran mejores que valores cercanos a 1, entonces $NY_i = 1 - Y_i$.

4.5. Ponderación de Subíndices

En este punto existen varias corrientes: ponderación basada en la importancia relativa al entorno mediante ponderación mediante el concurso de un experto [106], asumir que la importancia de todos los factores es idéntica [22], ponderación mediante encuestas a la población afectada [109].

Entendemos que cuando realizamos evaluaciones de sostenibilidad pretendemos realizarlas con el objetivo de mejorar los procesos involucrados. El modelo propuesto enfatiza con mayor intensidad aquellas dimensiones que son más deficientes respecto de las posibilidades existentes en el entorno de referencia. La formulación del método, que veremos en el apartado 4.6, construirá un modelo matemático en el que esta premisa quedará reflejada. En este aspecto y

en el ámbito de la UE, como hemos visto en el apartado 2.5 existe una vocación de mejora intensa.

4.5.1 Ponderación basada en la importancia relativa al entorno

Sea Y_i un valor ponderador de NX_i con valor de 0 a 1, donde 0 es el peor valor posible y 1 el mejor y donde Y_i está relacionada con la dimensión que define la importancia de NX_i en el análisis en función del desempeño de Y_i en el entorno local y en comparación con el mismo valor de dicho índice en otros entornos.

Para reducir a la escala 0-1, se realizará un análisis del conjunto de datos fuente, según el apartado 4.4.2.

El valor obtenido para Y_i deberá de restarse a 1, en caso de que por las características de los valores del entorno comparados, estos sean mejores cuanto más bajo sea el valor respecto del entorno.

Para evitar efectos que ocurrirían en casos extremos cuando el desempeño del país estudiado fuese excelente para una(s) variables y malo para otras, el peso mínimo que podrá tener una variable, entendiéndose peso mínimo por:

$$\text{Peso de } Y_i = \frac{(1 - Y_i)}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

Se igualará a 1 partido por el doble de la fracción del número de variables existentes: $\frac{1}{2 \cdot n}$ (P.ej. para 5 variables, el peso mínimo de una variable será 0,10).

4.5.2 Ponderación mediante el concurso de un experto

Sea Y_i un factor de ponderación de NX_i , Y_i será seleccionado entre 0 y 1 por un experto en sostenibilidad en función de su importancia relativa aplicando criterios plausibles. En este caso se aplicará la escala de la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Ponderación por un experto

Valor	Grado	Descripción
1-0.96	Ideal	No existe una mejor alternativa posible
0.95-0.86	Sobresaliente	Casi no existen mejores alternativas
0.85-0.76	Notable alto	Hay pocas alternativas mejores
0.75-0.66	Notable bajo	Es una variante de la media que posee algunas ventajas clave
0.65-0.56	Bien	Es una variante de la media que posee alguna ventaja clave
0.55-0.46	Medio	Se encuentra en la media de las alternativas posibles. Suele ser la solución más extendida y madura que comienza a quedar obsoleta
0.45-0.36	Mal	Es una variante de la media que posee alguna desventaja clave
0.35-0.26	Deficiente	Es una variante de la media que posee algunas desventajas clave
0.25-0.16	Muy deficiente	Hay muchas alternativas mejores
0.15-0.06	Pésimo	Casi todas las alternativas son mejores
0-0.05	Fatal	Todas las alternativas posibles son mejores

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Ponderación mediante encuestas a la población afectada

Sea Y_i un factor de ponderación de NX_i , Y_i se asignará, tras realizar una encuesta a una población muestral conforme a los procedimientos y métodos expresados a continuación, que habrán de reducirse a una escala de 0 a 1.

El valor obtenido para Y_i deberá de restarse a 1, en caso de que por las características de la escala de la pregunta realizada, los resultados sean mejores cuanto más bajo sea el valor respecto del entorno.

Desde el rigor que requieren las Ciencias Sociales para la obtención de resultados fiables, se detallan los procedimientos y técnicas empleados para el análisis estadístico univariante y bivariante de las variables estudiadas (Apartado 3.3.8).

4.5.4 Asumir igual importancia

Sea Y un valor ponderador de NX_i , para cualquier valor de Y_i o Y_j , Y_i o Y_j será 0.

En este caso, aunque el índice pierde la capacidad de destacar las posibilidades de mejora de las dimensiones más débiles, sin embargo, resulta útil cuando es utilizado en entornos en los que no hay datos disponibles o cuando es usado por personal poco cualificado. Se ha de tener en cuenta que en el peor de los casos, desde el punto de la sostenibilidad, se está tomando una decisión en la cual el factor económico queda desplazado como único elemento de decisión y para n dimensiones, ha decrecido en importancia en una relación de $1/n$.

4.6. Formulación y obtención de resultados

El Índice de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética o ISEE, al igual que la gran mayoría de índices sencillos relacionados con la sostenibilidad es un índice agregado de indicadores/subíndices [19] como vimos en los apartados 3.3 y 3.4. Así mismo, como vimos en el apartado 3.4, los subíndices han de estar ponderados y normalizados para poder agregarse. Existen distintos criterios posibles de agregación

y según cual se utilice los resultados pueden generar grandes diferencias [111], como ya se ha comentado. Nosotros hemos optado por otorgar sistemáticamente una mayor importancia a aquellas dimensiones que poseen un peor desempeño relativo en base a la variable de ponderación o Y, para evitar tener que añadir al método la realización de análisis de sensibilidad. El ISEE responderá por tanto a la siguiente formulación de agregación de subíndices:

$$ISEE = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - Y_i) * NX_i}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

Donde el Factor de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética i se expresa como:

$$FSEE_i = \frac{(1 - Y_i) * NX_i}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

El ISEE, también puede expresarse por tanto, como:

$$ISEE = \sum_{i=1}^n FSEE_i$$

El índice genera dos conjuntos de resultados. Por un lado, un único valor ISEE, por otro lado, n valores FSEE_i, que permiten un análisis de detalle del desempeño de cada uno de los factores analizados.

Como hemos señalado, la formulación expuesta hace énfasis en garantizar que los factores ganen un mayor peso específico cuanto mayor área de mejora exista para una determinada dimensión. Con esta estrategia también conseguimos que las soluciones más puntuadas sean lo más equilibradas posible en todas sus dimensiones, con el objetivo de desechar las soluciones menos equilibrada que no suelen ser sostenibles a lo largo del tiempo [19].

4.7. Método de representación de datos

Uno de los objetivos principales de este trabajo de tesis es el de proporcionar un resultado comprensible que pueda ser interpretado con sencillez.

Tras la revisión de métodos de representación referentes a eficiencia energética y sostenibilidad realizada en el capítulo anterior, desechando todas aquellas características que los hacen complicados, pero manteniendo las que son reconocibles por el público y en especial entre ellas el código de color del etiquetado energético [121], procedemos a crear un grupo de representaciones o resultados finales que se ofrecerán a una población muestral para su evaluación mediante encuesta.

4.7.1 Representación mediante texto y color

A continuación se describen dos representaciones del ISEE basadas en texto y color⁶².

4.7.1.1. VALOR NUMÉRICO Y LEYENDA

Los resultados se representan conforme a la Figura 4.2, sin añadir información adicional a la mostrada en el interior del cuadro. Esta representación está basada en los cuadros de resultados de los exámenes de idiomas de Cambridge ESOL⁶³ [134]. Es una evolución de los

⁶² Otras representaciones basadas en texto y color son posibles y no están excluidas del método.

⁶³ English for speakers of other languages

cuadros de resultados académicos al incluir la columna fortaleza, que indica en que dimensión se ha destacado más. A priori, esta representación parece adecuada para comparar muchos procesos de un vistazo:

Figura 4.2: Representación 1

Proceso	Puntuación Total	Grado	Fortaleza	Resultado
PROCESO 1	39 sobre 100	Mal	Economía	Suspenso
PROCESO 2	61 sobre 100	Bien	Social	Aprobado

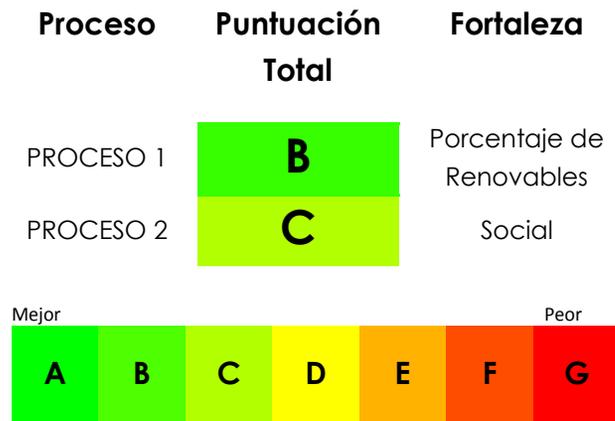
Fuente: Elaboración propia

- **Proceso:** Es el nombre del proceso a valorar.
- **Puntuación total:** Es el resultado de multiplicar ISEE*100.
- **Grado:** Se calcula comparando el resultado del ISEE con la Tabla 4.3.
- **Fortaleza:** Se incluye el nombre de la dimensión FSEE_i que haya obtenido un valor superior.
- **Resultado:** Aprobado para resultados superiores o iguales a 50. Suspenso para resultados inferiores a 50.

4.7.2 Letras, colores y valores basados en la etiqueta energética

Los resultados se representan sin añadir información adicional a la mostrada en el interior de la Figura 4.3.

Figura 4.3: Representación 2



Fuente: Elaboración propia

Prescindimos de la columna “resultado” del diagrama anterior porque pensamos que dicha información se podría extraer del código de color de la puntuación total, así mismo eliminamos la columna “Grado” porque creemos que el grado se podría extraer de la tira de colores, con lo cual conseguimos fusionar el modo de representación de resultados de Cambridge ESOL [134] con los colores y letras del etiquetado energético [119].

Incluimos el sistema del etiquetado energético, ya que como vimos en el apartado 3.7.1 es, a nivel europeo, la representación de referencia

de la eficiencia energética para decisiones de compra o adaptación a nivel micro.

- **Proceso:** Es el nombre del proceso a valorar.
- **Puntuación total:** Es el resultado de adaptar el valor del ISEE a la correspondencia de la Tabla 4.4.
- **Fortaleza:** Se incluye el nombre de la dimensión FSEE_i que haya obtenido un valor superior.

Tabla 4.4: Tabla de conversión de valores en tanto por 1 a escala de color A-G

A	1 hasta 1-1/7
B	1-1/7 hasta 1-2/7
C	1-2/7 hasta 1-3/7
D	1-3/7 hasta 1-4/7
E	1-4/7 hasta 1-5/7
F	1-5/7 hasta 1-6/7
G	1-6/7 hasta 0

Fuente: Elaboración propia a partir CE [119]

4.7.3 Representación mediante gráficos

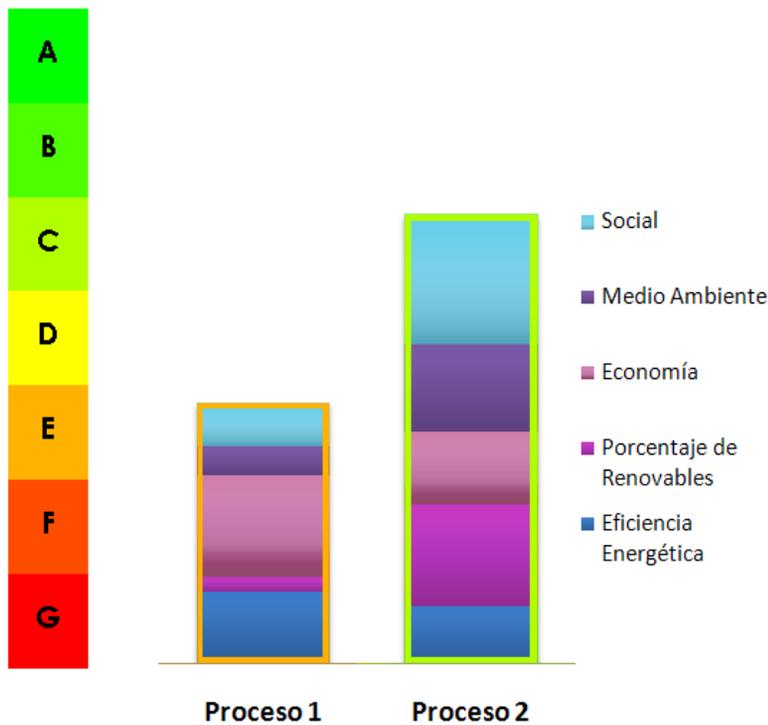
A continuación se describe la diagramación de las tres representaciones gráficas⁶⁴ del ISEE que hemos diseñado, teniendo en cuenta que la interpretación visual es un medio de ayuda a comprender mejor y perfeccionar el desarrollo de conceptos [135].

⁶⁴ Otras representaciones gráficas son posibles y no están excluidas del método. Las representaciones tridimensionales están excluidas por dos motivos: complejidad de comprensión y representación mínima de 4 dimensiones en el método.

Los diseños tienen en común el código de colores del etiquetado energético, y se distinguen porque uno se representa por barras, otro en araña y el último mediante tabla híbrida.

4.7.3.1. GRÁFICO DE BARRAS CON CÓDIGO DE COLORES

Figura 4.4: Representación 3



Fuente: Elaboración propia

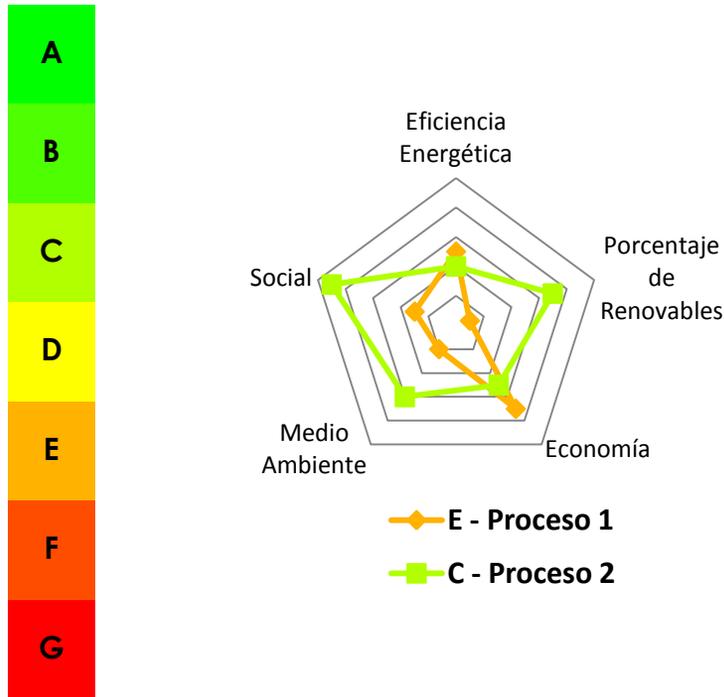
Los resultados se representan como barras acumuladas enfrentadas a la escala del etiquetado energético, como muestra la Figura 4.4. El uso de barras acumuladas, es clásico en economía, para la representación variables agregadas porcentuales. Puesto que el índice que estamos confeccionando está expresado en tanto por uno para cada proceso, los índices se pueden representar conforme a este tipo de gráfica y permitir su evaluación en altura. Esta representación, a diferencia de

las anteriores, también permite conocer el desempeño de cada uno de los subíndices, ya que pueden compararse visualmente desagregados. También será muy intuitivo si existen economistas implicados en la toma de decisiones.

- **Proceso:** Es el nombre del proceso a valorar.
- **Altura y color:** Es el resultado de adaptar el valor del ISEE a la correspondencia de la Tabla 4.4.
- **Dimensiones:** Se muestran identificadas por colores. Se agregan en función de su importancia y los resultados obtenidos.

4.7.3.2. GRÁFICO DE ARAÑA CON CÓDIGO DE COLORES

Figura 4.5: Representación 4



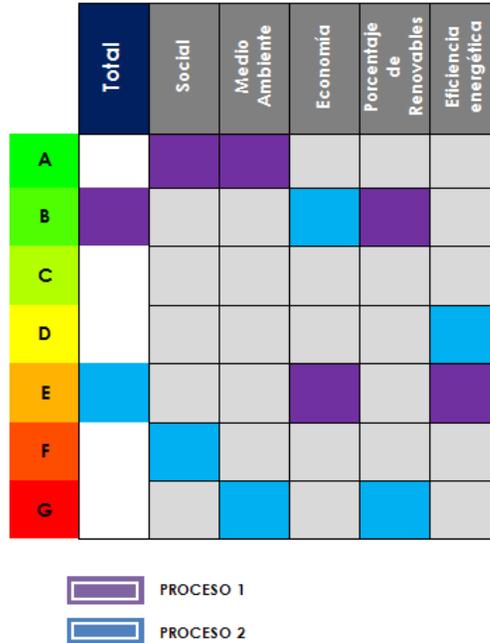
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de cada dimensión se representan como gráfico de araña y se muestran como en la Figura 4.5. El resultado total se corresponde con el color y la letra de la leyenda. Aunque puede no resultar intuitivo a primera vista, cuanto mayor área encerrada exista, mejor será el desempeño de cada proceso. El gráfico de araña es uno de los gráficos elegidos por excelencia para la representación de la sostenibilidad, como vimos en 3.7.3, en especial cuando se representan muchas subdimensiones [136].

- **Proceso:** Es el nombre del proceso a valorar.
- **Color:** Es el resultado de adaptar el valor del ISEE a la correspondencia de la Tabla 4.4.
- **Dimensiones:** Se muestran identificadas por colores. Cada una se representa en función de su desempeño en un diagrama de araña.

4.7.3.3. TABLA HÍBRIDA CON CÓDIGO DE COLORES

Figura 4.6: Representación 5



Fuente: Elaboración propia

Los resultados se representan conforme a la Figura 4.6. Este tipo de representaciones que ecualizan los datos en tablas, se utilizan en sostenibilidad para la evaluación de gran número de dimensiones. Sin embargo, su aplicación principal son las evaluaciones de calidad. Su uso está justificado por varios motivos: Por una parte, una evaluación de sostenibilidad es un tipo de evaluación de la calidad del desempeño de cada una de las variables involucradas. Por otro lado, esta representación es muy clara respecto a sus subíndices o dimensiones y permite comparar con total claridad el desempeño de cada una de las

variables desagregadas independientemente del número de dimensiones⁶⁵.

- **Proceso:** Es el nombre del sistema a valorar, también puede aparecer con el nombre de alternativa.
- **Color:** Es el resultado de adaptar el valor del ISEE y sus factores a la correspondencia de la Tabla 4.4.
- **Dimensiones:** Se muestran identificadas por colores. El desempeño de cada dimensión se muestra de manera directa de forma idéntica al desempeño total.

4.8. Elección de representación de datos

En el Anexo I [137], se encuentra la encuesta a pasar a una población muestral tipo que permite determinar la idoneidad de una representación dada. El cuestionario consta de 9 bloques:

BLOQUE 1: Aspectos cualitativos

Este bloque consta de una pregunta semicategorizada:

- Ubicación.

BLOQUE 2: Perfil sociodemográfico

En este bloque se incluyen las variables asociadas a las características personales del encuestado:

- Sexo.

⁶⁵ Aunque el diagrama de araña posee la misma ventaja, se vuelve confuso cuando evaluamos gran número de dimensiones.

- Edad.
- Nivel de estudios finalizados.

BLOQUE 3: Representación 1

Este bloque consta de cuatro preguntas categorizadas:

- ¿Qué proceso es más sostenible?
- ¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y económico?
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 4: Representación 2

Este bloque consta de cuatro preguntas categorizadas:

- ¿Qué proceso es más sostenible?
- ¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y que se adecúe a las preferencias de la gente?
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 5: Representación 3

Este bloque consta de cinco preguntas categorizadas:

- ¿Qué proceso es más sostenible?
- ¿Qué proceso es más aceptable socialmente?
- ¿Qué proceso es más económico?

- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 6: Representación 4

Este bloque consta de cinco preguntas categorizadas:

- ¿Qué proceso es más sostenible?
- ¿Qué proceso utiliza más energía renovable?
- ¿Qué proceso es más eficiente energéticamente?
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 7: Representación 5

Este bloque consta de cinco preguntas categorizadas:

- ¿Qué proceso es más sostenible?
- ¿Qué proceso es más económico?
- ¿Qué proceso es más respetuoso con el medioambiente?
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 8: Representación preferida

Este bloque consta de una pregunta categorizada

- ¿Cuál es la representación que prefieres?

BLOQUE 9: Comentarios

En este bloque se permite la libre expresión de comentarios del encuestado.

- Antes de terminar, si quiere hacer alguna observación, puede hacerlo en este espacio.

Capítulo 5. Caso de estudio: Recogida de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Córdoba

En este capítulo se aplicará el método desarrollado al caso de estudio elegido: recogida de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Córdoba. En primer lugar se describe la situación actual de la recogida de residuos sólidos urbanos de manera general. A continuación se expone el funcionamiento de dos sistemas de recogida de residuos sólidos urbanos que convivirán en la capital cordobesa (tradicional o contenedorizada y neumática). En muchos casos una mala gestión en la recogida ha dado lugar a problemas [138]. Por lo tanto, presentaremos las diversas variables a evaluar y como de eficientes energéticamente sostenibles son estos sistemas que coexistirán en la capital Cordobesa, el sistema contenedorizado lateral y el sistema neumático. Más adelante, se aplica el método por separado a ambos sistemas incluyendo la valoración mediante encuestas de la dimensión

social. Por último se realiza la comparación de la sostenibilidad en el ámbito de la eficiencia energética de los procesos evaluados.

5.1. Gestión local de residuos

La generación y gestión de los residuos constituye un problema ambiental grave de las sociedades modernas, y de ahí la existencia de una política europea en materia de residuos. El abandono o la gestión inadecuada de los residuos producen impactos notables en los medios receptores, y pueden provocar contaminación en el agua, en el suelo, en el aire, contribuir al cambio climático, afectar a los ecosistemas y a la salud humana [139, 140, 141]. Sin embargo, cuando los residuos se gestionan de forma adecuada se convierten en recursos que contribuyen al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales, del clima y al desarrollo sostenible [142, 143].

El concepto de residuo comprende todo material sólido, líquido o gaseoso, generado por cualquier actividad humana y que está destinada al abandono. Los residuos gaseosos pasan a formar parte de la atmosfera, los líquidos son evacuados a través de las aguas residuales, los restantes son los sólidos [144]. Por su procedencia, que condicionarán su recogida y posterior tratamiento pueden ser clasificados en:

- Urbanos.
- Industriales.
- Agrarios.
- Clínicos.
- Radiactivos.

Nuestro estudio se centrará como hemos indicado anteriormente en la recogida de residuos sólidos urbanos o RSU⁶⁶.

5.1.1 Marco regulatorio español

La Ley de Residuos 10/1998 de 21 de abril define los residuos urbanos como “los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades” además de “(i) los residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, (ii) animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados, (iii) residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria”.

A continuación se detalla la gestión de estos residuos.

5.1.1.1. GESTIÓN DE LOS RSU EN ESPAÑA

En nuestro país las corporaciones locales son las competentes en la gestión de los residuos. La ley asigna a los municipios la obligación de realizar la recogida, transporte y al menos eliminación. La gestión de los residuos de envases está regulada por la Ley 11/97 de Envases. Su aplicación exige que en el año 2001 sea valorizado entre el 50% y el 65% del peso total de los residuos de envases generados y se recicle entre el 25% y el 45% en peso, con un mínimo del 15% de cada material de envasado [186].

Para llevar a cabo estos objetivos la ley establece dos sistemas:

⁶⁶ Municipal Solid Waste (MSW).

- Sistemas de depósito, devolución y retorno de envases, de carácter obligatorio para envasadores y distribuidores.
- La posibilidad de acogerse a un Sistema Integrado de Gestión de residuos de envases.

En nuestro país operan tres sistemas integrados de gestión:

- ECOEMBES⁶⁷. Trata todos los materiales presentes en los envases.
- ECOVIDRIO. Gestiona sólo el vidrio.
- SIGRE⁶⁸. Gestiona los restos de medicamentos y sus envases.

Los envases adheridos a los dos primeros sistemas llevan impresa la figura de un punto verde como se puede observar en la Figura 5.1, que significa que el envasador del producto ha pagado una cantidad de dinero por cada envase que ha puesto en el mercado, y este coste lo incrementa en el precio final del producto. Esas cantidades se pagan a los sistemas integrados de Gestión que se encarga de repartirla entre los Ayuntamientos o Mancomunidades que han instalado sistemas de recogida selectiva de residuos.

Las cantidades aportadas vienen dadas en función del número y el tipo de los envases generados. Por lo que al estar la empresas concienciadas y pagar por ello incluye en sus diseños este factor para minimizar el embalaje y facilitar su posterior reciclado.

Aunque como se pudo ver en las XIX Jornadas Técnicas de ANEPMA⁶⁹ del 2011 [145], hay una diferencia entre lo que los ayuntamientos perciben de los sistemas integrados y lo que gastan para la recogida y gestión de dichos residuos, que no cubren todos los costes. Uno de los motivos que se señaló por

⁶⁷ Ecoembalajes España. S.A.

⁶⁸ Sistema Integrado de Gestión y Recogida de Envases.

⁶⁹ Asociación Nacional de Empresas Públicas de Medio Ambiente

ECOEMBES, fue que no todos los productores de envases están asociados a dicha entidad.

Figura 5.1: Símbolo de punto verde y logotipos de sistemas de gestión



Fuente: ECOEMBES y ECOVIDRIO

Los bienes adscritos al tercer sistema de reciclado incluyen el símbolo de SIGRE. Los sistemas integrados de gestión son entidades sin ánimo de lucro, que se sostienen gracias a las aportaciones que reciben de las empresas asociadas para costear los gastos de gestión de los residuos de envases que su actividad pone en el mercado.

Figura 5.2: Envases de medicamentos con símbolo SIGRE



Fuente: SIGRE

Este último sistema se caracteriza porque emplea la misma red de distribución de medicamentos para la recogida de embalajes y restos de medicamentos, optimizando recursos y energía [146].

5.1.1.2. EL PLAN NACIONAL DE RESIDUOS URBANOS

El PNRU⁷⁰ pretendía, en base a los principios de prevención y responsabilidad, en un periodo de 6 años comprendidos entre los años 2000 y 2006, reducir la generación de residuos urbanos y aumentar las cantidades de residuos compostados, reciclados y valorizados.

Para ello se fijaron una serie de objetivos cuantitativos:

- Reducir la generación de residuos a razón de un 6% anual.
- Compostar el 40% de la materia orgánica a fines de 2001 y el 50% en 2006.
- Reciclar el 75% del papel y cartón en 2006. Reciclar el 90% de los metales en 2006.
- Reciclar el 75% del vidrio y el 50 % de otros materiales en 2006.
- Que se realice la valorización energética de la fracción no reciclada: 9% a fines de 2001 y 17,7% en 2006.

El Plan constaba de 6 programas específicos para cada aspecto implicado:

- Programa nacional de prevención.
- Programa nacional de recuperación y reciclaje.
- Programa nacional de residuos de envases y envases usados.
- Programa nacional de compostaje.
- Programa nacional de valorización.
- Programa nacional de eliminación.

⁷⁰ Plan Nacional de Residuos Urbanos

Así mismo, el PNRU contemplaba los programas de inversión y su financiación para lograr los objetivos que fijaron. Establecía también la toma de medidas para fomentar la concienciación de los ciudadanos y el control estadístico. El PNRU integraba todos los planes autonómicos ya establecidos previamente.

5.1.1.3. PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (2008-2015)

El PNIR⁷¹ [142] hace especial hincapié en lo que popularmente se conoce como las tres erres (reducir, reutilizar y reciclar), aunque también manifiesta la intención de cumplir con los siguientes objetivos (sólo son mostrados los más relevantes):

- Detener el crecimiento en la generación de residuos que se produce en la actualidad.
- Eliminar por completo el vertido ilegal.
- Reducir el vertido y fomentar la prevención, la reutilización, el reciclado de la fracción que pueda ser susceptible de ello y otros mecanismos de valorización de la fracción de residuos que no se pueda reciclar.
- Dotar al país de nuevas infraestructuras y mejorar las instalaciones ya existentes.
- Evitar que los residuos contribuyan al cambio climático.

La finalidad del plan es la de promover una política apropiada en la gestión de los residuos, disminuyendo su generación e impulsando un correcto tratamiento de los mismos. También pretende que las Administraciones públicas, los consumidores y usuarios se involucren de manera que cada una de las partes asuma su respectiva cuota de responsabilidad.

⁷¹ Plan Nacional Integrado de Residuos (2008-2015)

5.1.2 Etapas de la gestión de los RSU

Se considera como gestión de los residuos sólidos urbanos al conjunto de operaciones que se realizan con ellos desde que se generan en los hogares y se realiza una prerecogida y servicios hasta la última fase en su tratamiento. Abarca pues tres etapas:

- Depósito (o pre-recogida).
- Recogida.
- Transporte.
- Tratamiento.

5.1.2.1. PRE-RECOGIDA

Previa a la fase de Recogida, se encuentra la realizada por los usuarios que selecciona y clasifican los residuos en su domicilio para posteriormente depositarla en el lugar dispuesto por el ayuntamiento (Contenedor, buzón, ecopunto o ecoparque)

5.1.2.2. RECOGIDA

La recogida de los residuos urbanos consiste en su recolección para efectuar su traslado a las plantas de tratamiento.

Básicamente existen dos tipos fundamentales de recogida:

- Recogida no selectiva.
- Recogida selectiva.

En la recogida no selectiva los residuos se depositan mezclados en los contenedores, sin ningún tipo de separación. Ha sido la habitual hasta hace

algunos años. La recogida selectiva se hace separando los residuos según su clase y depositándolos en los contenedores correspondientes. Así, existen normalmente contenedores para el papel, vidrio, envases y la materia orgánica.

Este sistema requiere un elevado grado de concienciación y colaboración ciudadana para funcionar. Los contenedores pueden estar ubicados en el contexto ciudadano o en áreas diferenciadas (puntos limpios, ecoparque, etc.). En nuestro país tras los titubeos iniciales se ha adoptado un código de colores unificado para los contenedores. Así lo establecía el PNRU:

- Contenedor verde para el vidrio.
- Contenedor azul para el papel y cartón.
- Contenedor amarillo para los envases.
- Contenedor gris o marrón para los residuos orgánicos.

En cuanto a su ubicación se ha optado por diferentes soluciones adaptándose a las distintas realidades urbanas. Así es habitual encontrar en ciertos municipios contenedores de papel y vidrio distribuidos por manzanas según un determinado ratio. En ellos es posible depositar los residuos a todas las horas del día. Los contenedores de envases en ocasiones se disponen del mismo modo pero en otras se ubican por comunidades de vecinos. Igual ocurre con los contenedores de materia orgánica con la salvedad de que en éstos sólo está autorizado el depósito de los residuos en determinado horario para evitar molestias y malos olores al vecindario y en el caso de las comunidades de vecinos han de permanecer en la vía pública por un periodo de tiempo limitado.

Figura 5.3: Modelos de recogida de residuos implantados en España

	NIVEL DE ACERA	ÁREA DE APORTACIÓN
MODELO 1 (M1)	 89.98%	  
MODELO 2 (M2)	 	 
MODELO 3 (M3)	 	  

Fuente: Bovea

Bovea [147] hace una clasificación general de modelos de recogida para municipios españoles de más de 50.000 habitantes según el PNUR, como muestra la Figura 5.3, aunque hay casos particulares que no se ajustan a esta clasificación. En el caso de Córdoba, el código de colores es:

- Materia orgánica: gris.
- Envases e inertes: amarillo.
- Papel y cartón: azul.
- Vidrio: verde.

La recogida en los barrios cordobeses se lleva a cabo a nivel de acera, como se observa en la Figura 5.4.

Figura 5.4: Modelo de recogida de multi-contenedor en acera en Córdoba.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte es usual la creación de servicios (puntos limpios, ecoparques, etc.) donde habitualmente se efectúa la recogida de los residuos peligrosos generados en los domicilios como pinturas, disolventes, pilas, radiografías, etc. También se suelen recoger voluminosos (colchones, muebles, etc.) y residuos inertes como escombros fruto de pequeñas reparaciones domésticas, aunque estos sólo suelen admitirse en los puntos limpios. La recogida en sí es un proceso complicado donde se deben conjugar las necesidades del servicio con la minimización de las molestias que se generan a los ciudadanos. Por lo que respecta a la recogida en sí existen dos métodos:

- Recogida por medio de vehículos.
 - Contenedor.
 - En Acera (Trasera, Lateral o Grúa).
 - Soterrado (Trasera, Lateral o Grúa).
 - Puerta a puerta (Trasera) [148].
- Recogida neumática.
 - Fija.
 - Móvil.

La más habitual en España es la recogida de contenedor en acera. Se realiza por medio de vehículos especialmente preparados al efecto mediante camiones dotados de una tolva en la que se compactan los residuos u otros en los que se depositan sin compactar. Se utilizan unos u otros camiones según el tipo de residuos. Así la compactación es muy adecuada para los residuos orgánicos o los envases pero no se emplea en el caso del vidrio ni para electrodomésticos. Estos vehículos se perfeccionan más cada día con el fin de reducir las molestias que generan las operaciones de recogida. Se pretende minimizar los olores intentando que sean los más herméticos posibles.

El segundo método de recogida exige una inversión inicial para la construcción de las instalaciones que han de ir bajo tierra. En áreas de nueva urbanización o en zonas donde se realicen modificaciones estructurales, éstas se pueden llevar conjuntas con las canalizaciones eléctricas de agua y saneamientos. A cambio exige un menor desembolso en costes de personal y minimiza molestias a los ciudadanos. Comenzó a utilizarse en los países nórdicos en la década de los 60. Este sistema, mediante conducciones neumáticas subterráneas, conduce los residuos hasta las estaciones de transferencia donde se procede a su traslado a la planta de tratamiento [149]. En nuestro país existen algunas experiencias desde 1992, como muestra la Tabla 5.1.

También existen sistemas neumáticos en funcionamiento en Noruega, Dinamarca, Reino Unido, Suecia, China, Finlandia, Francia, Corea, Macao, Malasia, Arabia Saudí, Estados Unidos, Portugal y suponen una alternativa para la prestación de un servicio de calidad en municipios donde la población es muy variable [150].

Tabla 5.1: Ejemplos de implantación de la recogida neumática en España

Año	Provincia	Denominación	Nª Fracciones
1992-2006	Barcelona	Villa Olímpica (1992)	1 (todo)
		Sabadell (1995)	2 (orgánica y resto)
		Forum 2004 (2004)	2 (ampliable a 3)
		Hospital Espíritu Santo (2005)	3 (orgánica, resto y ropa sucia)
		Aeropuerto Terminal Sur (2006)	4 (orgánica, envases, papel y resto)
1996-2007	Madrid	Majadahonda (1996-2000)	2 (envases y resto)
		Leganes (1997)	1 (todo)
		Puerta de Europa (1998)	2 (envases y resto)
		Leganes (2001-2003)	2 (envases y resto)
		San Sebastián de los Reyes (1999)	2 (envases y resto)
		Alcobendas (1999-2001)	2 (envases y resto)
		Mercado de Torrijos (2007)	2 (orgánica y resto)
1998	Murcia	Cartagena	1 (todo)
2001-2003	Sevilla	Pino Montano (2001)	3 (envases, orgánica y papel)
		Barrio de Santa Cruz (2002)	1 (orgánica)
		Calle Sierpes (2003)	1 (orgánica)
2001	León	Caco Antiguo	2 (envases y resto)
2001	Vizcaya	Barakaldo (2002)	2 (envases y resto)
		Portugalete (2001-2010)	2 (envases y resto)
2002	Palma de Mallorca	Casco Histórico	2 (orgánica y resto)
2002	Huelva	Costa Ballena	2 (envases y resto)
2002-2004	Vitoria	Centro Medieval (2002)	2 (envases y resto)
		Salburua (2004)	2 (ampliable a 3)
2004	Burgos	S3/S4	2 (envases y resto)
2005	Almería	El Toyo	2 (orgánica y resto)
2007	Córdoba	Instalación 1, 2 y 3	3 (envases, orgánica y papel)
2008	Pamplona	Casco Histórico	3 (envases, orgánica y papel)
2009	Alicante	Aeropuerto	3 (orgánica, envases y resto)

Fuente: Elaboración Propia a partir de diversas fuentes

Los deportes o exposiciones han sido un motor de implantación de la recogida neumática. Existen ejemplos como la Exposición Universal de 1992, la Villa Olímpica de Barcelona, la Expo 98 Lisboa (23.900 viviendas), así como los XV Juegos del Mediterráneo que se celebraron en Almería en El Toyo [151].

El precio de implantación del punto de recogida y transporte se sitúa alrededor de los 1.600 € por vivienda equivalente⁷². Si se repercute la central, los costes son aproximadamente de 2.100 € por vivienda equivalente. El Código Técnico de la Edificación (aprobado en 2006) prevé la recogida neumática[152].

Por último existe una forma de recogida informal de los residuos que afortunadamente tiende a desaparecer en los países desarrollados. Ésta consiste en un submundo marginal de personas necesitadas, que en condiciones muy penosas de precariedad, falta de higiene y medios materiales proceden a la recogida de ciertos residuos de los que obtienen alguna rentabilidad económica. Estos recicladores⁷³ suelen especializarse en un tipo de residuos, ya sean cartones, metales, envases, etc.

⁷² Se considera vivienda equivalente aquella que alberga 3,2 habitantes.

⁷³ Recuerdo una experiencia que yo misma viví, en la plaza de Tiananmen en Pekín (China), durante el año 2006 tras comprar una botella de agua. En ese momento una señora de unos 90 años me sonrió, seguí andando y volvió a sonreír, y camina a paso lento detrás de mí, me fije que arrastraba una gran bolsa de plástico transparente, y en su interior había botellas de plástico vacías, continuaba a mi lado y cuando termine de beber la botella de agua me volvió a sonreír, y comprendí que quería mi botella de agua vacía, pues para ella eso tenía un valor, extendí mi mano con dicha botella, y en su rostro se dibujó una gran sonrisa. Se inclinó en agradecimiento, introdujo la botella dentro de su gran bolsa junto a las otras y continuo su camino, allí pude conocer la recogida mano a mano.

5.1.2.3. TRANSPORTE

En esta etapa se realiza el transporte de los residuos hacia las estaciones de transferencia, plantas de clasificación, reciclado, valorización energética o vertedero. Las estaciones de transferencia son instalaciones en las cuales se descargan y almacenan temporalmente los residuos para poder posteriormente transportarlos a otro lugar para su tratamiento. Una vez allí se compactan y almacenan y se procede a trasportarlos en vehículos de mayor capacidad a la planta de tratamiento que normalmente han de estar dotados de sistemas de compactación de residuos para optimizar su transporte. De esta forma se reducen los costes de transporte y se alarga la vida de los vehículos de recogida. En otras ocasiones en que el centro de tratamiento está próximo a los núcleos habitados, los propios vehículos de recogida son los que realizan el transporte a planta, como es el caso de Córdoba capital. Hay que tener en cuenta la problemática que se asocia con el trasiego diario de camiones camino de la planta de tratamiento. Este trasiego tiene un claro impacto sobre las vías de circulación que deben estar adecuadamente acondicionadas y es fuente de molestias para los vecinos: en forma de ruidos, malos olores, contaminación, etc.[153].

5.1.2.4. TRATAMIENTO

Es la etapa final del proceso y la de mayor importancia. Si los residuos vienen ya separados desde el origen, con una adecuada pre-recogida como es el caso del papel o el vidrio se dirigen directamente a la planta de reciclado. Si vienen juntos como es el caso de los envases hay que separar según su naturaleza. Idéntico proceso se realiza con la bolsa de restos donde predomina la materia orgánica pero existen residuos de otra naturaleza debido a errores o a la fracción decreciente de personas que no separan correctamente sus residuos.

El proceso de selección se realiza mediante diversos sistemas:

- Metales férricos. Por medio de campos magnéticos.
- Metales no férricos. Triaje manual y por corrientes de Foucault.
- Papel y cartón. Se seleccionan por triaje manual.

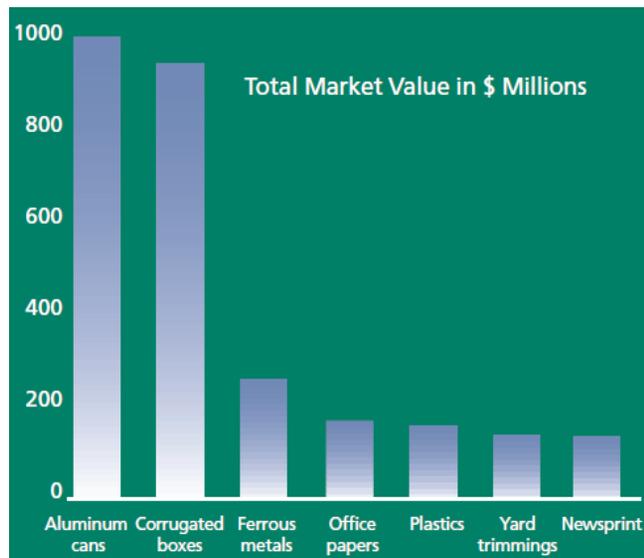
- Plásticos duros. Por triaje manual.
- Plástico film. Mediante sistemas neumáticos.
- Vidrio de color. Por triaje manual.
- Vidrio blanco. Por triaje manual
- Materia orgánica. La materia orgánica, si se quiere reciclar, debe recogerse selectivamente ya que, si se trata del sobrante de procesos de selección de otros residuos , vendrá contaminada por esos otros residuos y no será apta para usos agrícolas que son la salida fundamental, como compost, de este residuo orgánico.

Los sistemas automatizados de selección de envases están bastante extendidos y dan buen rendimiento, pudiéndose incrementar el rendimiento en selección de materiales un 100%. El sistema más utilizado es la selección en base a características ópticas.

Una vez separados los residuos hay que realizar su tratamiento. A grandes rasgos puede consistir en una de estas opciones, que se aplicará según la naturaleza y estado de los residuos, etc. y del modelo de gestión implantado:

- Reciclado.
- Valorización energética.
- Vertido controlado.

El reciclaje y la valorización energética pueden generar valor económico de los residuos como podemos ver en la Gráfica 5.1.

Gráfica 5.1: Valor de mercado de los principales RSU producidos en EEUU en 1997

Fuente: Tellus Institute.

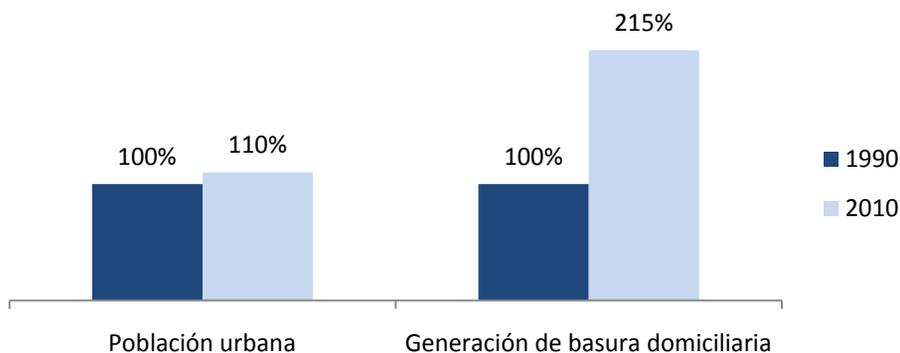
En algunos países, el sistema de gestión de RSU está privatizado y se ha de pagar una cantidad económica por tonelada de basura procesada generando empleos y valorizando residuos [154] tanto en el mercado legal como ilegal en el tercer mundo [155]. Según la definición, ya clásica de Alfonso del Val [156], residuo es todo aquello que carece de valor de uso y como consecuencia de valor de cambio. Según este concepto de residuo, la gestión de RSU requiere una contraprestación económica imprescindible para soportar los costes de recogida y tratamiento, como consecuencia, se crea una actividad que puede según el modelo de gestión, dar beneficios y que requiere dar empleos que soporten la actividad.

5.2. Recogida de Residuos sólidos urbanos en Córdoba

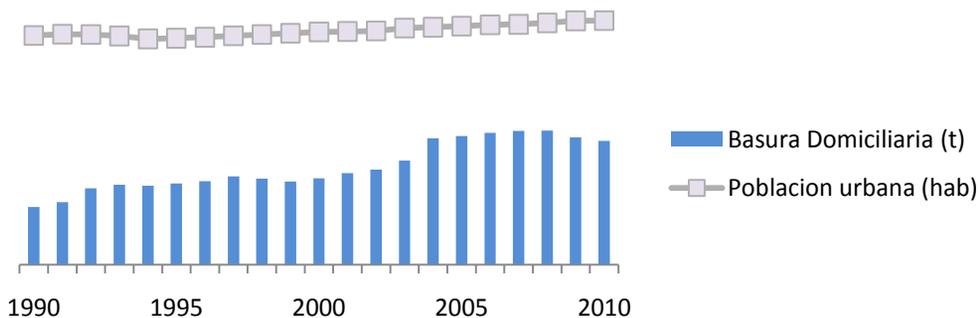
En los núcleos urbanos, la recogida de RSU es una necesidad y una obligación con la sociedad y el medioambiente, que se debe de entender como una gestión integral, que mediante la articulación de un sistema eficaz y sostenible permite al ciudadano una convivencia satisfactoria con su entorno. Debido a cambios en las últimas décadas la generación de residuos ha ido en aumento [138].

En el caso estudiado, el aumento de población en la ciudad ronda el 10%. En cambio, la tendencia de generación de basura domiciliaria aumenta superando el 115%, tal y como se puede observar en la Gráfica 5.2.

Gráfica 5.2: Evolución de la Población y de los Residuos

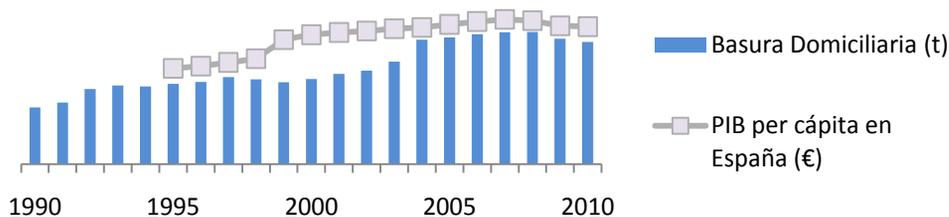


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADECO

Gráfica 5.3: Tendencias de Población y de residuos recogidos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADECO

La Gráfica 5.3 muestra la tendencia progresiva de ambas variables a lo largo de los últimos 20 años [157, 158]. La generación de residuos se ha estabilizado e incluso ha bajado en los últimos años. La explicación a esta modificación de la tendencia no parece provenir de la cantidad de población existente y parece más relacionada con la capacidad de compra, específicamente durante los últimos seis años y durante la crisis de los 90, donde la cantidad de residuos está directamente relacionada con el PIB per cápita de España, como muestra la Gráfica 5.4.

Gráfica 5.4: Tendencias de PIB per cápita y los residuos recogidos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADECO y Eurostat

5.2.1 Sistema contenedorizado de recogida de RSU

En la ciudad de Córdoba, España, la empresa municipal de gestión de residuos, SADECO⁷⁴ desarrolla su actividad utilizando el sistema tradicional o contenedorizado de recogida, compuesto por los siguientes elementos funcionales que muestra la Figura 5.5:

Figura 5.5: Elementos funcionales del sistema contenedorizado de recogida

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADECO

⁷⁴ Saneamientos de Córdoba, S.A.

Figura 5.6: Sistema de recogida contenedorizada

Fuente: SADECO

El sistema contenedorizado de recogida de residuos conlleva un despliegue de medios mecánicos y humanos en el interior de las ciudades con un impacto ambiental, debido a la emisión de efluentes gaseosas y sonoras, acompañadas de molestias en el tránsito del tráfico, etc. Alterando de forma sustancial la calidad de vida de la ciudadanía, es una forma de trabajo que resiente la economía y la sanidad [159]. En todo caso la recogida de residuos, al igual que el alcantarillado, es la solución a un problema sanitario más que su causa, por eso se asume el impacto económico que pueda suponer y los pequeños impactos ambientales marginales.

La utilización de vehículos actualmente utilizados en el transporte tradicional de recogida de residuos tiene una absoluta dependencia del petróleo. Por otra parte, nos encontramos con el inconveniente de las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO_2), el Ozono (O_3), el monóxido de carbono (CO), las partículas totales (PTS), las partículas menores a 10 micras (PM_{10}) y el Plomo (Pb) que se emiten a la atmósfera en los núcleos urbanos de nuestras ciudades [160, 161].

Los RSU y asimilables procedentes del término municipal de Córdoba son gestionados por SADECO [158]. En 2009 ascendieron a 260.874 toneladas. La gestión llevada a cabo comienza desde que los residuos son depositados en el

contenedor, hasta que son sometidos a un proceso final de tratamiento en función de las características de cada fracción de las que componen los residuos, con el objetivo final del reciclaje de la mayor cantidad posible.

Una parte del total de residuos recogidos proceden de la recogida de obligación municipal llevada a cabo por la propia empresa, mientras que otra parte de los residuos se recoge por empresas ajenas que efectúan la recogida a particulares y empresas, como se observa en la Tabla 5.2 y los ponen a disposición de la gestora en sus instalaciones de tratamiento, para su valorización o eliminación.

Tabla 5.2: Procedencia de los R.U gestionados por SADECO

RECOGIDA SADECO		RECOGIDA EXTERNA
Domiciliaria	Todo Uno	Industriales asimilables
	Materia Orgánica	
	Envases e Inertes	Industriales asimilables
	Vidrio	RCD
	Papel-Cartón	Residuos de
	Ecoparques	Construcción y Demolición
	Enseres a Domicilio	Lodos EDAR (Estación
Limpieza viaria	Depuradora de Aguas	
Animales	Residuales) ⁷⁵	

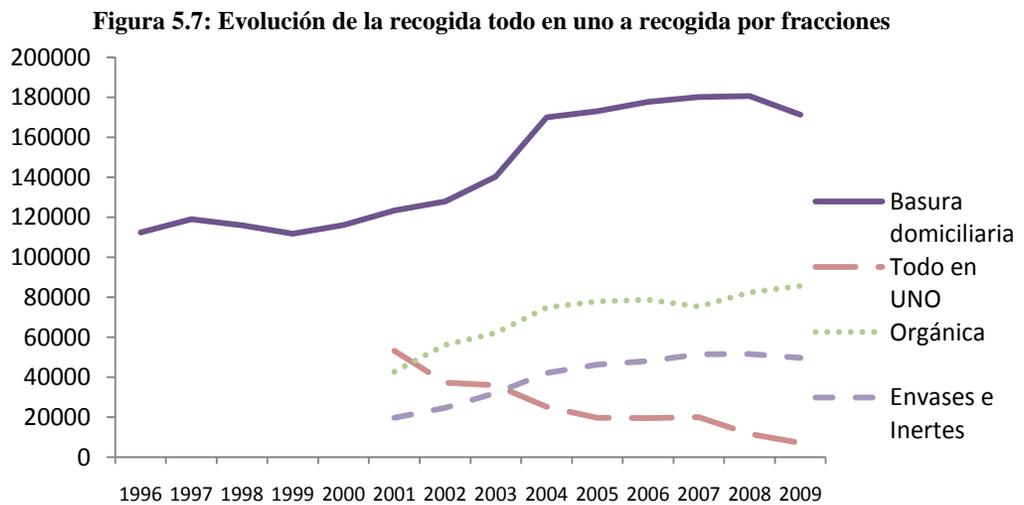
Fuente: SADECO 2009

La recogida se realiza en todos los circuitos de forma mecanizada mediante camiones de recogida trasera o de recogida lateral en función de las particularidades del recorrido.

⁷⁵ A partir del año 2010, es recogida por SADECO.

En la Tabla 5.2 podemos observar las distintas fracciones de residuos sólidos urbanos que la empresa SADECO gestiona a través de la recogida selectiva de recuperación de residuos desde el año 1993.

La Figura 5.7 muestra la evolución temporal de la recogida selectiva en toneladas, pasando de la recogida “todo en uno” a la recogida por fracciones [158].



Fuente: Elaboración propia a partir de Memorias de SADECO

Una vez efectuado el procedimiento de recogida, los residuos son trasladados al CMC⁷⁶, donde se realizan tres servicios:

- Selección y separación de materiales reciclables.
- Compostaje de residuos orgánicos recogidos selectivamente.
- Vertedero sanitariamente controlado.

⁷⁶ Centro Medioambiental de Córdoba.

5.2.2 Sistema neumático de recogida de residuos

En el caso de muchas ciudades españolas cuando se planifican nuevos barrios se está pensando generalmente en el abastecimiento de bienes básicos como el agua o la energía pero no se piensa de antemano como se van a gestionar los residuos generados por ese nuevo núcleo, integrando el sistema de gestión de residuos en el desarrollo urbanístico [159].

En Córdoba, sin embargo, las zonas de nueva expansión de la ciudad se contemplan con una nueva infraestructura asociada mediante la cual el residuo se transportará de forma neumática, desde el domicilio a una central utilizando energía eléctrica.

El Ayuntamiento de la ciudad de Córdoba, a través de la Gerencia de Urbanismo y SADECO, aprueba en marzo de 2005 el RNRM⁷⁷. El 18 de abril de 2006 el Ayuntamiento de Córdoba adjudica a Ros Roca, S.A. el contrato de consultoría para la redacción de “Proyecto básico de implantación de la recogida neumática de residuos municipales de la ciudad de Córdoba”.

El proyecto contempla dar servicio de recogida neumática en las áreas de nueva urbanización en Córdoba [162], que acogerá en el futuro a 34.522 viviendas equivalentes (VE)⁷⁸: 110.471 habitantes, tomando como VE = 3,2 habitantes, Se trata por tanto del mayor proyecto de recogida neumática de residuos sólidos de Europa, hasta el año 2009.

⁷⁷ Plan Especial de Recogida Neumática de Residuos Sólidos Urbanos Municipales de Córdoba.

⁷⁸ VE. Dependerán de la densidad y composición demográfica de cada población.

Las fracciones que se recogerán mediante el sistema neumático serán:

- Orgánica.
- Envases e inertes
- Papel.

Los sistemas de recogida neumática de residuos lo componen tres elementos perfectamente diferenciados, como se muestra en la Figura 5.8:

- Red de vertido (elementos 1-4)
- Red de transporte (elemento 5)
- Plantas de recogida (elementos 6-8)

Figura 5.8: Sistema de Recogida Neumática Tipo



Fuente: ROS ROCA

5.2.2.1. RED DE VERTIDO

Es la parte de la instalación que usa el ciudadano para depositar sus bolsas de residuos en las diversas fracciones.

Los puntos de vertido los podemos encontrar tanto en la calle en forma de buzones parecidos a los que se utilizan para el correo de cartas, o del tipo mural en domicilio, en el caso de Córdoba se podrá encontrar el tipo mural en las zonas comunes de los edificios como muestra la Figura 5.9.

Figura 5.9: Buzones en zona común de una urbanización en Córdoba



Fuente: Elaboración Propia

De estos buzones pasan a unas tolvas donde se almacenan hasta que estas llegan a un nivel, o según el programa que optimiza el vaciado de la red. También puede vaciarse automáticamente aunque no llegue al nivel, pero si ha pasado un cierto tiempo sin que esa tolva se vacíe, para evitar olores desagradables, sobre todo en orgánica, el vaciado se puede temporizar si no se ha vaciado por otros motivos.

De las tolvas cuando así lo estime oportuno la logística de la central, mandará el vaciado automático de las tolvas por fracciones y el transporte hacia la central. En la Figura 5.10 se puede observar las tolvas que se encuentra por debajo del

nivel del suelo, así como las compuertas de seguridad para evitar atascos, estas deben ser registrables para permitir el mantenimiento del sistema.

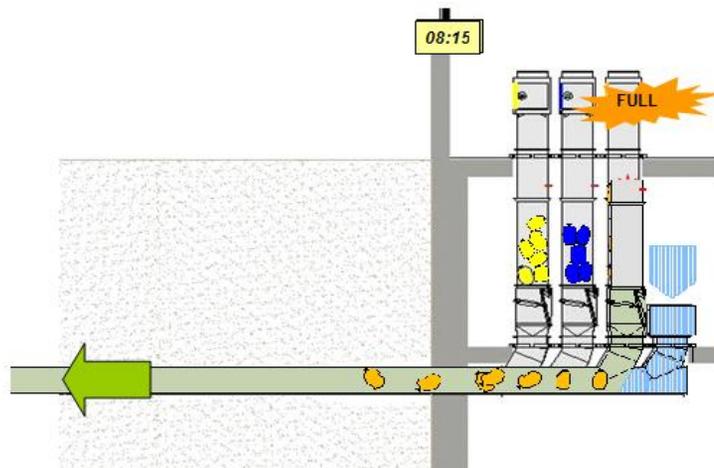
Figura 5.10: Tolvas por fracciones subterráneas



Fuente: Elaboración Propia

El sistema de vertido se resume en la Figura 5.11.

Figura 5.11: Sistema de vertido neumático

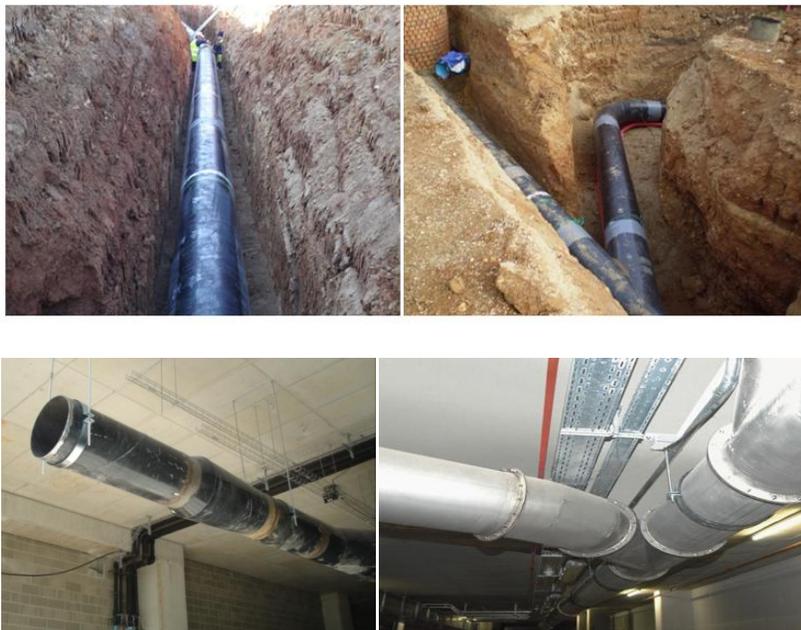


Fuente: ROS ROCA

5.2.2.2. RED DE TRANSPORTE

Es una estructura arbolada de tuberías soterradas por las calles de la ciudad o por tuberías bajo forjado o en galerías, por donde circula el flujo neumático de transporte que arrastra las bolsas de residuos y une la red de vertido de los domicilios con la planta o central de recogida.

Figura 5.12: Red de Transporte de sistema neumático



Fuente: ROS ROCA

La red básica de transporte y de distribución consta de una arteria principal en tubo de acero al carbono aislado de 500 mm de diámetro al cual van a descargar diversas ramificaciones auxiliares procedentes de los buzones, en paralelo a la tubería de acero por donde se transporta el residuo, discurren unas canalizaciones que acompañan al sistema en todo su recorrido y se componen de una acometida eléctrica de potencia, un cable de señal de mando y un tubo de aire comprimido, estos suministros hacen que el sistema sea autónomo y que su alimentación sea exclusiva de la central de aspiración.

5.2.2.3. CENTRAL DE RECOGIDA

Es el lugar desde donde se aspira el residuo, posteriormente se separa por fracciones, se compacta para ser transportado mediante un camión a planta de tratamiento.

La central debe de estar ubicada geográficamente en un lugar equidistante a los puntos de vertido y su distancia máxima de aspiración recomendable ronda los 2 km de radio.

Estas instalaciones, en su concepto fundamental, están estructuradas en base a una serie de equipos de capacidad fija, como los ventiladores, biofiltro, válvulas divisoras, ciclón, grúa, lavador, software, buzones, válvulas, etc. y otros de capacidad adaptable como motores de ventiladores, compactadores y contendedores.

Las principales áreas en las que podemos dividir una central son:

- Área de ventilación.
- Área de compactación.
- Área de depuración de aire.
- Sala de control.

a) Área de ventilación:

El área de ventiladores es el corazón de todo el sistema y bombea el flujo neumático que facilita el transporte de las diferentes fracciones de residuos. El caudal nominal en una central de mediana potencia ronda los 21.000 m³/hora, originando una velocidad al aire de transporte de 30 m/s, y una depresión dinámica de 55 mm.c.a equivalente a 55 kg/m².

Figura 5.13: Sistema de aspiración en la central

Fuente: ROS ROCA

b) Área de compactación:

El residuo se separa del aire en un ciclón, cada uno de ellos llevará su respectivo compactador asociado y estos tienen una alta relación de compactación.

Los compactadores suelen tener un rendimiento muy elevado, llegando a 108 m³/hora de capacidad de producción, posibilitando la recepción de buzones de carga de forma continuada, sin llegar a colapsar el compactador.

c) Área de depuración

El aire utilizado para el transporte del residuo es filtrado en un equipo llamado biofiltro, se trata de una solución verdaderamente ecológica que permite eliminar los olores que, en mayor o menor grado, se producen en el manejo de los residuos sólidos urbanos. Para ello el aire se hace pasar por una masa de madera vegetal con un determinado grado de humedad.

Los biofiltros son capas biológicas de material filtrante, que absorben los olores desagradables generados por la recogida de residuos. El biofiltro tiene la gran ventaja de poderse camuflar en el medio urbano como un jardín, elemento 8 en la Figura 5.8.

La masa o matriz filtrante del biofiltro está formada por triturado vegetal de *Populus alba*, madurado y estabilizado, y una capa de fracción vegetal final que facilita el paso del aire a través de la mezcla.

d) Sala de control.

Es el sistema de visualización y control de toda la instalación que permite la interacción hombre-instalación.

El sistema es autónomo y automático, capaz de ser gestionado a través de un sistema de gestión que permite la interacción con todos los componentes del sistema desde el punto de control de la planta o desde cualquier punto remoto, a través de la web.

El programa de gestión permite controlar todos los parámetros físicos de la instalación, velocidad, presión, rendimiento, estado, etc.

5.3. Aplicación del método a los sistemas de recogida

A continuación aplicaremos el método definido en el Capítulo 4 a los dos casos estudiados: Recogida de residuos contenedorizada y recogida de residuos mediante neumática en la ciudad de Córdoba.

Estructuraremos la confección del índice siguiendo las etapas definidas en la Figura 4.1.

5.3.1 Selección de subíndices

Conforme con el apartado 4.3, seleccionaremos cuatro dimensiones pertenecientes a los factores económicos, medio ambientales, sociales y de eficiencia energética. Además, incluiremos una dimensión adicional que entendemos que es relevante, como vimos en el Apartado 1.1, dados los compromisos existentes con la UE para el cumplimiento del Objetivo 20-20-20 [7]. Esta dimensión adicional será el porcentaje de renovables consumido por cada proceso. Los valores utilizados, siempre que estén disponibles, serán los pertenecientes al año 2009.

Una vez determinadas las dimensiones, debemos seleccionar los indicadores o subíndices.

Tabla 5.3: Dimensiones elegidas

Variable	Dimensión	Unidades	Descripción
X ₁	Eficiencia Energética	kep/t	Cantidad de energía utilizada para recoger una tonelada de residuos
X ₂	Medioambiente	CO ₂ /t	Cantidad de CO ₂ emitido a la atmósfera para recoger una tonelada de residuos
X ₃	Económica	€/t	Cantidad de euros empleados para la recogida de una tonelada de residuos
X ₄	Porcentaje de Renovables	%	Porcentaje de renovables de la energía utilizada.
X ₅	Social	0-10	Grado de las molestias generadas por cada sistema

Fuente: Elaboración propia

Para calcular las tres primeras dimensiones de la Tabla 5.3, se analizarán datos recopilados por SADECO y ROS ROCA para cada uno de los procesos. El porcentaje de renovables se calculará a partir de datos de Red Eléctrica Española y SADECO. La dimensión social del método tradicional se calculará mediante encuesta a la población de ciertos barrios de la ciudad de Córdoba. Para el caso de la recogida neumática, estos valores se asignarán en base a opinión experta ya que la población de Córdoba no disfruta aún del nuevo servicio.

5.3.1.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOGIDA CONTENEDORIZADA

Para calcular la eficiencia energética, se tendrán en cuenta los siguientes consumos: recogida, transporte hasta el complejo medioambiental y limpieza de contenedores de recogida. Se analizarán las 7 zonas que se estiman como más representativas para la posterior comparación en términos de ordenación urbanística y habitantes. Se agregarán los consumos en litros de gasoil de la flota de SADECO que cubrió esas zonas en el año 2009, se transformarán a unidades estándar según la metodología de AIE, y se expresarán en kep/t.

Para calcular el impacto medioambiental, dividiremos el consumo agregado de litros de gasoil entre los kilómetros recorridos en todas las rutas del año 2009 de esas zonas y posteriormente obtendremos la cantidad de dióxido de carbono

emitido por tonelada de residuos recogidos y desplazados al complejo medioambiental.

Para calcular el coste económico, se desglosará entre costes directos e indirectos por fracciones de recogida. El resultado final será el coste de recogida y transporte de una tonelada de RSU.

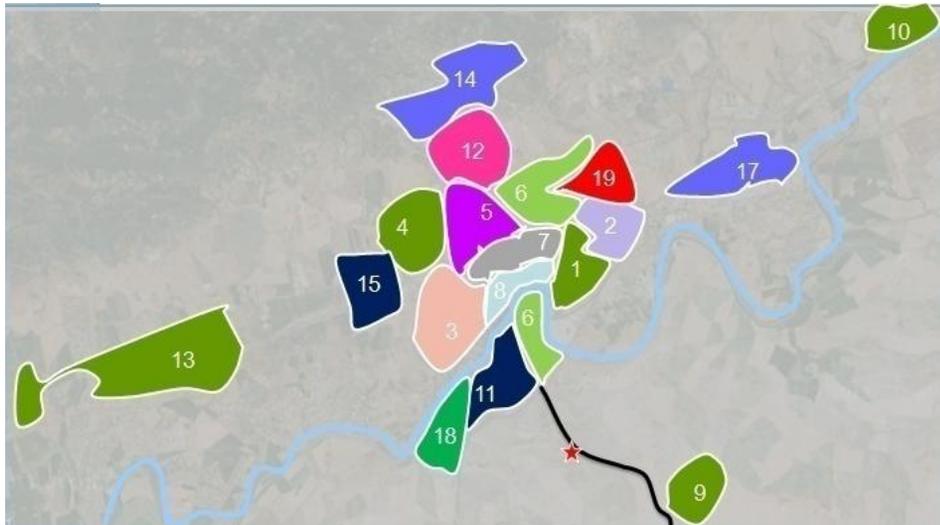
Para el cálculo del porcentaje de renovables se acudirá a la información proporcionada por SADECO para el año 2009 [163].

Para el cálculo de la satisfacción de los ciudadanos de Córdoba se realizará una encuesta de satisfacción con el sistema de recogida de RSU contenedorizada.

INTRODUCCIÓN

La recogida tradicional se realiza como hemos comentado en el apartado anterior: desde el contenedor al camión y en este hasta la planta de tratamiento asociada a esta actividad, donde se encuentra un servicio de mantenimiento y limpieza. Este modelo implica consumo energético exclusivamente de gasoil.

Se calculará la relación entre los litros de combustible consumidos y las toneladas de residuos movidas al año para transportar el contenido de los contenedores de los distintos circuitos de recogida existentes hasta la planta de tratamiento, como muestra la Figura 5.14. El complejo medioambiental se encuentra aproximadamente a 8 km del centro de la ciudad y se indica mediante una estrella en la Figura 5.14.

Figura 5.14: Mapa de circuitos**Fuente: Elaboración propia**

En la Tabla 5.4, indicamos la correspondencia entre circuitos y barriadas, así como el volumen útil del camión que realiza la recogida y el número de contenedores de cada circuito.

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para poder analizar de forma homogénea los datos aportados, hemos elegido los barrios que son recogidos por camiones de una capacidad de 25 m^3 , que serían los utilizados en las nuevas zonas de expansión de la ciudad. Se han desechado los procedentes de la recogida de residuos en el centro histórico debido a que Córdoba es ciudad Patrimonio de la Humanidad y los compromisos adquiridos con la UNESCO⁷⁹ impiden la realización de obras de ensanche y adaptación que hacen que la recogida tradicional con camiones de 25 m^3 no sea posible y por tanto se realiza con menor capacidad y mayor intervención humana siendo menos económica que en un entorno de amplias avenidas de planta

⁷⁹ United National Educational Scientific and Cultural Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.

cuadrada. También se han eliminado los circuitos de las zonas industriales, mercados y zonas periféricas con densidades de población reducida. Se eligen para el caso de estudio 7 circuitos tipo (nº 1, 2, 4, 5, 11, 12, 15) de la Tabla 5.4, que suponen aproximadamente la tercera parte de los RSU y de los contenedores de Córdoba en 2009.

Tabla 5.4: Circuitos de recogida de residuos en la ciudad de Córdoba

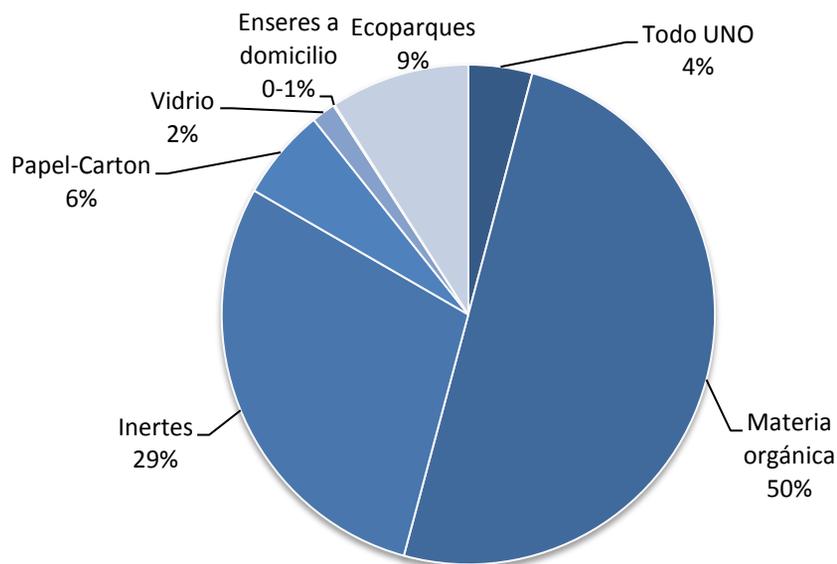
circuito	Barriadas	Camiones	Nº cont	Tipo de recogida	Toneladas de residuos
1	Fuensanta -Viñuela	25m ³	330	Lateral	11.078,89
2	Levante-Fátima	25m ³	314	Lateral	11.807,91
3	C. Jardín- Fleming	25m ³ -14m ³	262	Lateral	9.198,03
4	Tablero-Islas-Marías	25m ³	331	Lateral	10.027,54
5	Centro-Margaritas	25m ³	340	Lateral	11.194,24
6	C. Verdad-Naranjo-Cañero-S. Rosa	14m ³	313	Lateral	10.486,56
7	Centro-Casco histórico	14-16m ³	139	Trasera	6.275,34
8	Casco Histórico	5m ³	92	Trasera	5.694,35
9	Esperia-Santa Cruz	14m ³	102	Lateral	2.477,94
10	Alcolea	25m ³	532	Lateral	6.482,91
11	Sector Sur-Guadalquivir	25m ³	314	Lateral	10.850,28
12	Brillante	25m ³	289	Lateral	5.448,07
13	Higuerón - Villarrubia	25m ³	285	Lateral	7.696,72
14	Sierra	25m ³	244	Lateral	4.355,59
15	Palmeras- Azahara	25m ³	143	Lateral	5.713,60
16	Mercacordoba - Villarrubia	25m ³	115	Lateral	4.020,39
17	Pol Quemadas	23m ³	1183	Trasera	2.460,13
18	Pol. Torrecillas	23m ³	710	Trasera	1.702,93
19	Pol Chinales- Pedroches	23m ³	412	Trasera	1.569,08
20	Mercados	5-14m ³	164	Trasera	2.003,69
	SUBTOTAL 2009		6.894		196.404,20
	TOTAL barrios (circ. 1, 2, 4, 5, 11, 12, 15)		2.061		66.120,53

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

También se elige una parte de las fracciones que se gestionan en Córdoba de las que actualmente se tratan, que comprenden: orgánica, envases e inertes, papel y cartón y vidrio.

Para la confección de nuestro subíndice, nos centraremos en el estudio de las siguientes fracciones: orgánica, inertes y envases, ya que representan casi el 80 % de la basura domiciliaria como muestra la Figura 5.15 y además son las fracciones con las que realizaremos la comparativa con el transporte neumático [158].

Figura 5.15: Proporción de las fracciones de RSU en Córdoba



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SADECO

Los circuitos elegidos para el estudio se recogen todos los días de la semana y realizan dos viajes al CMC al día.

La Tabla 5.5 resume los resultados de la Tabla 5.4 y los concreta para los circuitos que se seleccionan para la confección del subíndice.

Tabla 5.5: Circuitos seleccionados para la confección del subíndice de eficiencia energética

Circuito	Barriadas	Camiones	Nºcont	Turno	Tipo de recogida
1	Fuensanta-Viñuela	25m3	330	N	Lateral
2	Levante-Fátima	25m3	314	N	Lateral
4	Tablero-Islas-Marías	25m3	331	N	Lateral
5	Centro-Margaritas	25m3	340	N	Lateral
11	Sector Sur-Guadalquivir	25m3	314	M	Lateral
12	Brillante	25m3	289	M	Lateral
15	Palmeras-Azahara	25m3	143	M	Lateral

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

En este punto existen consideraciones a tener en cuenta, como por ejemplo que un mismo vehículo puede realizar diferentes actividades y su gasto no corresponderá al de la actividad en estudio.

Para resolver el problema y poder imputar los costes correspondientes a cada actividad procederemos a ajustar los datos mediante un factor que denominaremos “factor km”, que proporciona una relación entre los km recorridos por el camión que normalmente realiza la actividad (aunque también realice otras) al cabo del año y los km que realmente se recorren en el circuito de nuestro interés⁸⁰.

La Tabla 5.6 recoge los datos por fracciones de la recogida de RSU para los circuitos elegidos e incorpora el “factor km”, tal y como se han procesado datos similares para SADECO en estudios anteriores [157]. Además, para todas las fracciones y circuitos se transforma la cantidad de litros de gasoil por tonelada de RSU a kep/t aplicando la siguiente relación publicada por la AIE [164, 165] :

$$1 \text{ kep} = 1 \text{ litro diesel} \cdot 0,873417722$$

⁸⁰ medidos con el cuenta kilómetros del camión y reflejados en el parte diario del conductor.

Tabla 5.6: Consumo energético por los camiones de recogida según circuito

Recogida	Cto	Toneladas (t)	Litros (l)	l/t	kep/t
INER	1	3.386	21499,8131	6,349	5,586
ORG	1	7.693	22937,5313	2,982	2,623
INER	2	3.919	24765,6473	6,319	5,559
ORG	2	7.888	27703,3811	3,512	3,090
INER	4	3.211	25647,4526	7,987	7,026
ORG	4	6.816	27090,4238	3,974	3,496
INER	5	3.681	25.429,8164	6,908	6,077
ORG	5	7.513	27.110,6094	3,608	3,175
INER	11	3.757	19.938,2818	5,308	4,669
ORG	11	7.094	20.823,8432	2,936	2,583
INER	12	1.672	22.045,38	13,185	11,516
ORG	12	3.776	19.962,7855	5,287	4,617
INER	15	2.005	4.474,02206	2,231	1,963
ORG	15	3.708	18.819,7707	5,075	4,465
TOTAL		66.120	308.249		

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Tabla 5.7: Número de contenedores según tipo de recogida

Tipo de recogida	Nº de contenedores
Lateral	3.914
Trasera	2.980

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

SADECO nos facilita datos de consumo de los lavacontenedores laterales para todos los circuitos, que en 2009 consumieron 28.017,18 litros de combustible. Todos los camiones de 25m³ de SADECO que cubren los circuitos seleccionados son de recogida lateral, como puede verse en la Tabla 5.5. La Tabla 5.8 muestra el número de contenedores atendiendo a tipo de recogida. El consumo en litros de combustible (expresado como L_{rl}) por contenedor de recogida lateral será:

$$L_{rl} = 28.017,18 / 3914 = 7,1582 \text{ l/contenedor}$$

Tabla 5.8: Consumo energético de los lavacontenedores por circuito

Recogida	circuito	contenedores	Toneladas	litros	l/t	kep/t
INER	1	160	3.386	1.145,31	0,33	0,30
ORG	1	170	7.693	1.216,89	0,16	0,14
INER	2	156	3.919	1.116,68	0,28	0,25
ORG	2	158	7.888	1.131,00	0,14	0,13
INER	4	166	3.211	1.188,26	0,37	0,32
ORG	4	165	6.816	1.181,10	0,17	0,15
INER	5	171	3.681	1.224,05	0,33	0,29
ORG	5	169	7.513	1.209,74	0,16	0,14
INER	11	159	3.757	1.138,15	0,30	0,26
ORG	11	155	7.094	1.109,52	0,16	0,14
INER	12	145	1.672	1.037,94	0,621	0,54
ORG	12	144	3.776	1.030,78	0,273	0,24
INER	15	75	2.005	536,87	0,27	0,23
ORG	15	68	3.708	486,76	0,131	0,11

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

La columna litros de la Tabla 5.8 se estima multiplicando la columna contenedores por L_{ri} . El resultado de consumos en kep/t es la media ponderada de los valores de cada circuito en kep/t y las toneladas transportadas. Así, el resultado del consumo de los lavacontenedores es de 0,19 kep/t. Operando igual y realizando la media ponderada de los datos de la Tabla 5.6, el consumo de cada camión es de 4,09 kep/t. El gasto total es el resultado de sumar ambas magnitudes, como muestra la Tabla 5.9.

Tabla 5.9: Gasto energético en la Recogida Tradicional de Residuos

kep/t camion	kep/t lavacontenedores	Gasto energético total en kep/t en energía secundaria
4,09	0,19	4,28

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

El subíndice de eficiencia energética sin normalizar para la RSU contenedorizada o $X_{1C} = 4,28$ kep/t.

CÁLCULO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Para el cálculo de la variable medioambiental, tenemos que calcular la cantidad de litros de combustible consumidos en los circuitos seleccionados y dividirlos por las toneladas de RSU transportadas. Sólo se considerarán consumos que se llevan a cabo en el ámbito urbano, incluidos los trayectos al CMC.

SADECO nos ha facilitado los datos de combustible consumido por vehículo. A partir de ellos realizaremos los cálculos. De los datos anteriores Tabla 5.6 y Tabla 5.8, podemos calcular la media ponderada de litros por tonelada para cada tipo de recogida.

Tabla 5.10: Litros de combustible consumido por tonelada de RSU

l/t camion	l/t lavacontenedores	l/t tradicional
4,662	0,22	4,882

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Según Organizaciones del Cambio Climático, el litro de gasoil produce 2,79 Kg de CO₂⁸¹[166].

Tabla 5.11: Emisiones de CO₂ por tonelada de RSU

kgCO ₂ /t camión	kgCO ₂ /t lavacontenedores	Emisiones totales en kgCO ₂ /t
13,006	0,613	13,621

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Por tanto, el subíndice de medio ambiente sin normalizar para la RSU contenedorizada o $X_{2C} = 13,621 \text{ kgCO}_2$.

⁸¹ Anexo 8 del informe Inventarios GEI 1990-2008 (2010) Densidad del gasoil C a 15°C :900kg/m³ (Real decreto 1088/2010).

CÁLCULO DEL COSTE ECONÓMICO

SADECO nos ha proporcionado datos desagregados del coste de la recogida de la fracción orgánica e inerte. Procederemos calculando los costes directos e indirectos de ambas fracciones y calculando el coste medio ponderado en base a las toneladas transportadas de cada fracción.

Tabla 5.12: Coste medio de recogida selectiva lateral de orgánica por circuito para 2009

COSTES	EUROS
DIRECTOS	
Personal de recogida	53.480,73
Material de recogida	54.513,27
Lavado	7.717,42
INDIRECTOS	
Costes indirectos de servicio (7%)	8.099,80
Costes indirectos de inspección (3%)	3.471,34
Costes de formación (4%)	4.628,45
Costes de administración (6%)	6.942,68
TOTAL	138.853,71 €

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Tabla 5.13: Coste medio de recogida selectiva lateral de inerte por circuito para 2009

COSTES	EUROS
DIRECTOS	
Personal de recogida	53.480,73
Material de recogida	42.326,43
Lavado	7.489,80
INDIRECTOS	
Costes indirectos de servicio (7%)	7.230,79
Costes indirectos de inspección (3%)	3.098,91
Costes de formación (4%)	4.131,88
Costes de administración (6%)	6.197,82
TOTAL	123.956,35 €

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

La Tabla 5.12 y la Tabla 5.13, proporcionan los costes de las dos fracciones estudiadas para cada circuito. La Tabla 5.8 recoge, entre otros datos, las toneladas anuales por fracciones de cada circuito. Esto permite confeccionar la

Tabla 5.14 de toneladas anuales de cada fracción de RSU de los circuitos seleccionados.

Tabla 5.14: Toneladas anuales de cada fracción de RSU

Fracción de RSU	Toneladas anuales(t)
Orgánica	44.489
Inerte	21.622

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

La Tabla 5.15 muestra las toneladas medias por fracción y circuito, para los 7 circuitos elegidos y el coste medio para cada fracción, resultado de dividir los costes totales de cada fracción entre las toneladas anuales recogidas.

Tabla 5.15: Toneladas y coste medio anual de cada fracción de RSU

Fracción de RSU	Toneladas medias anuales(t)	Coste medio anual por circuito(€)	Coste medio(€/t)
Orgánica	6.356	138.853,71	20,85
Inerte	3.090	123.956,35	40,12

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Por último, el coste por tonelada medio de los dos tipos de fracciones recogidas se obtendrá realizando la media ponderada de los costes por fracción y circuito entre las toneladas por fracción de la Tabla 5.16.

$$X_{3C} = \frac{6.356 * 20,85 + 3.090 * 40,12}{6.356 + 3.090}$$

Tabla 5.16: Coste medio de la recogida de contenedorizada de RSU

Coste medio orgánica	Coste medio inertes	Coste medio ponderado total
20,85	40,12	27,82

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Por tanto, el subíndice de coste económico sin normalizar para la RSU contenedorizada o $X_{3C} = 27,82$ €/t.

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE RENOVABLES

El porcentaje de renovables es del 0%, ya que el total de la energía procede de gasoil, fuente no renovable y SADECO nos informa que no se ha utilizado durante 2009 fuente renovable en la recogida contenedorizada lateral que pudiéramos tener en cuenta en nuestros cálculos⁸².

Tabla 5.17: Porcentaje de renovables en la recogida de contenedorizada de RSU

% renovables camión	% renovables lavacontenedores	% renovables total
0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

Por tanto, el subíndice del porcentaje de renovables sin normalizar para la RSU contenedorizada o $X_{4C} = 0$.

CÁLCULO DE LA SATISFACCIÓN DE LA CIUDADANÍA

La satisfacción de la ciudadanía se calculará mediante la realización de un muestreo estadístico de la población de las zonas elegidas.

Para llegar a este objetivo, la metodología empleada se divide en las siguientes fases:

- La revisión bibliográfica de la materia con los principales actores implicados [167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 163].
- La realización del trabajo de campo para obtener los datos directamente de las fuentes primarias, basado en la realización de encuestas a los usuarios. Este trabajo se lleva a cabo con un doble objetivo:

⁸² Se hace notar que la intención de la empresa fue la de mejorar el mix energético de su parque automovilístico en 2009, ya que en ese año incorporaron 4 vehículos eléctricos para la limpieza viaria e inspección [165]. Por otra parte, LIPASAN en Sevilla posee algunos vehículos capaces de utilizar biodiesel en la recogida de RSU desde ese año.

- Descubrir y profundizar en el perfil sociodemográfico de los usuarios.
- Analizar las opiniones de los usuarios.
- La investigación finaliza con la revisión y codificación de la información recogida y el posterior análisis estadístico del que se derivan las conclusiones principales de la tesis.

DISEÑO MUESTRAL

Los datos utilizados en este trabajo provienen de una única encuesta. De acuerdo con la población total del municipio, consideramos el tamaño suficiente de la muestra de estudio en 378 encuestas, garantizando la representatividad estadística de la población. Las encuestas se realizaron de manera aleatoria. La encuesta se distribuyó de manera viral por las redes de contactos de la autora y así como por la de aquellas personas que las iban cumplimentando. También se utilizó el servicio de distribución electrónica de la Universidad de Córdoba, con alcance a todos los profesores de la misma. Las encuestas cumplimentadas se agregaban de manera automática utilizando la tecnología de Google Docs. También se cumplimentaron encuestas en los barrios en zonas de abundante paso. La población de las zonas encuestadas, supone un total de 128.937 habitantes.

El cuadro siguiente recoge la ficha técnica de la investigación.

<p>Ámbito geográfico: Local (Córdoba).</p> <p>Universo: Ciudadanos de ambos sexos.</p> <p>Tamaño de la muestra: 378 de 387 encuestas realizadas.</p> <p>Error muestral: 5,14 %.</p> <p>Sistema de muestreo: Aleatorio simple.</p> <p>Período de recogida de información: Abril-Junio 2011.</p>
--

INSTRUMENTO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Las preguntas de los cuestionarios se han diseñado en base a la información obtenida de SADECO y de acuerdo con la metodología existente en la literatura

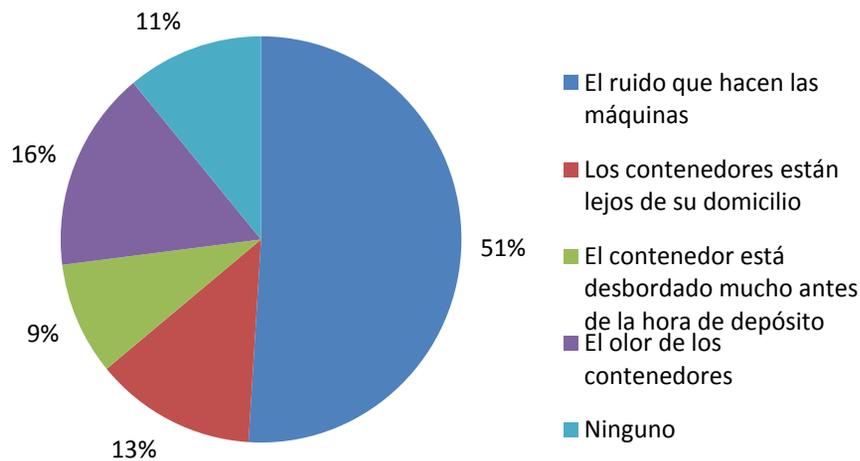
científica y, a su vez, se ha seguido un proceso continuo de depuración. En este proceso se fue modificando paulatinamente su contenido inicial, de forma que las distintas cuestiones quedaran formuladas de forma ordenada y comprensible para facilitar las respuestas y evitar posibles dudas que llevaran a los encuestados a no responder ítems.

En ocasiones anteriores, SADECO ha evaluado la calidad de su servicio en base al motivo de las quejas que se realizan a lo largo del año a su servicio telefónico de atención al cliente, como muestra la Tabla 5.18. Además, SADECO también realizó una encuesta telefónica donde más del 50% de los usuarios considera que no hay ningún problema [173, 163], como muestra la Gráfica 5.5.

Tabla 5.18: Quejas de los usuarios de SADECO al teléfono de atención al cliente

Motivo de queja	Nº quejas 2008	Nº quejas 2009
Ubicación del contenedor	156	174
Incremento de contenedores	40	36
Resto alrededor contenedor	33	16
Limpieza/desinfección contenedor	39	44
Desborde contenedor	68	10
No vaciado de contenedores	n/d	99
Horarios de recogidas	n/d	6
Otros	80	97
TOTAL	413	482

Fuente: Elaboración propia a partir de memoria SADECO 2008-2009

Gráfica 5.5: Problemas de la recogida de RSU

Fuente: Elaboración propia a partir de SADECO 2009

El tratamiento de los cuestionarios recibidos se llevará a cabo mediante el procesamiento de las respuestas codificadas en una base de datos creada al efecto en el programa estadístico SPSS⁸³ o similar.

El cuestionario constará de 4 bloques y se reproduce en el Anexo I. Incluye la mayor parte de las preguntas y quejas recogidas por SADECO en sus estudios de calidad previos:

BLOQUE 1: Aspectos cualitativos

Este bloque consta de una pregunta semicategorizada:

- Ubicación.

BLOQUE 2: Perfil sociodemográfico

⁸³ Statistical Package for the Social Sciences

En este bloque se incluyen las variables asociadas a las características personales del encuestado:

- Sexo.
- Edad.
- Nivel de estudios finalizados.

BLOQUE 3: Aspectos cualitativos de la recogida de RSU

En este bloque se incluyen variables categorizadas en escala 0-10, donde 0 es el mejor resultado posible (no molesta) y 10 el peor (molesta mucho).

- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por desbordamiento del contenedor en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por ruido en la recogida en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por olores del contenedor en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la lejanía del contenedor en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el horario de recogida de los contenedores en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la ubicación del contenedor en el sistema tradicional?
- ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el tráfico y contaminación de camiones en el sistema tradicional?

BLOQUE 4: Conocimiento de la recogida neumática

Este bloque consta de una pregunta categorizada:

- ¿Conoce el sistema de recogida de residuos mediante neumática que utiliza tuberías bajo tierra y que desplaza los residuos mediante flujos de aire?

BLOQUE 5: Comentarios

En este bloque se permite la libre expresión de comentarios del encuestado.

- Antes de terminar, si quiere hacer alguna observación, puede hacerlo en este espacio.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS A LA CIUDADANÍA

PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO DE LA MUESTRA

Analizando las variables género, edad y nivel de estudios finalizados, definimos un perfil sociodemográfico del usuario del servicio de recogida municipal de residuos sólidos urbanos.

Tabla 5.19: Perfil sociodemográfico

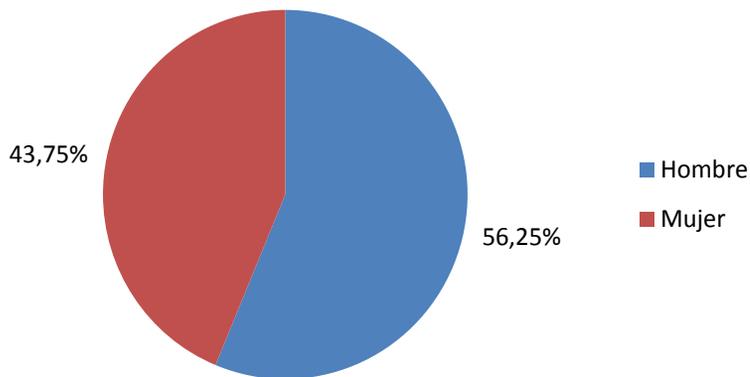
VARIABLE	FRECUENCIA	%
GÉNERO		
Hombre	216	56,25
Mujer	168	43,75
EDAD		
Menor de 18 años	16	4,17
Entre 18 y 29 años	90	23,44
Entre 30 y 44 años	156	40,63
Entre 45 y 64 años	116	30,21
Más de 65 años	6	1,56
ESTUDIOS		
Sin estudios	20	5,18
EGB o ESO	14	3,63
Bachillerato o FP	89	23,06
Diplomatura, Ingeniero Tec. o Grado	81	20,98
Licenciatura, Ingeniero o Master	126	32,64
Doctor	54	13,99
Otro	2	0,52

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 5.19 y Gráfica 5.6, predominan los hombres (56,25 %) sobre las mujeres (43,75 %). En cuanto al rango de edad,

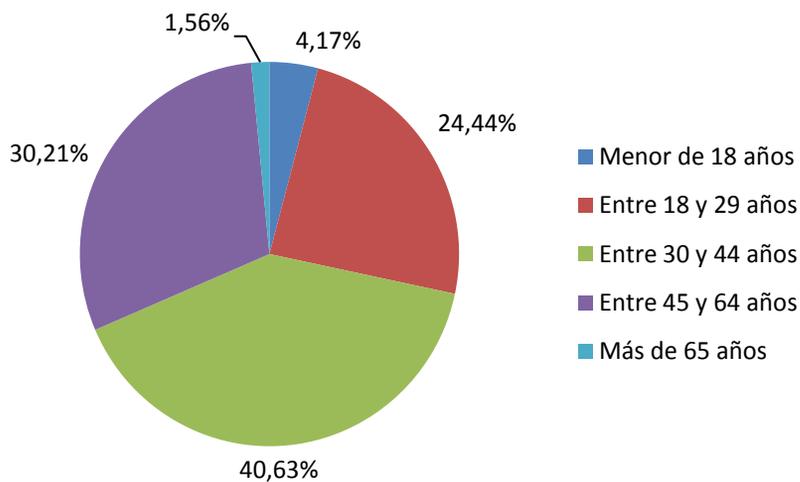
como muestra la Tabla 5.19 y Gráfica 5.7, hay prevalencia de la franja de edad 30-64 con un porcentaje de 70,84 %.

Gráfica 5.6: Proporción por sexo de la muestra



Fuente: Elaboración propia

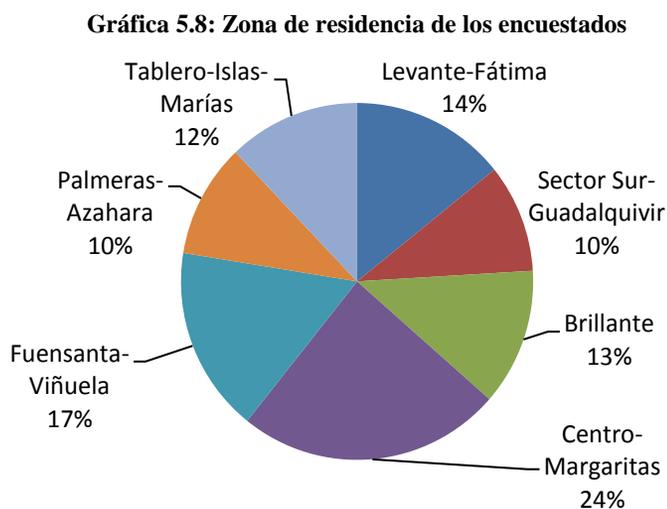
Gráfica 5.7: Distribución por edades de la muestra



Fuente: Elaboración propia

ZONA DE RESIDENCIA DE LOS ENCUESTADOS

Podemos observar en la Gráfica 5.8 que la muestra es bastante homogénea en términos de ubicación de los encuestados.



Fuente: Elaboración propia

PROCESAMIENTO DE LOS CASOS

Como muestra la Tabla 5.20, al menos 378 de 388 encuestados han contestado a todas las preguntas que forman nuestro índice social,

Tabla 5.20: Valoración de molestias de contenedorizada

Molestias	Media	N	Desviación Típica
Desbordamiento	6,25	387	2,854
Ruido	5,59	386	3,136
Olor	7,14	385	2,693
Distancia al contenedor	4,06	387	3,185
Contaminación	5,48	384	2,939
Horario	4,54	378	3,189
Ubicación del contenedor	4,30	381	3,138

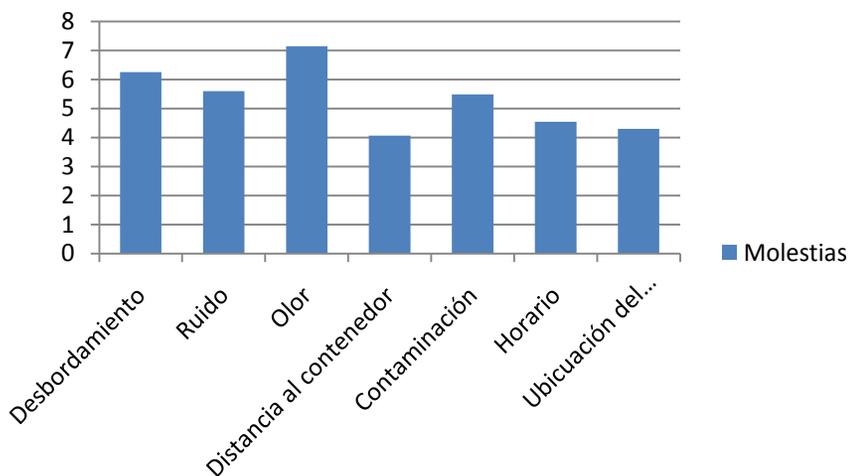
Fuente: Elaboración propia

Destacamos de la Gráfica 5.9, que las molestias más severas son los olores, el desbordamiento de contenedores y el ruido en ese orden. Este indicador social se confecciona agregando las molestias con igual grado de importancia relativa. Por tanto:

$$X_{5C} = (6,25+5,59+7,14+4,06+5,48+4,54+4,30)/7$$

El subíndice social sin normalizar para la RSU contenedorizada o $X_{5C} = 5,33$.

Gráfica 5.9: Valoración de molestias para contenedorizada



Fuente: Elaboración propia

Recordamos que 0 era no molesta y 10 molesta mucho, podemos indicar que de los 4 de las 7 variables sociales superan el valor 5, lo que significa que molesta más de lo normal y solo 3 se encuentra entre 5 y 4, por lo que en general, el indicador X_{5C} , representa que en general la recogida contenedorizada de residuos es molesta.

5.3.1.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOGIDA NEUMÁTICA

Para calcular la eficiencia energética, se tendrán en cuenta los siguientes consumos: recogida neumática y compactación de los RSU en kWh en la central neumática y transporte hasta el complejo medioambiental mediante camiones. Se analizará una zona equivalente mediante datos aportados por fabricante ROS ROCA, ya que la central en estudio aún no se encuentra en actividad. Se agregarán todos los consumos y se transformarán a unidades estándar según la metodología de AIE, y se expresarán en kep/t.

Para calcular el impacto medioambiental, determinaremos la energía primaria consumida por el sistema neumático y con datos de ENDESA⁸⁴ del mix energético nacional, determinaremos la fracción de combustibles fósiles y por tanto de emisiones en kgCO₂. En esta fracción estará excluido el porcentaje de renovables y nucleares, que no producen emisiones de gases de invernadero. Para la parte de traslado al vertedero, utilizaremos datos de consumos de gasoil de camiones. Utilizando tablas de conversión de la AIE, obtendremos la cantidad de dióxido de carbono emitido por tonelada de residuos recogidos y desplazados al complejo medioambiental.

Para el cálculo del porcentaje de renovables se acudirá a la información proporcionada por ENDESA del mix energético nacional para el año 2009.

Para calcular el coste económico se ha entrevistado a personal técnico de ROS ROCA que nos ha facilitado datos que se desglosarán entre costes directos e indirectos. El resultado final será el coste de recogida y transporte de una tonelada de RSU hasta el CMC.

Para el cálculo de la satisfacción se asignarán valores fundamentados en base a opinión experta, ya que al no estar implantado en Córdoba no se puede realizar un muestreo con los usuarios finales.

⁸⁴ Empresa Nacional de Electricidad S.A.

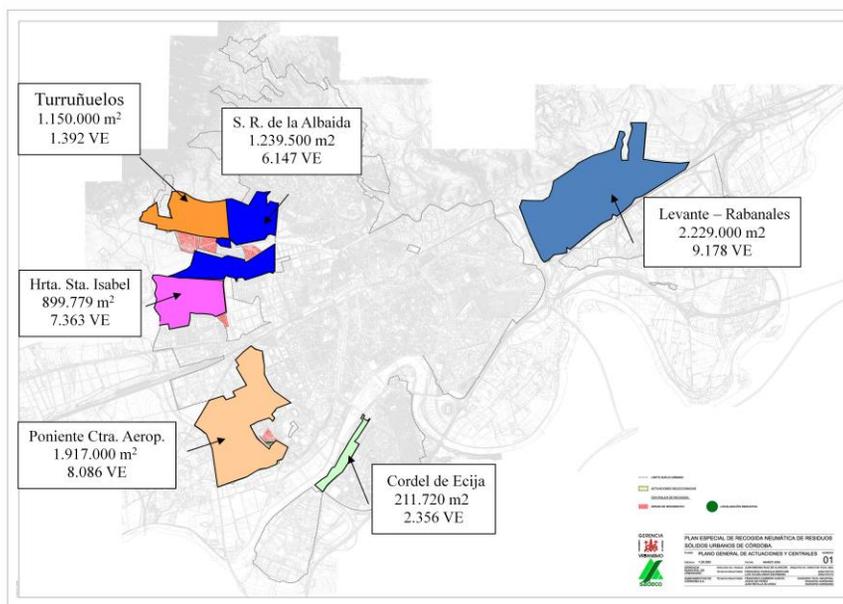
INTRODUCCIÓN

El Ayuntamiento de la ciudad de Córdoba, a través de Gerencia de Urbanismo y SADECO, aprueban en marzo de 2005 el RNRM (Plan especial de Recogida Neumática de Residuos sólidos urbanos Municipales de Córdoba).

El 18 de abril de 2006 el Ayuntamiento de Córdoba, adjudica a ROS ROCA S.A. el contrato de consultoría para la redacción de Proyecto básico de implantación de la recogida neumática de residuos municipales de la ciudad de Córdoba.[174]

El proyecto contempla dar servicio de recogida neumática en las áreas de nueva urbanización en Córdoba, que acogerá en el futuro a 34.522 viviendas equivalentes: 110.471 habitantes [159]. Se trata, por tanto, del mayor proyecto de recogida neumática de residuos sólidos de Europa.

Figura 5.16: Zonas de expansión prevista en el Plan General de Ordenación Urbanística 01 de Córdoba



Fuente: Diz

Como se puede comprobar en la Figura 5.16, las zonas sombreadas tendrán implantado el sistema de RNR⁸⁵ en el futuro próximo y el resto seguirá utilizando el sistema contenedorizado. El proyecto se realiza en base a tres instalaciones independientes distribuidas por áreas geográficas.

La central nº 1, tendrá el siguiente campo de actuación:

- Ampliación de San Rafael de la Albaida.
- Huerta de Santa Isabel (parcial de PAU⁸⁶ O-3 y PAU O-4).
- Turruñuelos.

La central nº 2, tendrá el siguiente campo de actuación:

- Poniente carretera Aeropuerto.
- Cordel de Écija.

La central nº 3, tendrá el siguiente campo de actuación:

- Ciudad de Levante.

En estos momentos, la central de recogida neumática nº 1, se encuentra en fase de finalización, se encuentra instalada la red de vertido y transporte a falta de la central de recogida. Esta central dará una cobertura total 12.325 VE⁸⁷ y actuará sobre un radio de cobertura de 2 km. Estudiaremos el sistema neumático únicamente para la central nº1.

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En estos momentos no se dispone de los datos de gasto energético de la central nº1 de recogida neumática de Córdoba, ya que, como hemos comentado

⁸⁵ Recogida Neumática de Residuos.

⁸⁶ PAU Plan General de Ordenación Urbanística.

⁸⁷ Viviendas equivalentes.

anteriormente, se encuentra en fase de proyecto. Para el cálculo de los consumos energéticos se utilizarán los datos proporcionados por ROS ROCA [174], entidad que realizará la implantación de la central.

El gasto energético del transporte neumático será el correspondiente al consumo de energía eléctrica en kWh de la central de recogida neumática, más el consumo de gasoil de los camiones que transportan los contenedores hasta el CMC.

El consumo de energía eléctrico de la neumática se localiza en la central y se registra a través de analizadores de redes. El 85 % del consumo proviene de la central de ventilación, siendo el restante gastos fijos que serían: el 10% iluminación de la planta y renovación del aire y otros consumos auxiliares el 5% restante.

Dado que la central nº 1 posee una capacidad de procesamiento de 20 t/día, si estimamos un porcentaje de carga del 75%, puesto que SADECO estima que esa es la carga que soporta el modelo contenedorizado, según los datos de Tabla 5.21: Consumo energético de la central según la carga, esto supone un consumo energético de 59,9 kW/h y una capacidad de procesamiento anual de 5.475 t.

Tabla 5.21: Consumo energético de la central según la carga

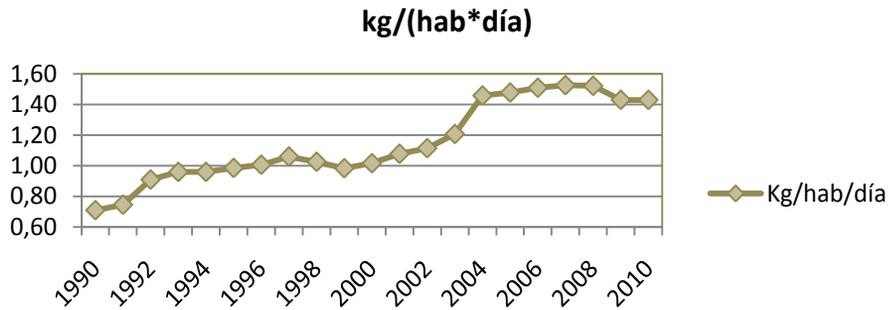
Porcentaje de carga	Consumo energético en kWh/t
10%	97,5
25%	77
50%	66,4
75%	59,9
100%	58,5

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA

Para poder alcanzar el 100% de carga de estas instalaciones será necesario que se cumplan dos premisas: que el número de habitantes sea el previsto y que la producción por habitante se ajuste a las premisas establecidas (2 kg por habitante y día). Como se observa en la Figura 5.17, esta estimación está por

encima de los valores históricos de la capital cordobesa, cercanos al 75%, lo que coincide con las estimaciones de SADECO.

Figura 5.17: Evolución temporal de la generación de residuo por habitante y día



Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes

El consumo de energía final se realiza mediante el uso de electricidad, cuya unidad es el kWh. Para poder comparar con el consumo de energía contenedorizada es necesario transformar a kep.

Según la AIE [164]:

$$1\text{kWh} = 0,0000859845 \text{ tep} = 0,0859845 \text{ kep}$$

Tabla 5.22: Coste energético por la central de neumática en kWh/t y kep/t

t	kWh/t	kep/t
5,475	59,9	5,150472915

Fuente: Elaboración propia

El residuo que llega a la central neumática queda separado por fracciones y compactado en contenedores de 30 m³. Una vez compactado se transporta al CMC. La distancia del trayecto ida y vuelta es de 15,28 km.

Según SADECO, los camiones grúa que transportarán contenedores de 20 pies y carga útil de 30 m³, tienen un consumo medio de 76,182 l/100 km. Para la

distancia de 15,28 km estos datos se corresponden con un consumo de 11,4 litros por trayecto.

ROS ROCA calcula que los trayectos totales realizados a vertedero cada año serán 156, de los cuales, 52 trayectos serán para envases e inertes (1 vez por semana) y 104 serán para residuos orgánicos (dos veces por semana)⁸⁸. De media, transportarán aproximadamente 35 toneladas por viaje.

Tabla 5.23: Coste energético de Central-CMC

l trayecto	kep/trayecto	Nº trayectos	kep	t	kep/t
11,4	10,24	156	1.597,44	5.475	0,29

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, el gasto energético en la planta de recogida neumática será el correspondiente a la suma del producido en la central y en los trayectos al CMC.

Tabla 5.24: Coste energético en la Recogida Neumática de Residuos

kep/t central	kep/t trayecto	Gasto energético en la RNR kep/t
5,150472915	0,29	5,44

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, el subíndice de eficiencia energética sin normalizar para la RSU neumática o $X_{IN} = 5,44$ kep/t.

⁸⁸ frente a los 1.424 viajes totales anuales de la tradicional para cada circuito (2 veces diarias por cada fracción). Esto reduciría el tránsito a vertedero a una décima parte respecto de la recogida tradicional contenedorizada.

CÁLCULO DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Para el cálculo de esta variable sólo tendremos en cuenta el transporte por carretera, ya que la energía primaria del resto se genera fuera del ámbito urbano en centrales de energía y no genera un impacto a nivel municipal.

Sin embargo, también calcularemos las emisiones extra-urbanas para tomar conciencia del volumen total de residuos generados.

Las emisiones de CO₂ del sistema eléctrico no son una cantidad fija como pueda ser la cantidad de emisiones de CO₂ del diesel o del carbón y cambia, cada mes, cada día y cada hora. En España, las emisiones de CO₂ para el mix energético de generación eléctrica para el año 2009 a nivel nacional fueron de 0,233 kg CO₂/kWh⁸⁹ [175].

Tabla 5.25. Emisiones de Buzón – Central en base a los Mix Energéticos de diferentes años

kwh/t	kgCO2/t 09	kgCo2/t 10	kgCo2/t 11
59,9	13,9567	9,9434	11,0216

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA Y SADECO 2009

Según la memoria de ROS ROCA, la central tendrá una instalación fotovoltaica que generará, una producción anual de 24.336 kWh/año. Esta producción, respecto a una generación con combustibles de origen fósil, supone una reducción en la emisión de gases de 14.115 kgCO₂.

Como vimos en la Tabla 5.22, la central requiere de 59,9 kWh/t y procesa anualmente 5.475 toneladas. Por lo tanto anualmente consume 327.952,5 kWh.

Por otra parte, como ya hemos visto, la instalación fotovoltaica produce 24.336 kWh/año y será 100 % renovable, es decir producirá 0 kg CO₂/kWh. Por tanto, de los 327.952,5 kwh, 303.616,5 kWh están sujetos al porcentaje de renovables del mix energético de 2009 y el resto a emisiones 0.

⁸⁹ Este valor varía según el mix energético de cada año, en 2010 fue de 0,166Kg/kWh y en 2011 0,184 Kg/kWh, lo que puede suponer una rebaja de entre el 20% al 30% en futuros escenarios.

Esto nos arroja unas emisiones por tonelada para el trayecto buzón-central de recogida neumática, que se generan en el ámbito extra-urbano y que no vamos a considerar, son de:

$$303.615,5 \text{ kWh} \cdot \frac{0,233 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}}{5.475 \text{ t}} = 12,92 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t}}$$

Por último, el consumo Central-CMC estimado a partir de los datos proporcionados por SADECO es de 11,4 litros de gasoil por trayecto. Puesto que se realizarán 156 trayectos al año, se consumirán 1778,4 litros al año, que divididos entre las 5.475 toneladas a transportar nos dan una relación de 0,324821918 l/t. Como ya vimos, el litro de gasoil produce 2,79 Kg de CO₂. Esto nos arroja emisiones las siguientes emisiones por tonelada para el trayecto Central de recogida neumática-CMC de:

$$0,325 \frac{\text{l}}{\text{t}} \cdot 2,79 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{l}} = 0,906 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{t}}$$

Tabla 5.26. Emisiones de Central Neumática-CMC

l trayecto	Nº trayectos	l/año	t	l/t	kgCO ₂ /t central-cmc
11,4	156	1778,4	5475	0,325	0,906

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA Y SADECO 2009

Tabla 5.27: Emisiones de CO₂ por tonelada de RSU generadas en ámbito urbano y extraurbano

kgCO ₂ /t Buzón-Central	kgCO ₂ /t Central-CMC	Emisiones totales en kgCO ₂ /t
12,92	0,906	13,827

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA Y SADECO 2009

El subíndice medioambiental sin normalizar para la RSU neumática es:

$$X_{2N} = 0,906 \text{ kgCO}_2/\text{t}.$$

CÁLCULO DEL COSTE ECONÓMICO

ROS ROCA nos ha proporcionado los costes directos e indirectos anuales de explotación de una central tipo de 20 toneladas que se detallan en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28: Coste Central Neumática para 2009

COSTES	EUROS
DIRECTOS	
Personal de la Central (3 operarios)	72.632,00
Gestión Central	10.121,13
INDIRECTOS	
Costes indirectos de servicio	11.860,33
Costes indirectos de inspección	830,14
Costes de formación	2.331,64
Costes de administración	5.630,84
TOTAL	103.406,08

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA 2009

Puesto que la central la hemos estimado anteriormente al 75% de actividad, como vimos en el apartado anterior, debe procesar al año 5.475 toneladas. El coste de personal de la Central en €/t es de 18,887 €/t como muestra la Tabla 5.29.

Tabla 5.29: Coste Central Neumática por tonelada para 2009

Coste Central en €	t	€/t
103.406,08	5.475	18,886955

Fuente: Elaboración propia

También agregaremos los costes energéticos de la Central y del transporte al CMC incluido operario.

Para un precio de 0,15 €/kWh, que fue la media anual de 2009 a partir de datos de SADECO, el coste del consumo de 59,9 kWh/t de la Central es de:

$$59,9 \frac{kWh}{t} \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{kWh} = 8,98 \frac{\text{€}}{t}$$

Por último, el coste del transporte al CMC se desglosa en costes de personal y energéticos. En el caso de Córdoba, la duración del transporte de la operación es de 1 hora según datos de SADECO. El coste de un oficial para el año 2009 fue de 23,51 €/h. Suponiendo 156 trayectos y 5.475 toneladas anuales, esto supone un coste de operarios de:

$$23,31 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cdot \frac{156\text{h}}{5.475 \text{ t}} = 0,67 \frac{\text{€}}{\text{t}}$$

Los consumos de gasoil de la Central Neumática al CMC serán:

$$11,4 \frac{\text{l}}{\text{trayecto}} \cdot \frac{156 \text{ trayecto}}{5.475\text{t}} = 0,325 \frac{\text{l}}{\text{t}}$$

Según la media anual de gasto en gasoil de SADECO para el año 2009, resulta un coste de 0,759 €/l.

Por tanto el coste energético del transporte al CMC es de:

$$0,759 \frac{\text{€}}{\text{l}} \cdot 0,325 \frac{\text{l}}{\text{t}} = 0,245 \frac{\text{€}}{\text{t}}$$

Tabla 5.30: Coste Neumática por tonelada para 2009

Coste operativo central	Coste energético central	Coste personal transporte	Coste energético transporte	Coste total €/t
18,887	8,98	0,67	0,245	28,782

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, el subíndice económico sin normalizar para la RSU neumática es:

$$X_{3N} = 28,782\text{€/t.}$$

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE RENOVABLES

Como ya hemos visto anteriormente, la central tendrá una instalación fotovoltaica que generará, una producción anual de 24.336 kWh/año y la central requiere de 59,9 kWh/t y procesa anualmente 5.475 toneladas. Por lo tanto anualmente consume 327.952,5 kWh.

El Mix energético de renovables del año 2009 fue de 27,9 % según CNE⁹⁰ [176].

Por otra parte como ya hemos visto, la instalación fotovoltaica producirá 24.336 kWh/año y será 100 % renovable. Por tanto, de los 327.952,5 kWh, 303.616,5 kWh están sujetos al porcentaje de renovables del Mix energético de 2009 y el resto a emisiones 0. Estas cantidades en kep son: 2.092,519 kep, 28.198,832 kep y 26.106,313 kep respectivamente.

También ha de considerarse el combustible utilizado de la central al CMC que es 0% renovable y asciende como vimos anteriormente a 1.597,44 kep.

Por tanto el porcentaje total de renovables será:

$$\frac{26.106,313 \cdot 27,9 + 2.092,519 \cdot 100 + 1.597,44 \cdot 0}{28.198,832 + 1.597,44} = 31,47\%$$

Tabla 5.31: Porcentaje de renovables en la recogida neumática de RSU

% renovables buzon central	% renovables planta fotovoltaica	% renovables transporte Central-cmc	% renovables total
27,9	100	0	31,47 %

Fuente: Elaboración propia a partir de ROS ROCA

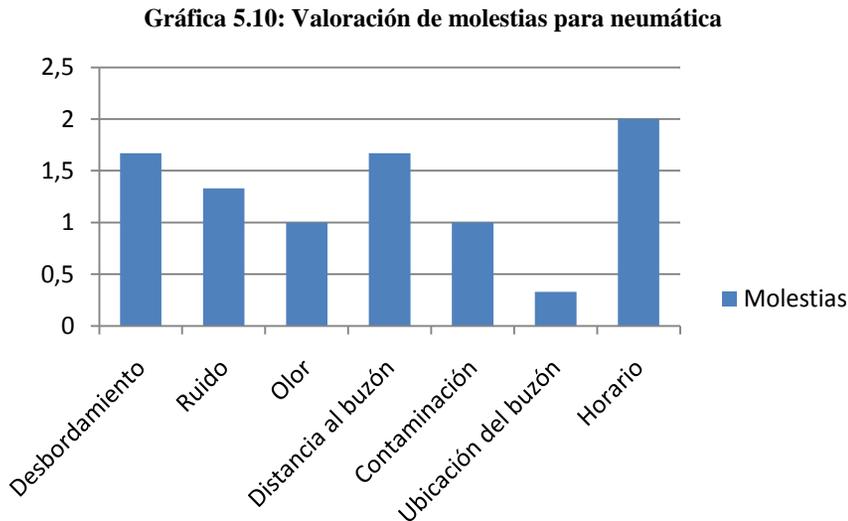
Por tanto, el subíndice medioambiental sin normalizar para la RSU neumática será $X_{4N} = 31,47 \%$.

⁹⁰ Comisión Nacional de la Energía.

CÁLCULO DE LA SATISFACCIÓN DE LA CIUDADANÍA

El cálculo de la satisfacción de la ciudadanía se calculará mediante la opinión de 3 expertos, que también son usuarios, cumplimentando y procesando un cuestionario idéntico al utilizado para la recogida tradicional, con la salvedad que se cambia contenedor por buzón (Anexo II).

En la Gráfica 5.10 se muestran la valoración de los expertos, destacamos que las molestias más severas son el horario, el desbordamiento de buzones y la distancia en ese orden. Este indicador se confecciona agregando las molestias con igual grado de importancia relativa como en el caso del sistema contenedorizado. Por tanto:



Fuente: Elaboración propia

$$X_{5N} = \frac{(1,67 + 1,33 + 1 + 1,67 + 1 + 0,33 + 2)}{7}$$

El subíndice social sin normalizar para la RSU neumática es : $X_{5N} = 1,29$

Se puede observar que todas las variables sociales en una escala del 0 al 10, siendo 0 no molesta y 10 molesta mucho, se encuentra por debajo de 2, por lo que se puede considerar que el sistema neumático casi no molesta a los usuarios.

5.3.2 Normalización y elección de rangos

Conforme con el apartado 4.4, procederemos a la normalización de los subíndices generados para cada proceso. El proceso de normalización nos generará subíndices en escala 0 a 1, donde 1 será un desempeño perfecto y 0 uno pésimo.

NORMALIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética se normalizará utilizando la Tabla 4.2, ya que no existen registros mejores para definir máximos y mínimos, debido a la dificultad que presenta acceder a datos similares de otras empresas de gestión de RSU. Por tanto, para la recogida contenedorizada o tradicional para $X_{1C}=4,28$: $NX_{1C}=0,5$. Y por comparación, para la tecnología emergente para $X_{1N}=5,44$: $NX_{1N}=0,2$.

NORMALIZACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Por el mismo motivo que en el epígrafe anterior, normalizaremos utilizando la Tabla 4.2. Por tanto, para la recogida contenedorizada o tradicional para $X_{2C}=13,621$: $NX_{2C}=0,5$. $NX_{2N}=1$ por comparación con $X_{2N}=0,906$.

NORMALIZACIÓN DEL COSTE ECONÓMICO

Tampoco existe un consenso general sobre cuanto debería de costar transportar una tonelada de RSU. Depende de muchos factores como la dispersión, la densidad de población, los hábitos de consumo y el PIB. Asignaremos a la recogida tradicional para $X_{3C}=27,82$: $NX_{3C}=0,5$ y por comparación con $X_{3N}=28,782$ y utilizando la Tabla 4.2: $NX_{3N}=0,5$.

NORMALIZACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENOVABLES

El porcentaje de renovables puede normalizarse con facilidad puesto que el resultado obtenido se encuentra en tanto por ciento y 0 es peor. Puesto que el porcentaje de renovables objetivo por la UE para 2020 es del 20% y se pretendía un crecimiento razonable a partir de 2007, cuando se promulgó la directiva, siguiendo una relación lineal, en 2012 deberíamos esperar un porcentaje de renovables del 7,7 %. Si tomamos 7,7 % como valor medio, dados los valores de $X_{4C}=0$ % y $X_{4N}=31,47$ % La normalización no puede ser de otra forma que $NX_{4C}=0$ y $NX_{4N}=1$.

NORMALIZACIÓN DE LA SATISFACCIÓN DE LA CIUDADANÍA

La satisfacción de la ciudadanía obtenida se encuentra en una escala de 0 a 10, donde 10 es peor y 0 es mejor. La normalización se realizará conforme a la siguiente ecuación:

$$NX_5 = \frac{1 - X_5}{10}$$

Por tanto y dados $X_{5C}=5,33$ y $X_{5N}=1,29$: $NX_{5C}=0,47$ y $NX_{5N}=0,87$.

5.3.3 Ponderación de Subíndices

Conforme con el apartado 4.5, procederemos a la ponderación de los subíndices generados para cada proceso. El proceso de ponderación nos generará factores de ponderación en escala 0 a 1, donde 1 será un desempeño relativo a los países del entorno perfecto y 0, uno pésimo. En el caso de un desempeño perfecto, la importancia relativa de ese factor será mínima frente a los demás, conforme se desprende de las ecuaciones del apartado 4.6. Así mismo, los subíndices ponderados sumarían 1 en el caso de un desempeño perfecto de todos ellos y 0 en el caso contrario.

Se ha tomado como referencia para ponderar el grado de desempeño de cada una de las variables elegidas, el entorno con el que poseemos una mayor vinculación a la mayor escala posible, con datos lo más específicos posibles. El entorno que cumple estas premisas, es la UE de los 17 países del euro, con los que poseemos un marco legislativo común a partir de la trasposición de sus directivas así como una fuerte unión económica y monetaria. Se hace notar por tanto que la ponderación será exigente con todas las variables ya que vamos a realizar comparaciones con un selecto grupo entre el que se encuentran alguno de los países más desarrollados y avanzados del mundo.

PONDERACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para la ponderación de la eficiencia energética hemos elegido el valor de “Transporte por carretera de mercancías” de la serie de valores recopilado por ODYSEE-MURE, ya que por una parte, la carga a transportar, en ambos casos se realiza una parte o la totalidad por carretera y por otro lado, podemos entender los RSU como una mercancía, dado que a los efectos de transporte, la característica de “mercancía” que nos interesa del indicador es su peso, no el valor económico de lo transportado, que no tiene reflejo en el indicador.

La serie de indicadores de ODYSEE-MURE, como vimos en el apartado 3.1, estaba encuadrado bajo el Programa de la Comisión Europea de Energía y se concentraba en la monitorización de tendencias de eficiencia energética, entre otros objetivos y parece adecuado para la ponderación relativa de valores de eficiencia energética en el transporte de cargas.

Parte de los datos de ODYSEE-MURE para el año 2008, como podemos ver en la Tabla 5.32, están incompletos. Esto no sólo ocurre en 2008 sino en todos los años y es debido a que no todos los países recaban o facilitan estos datos con carácter anual.

Tabla 5.32: Consumo de mercancías por carretera por tonelada-km UE-17

UE-17	kep/tkm
España	0,05
Alemania	0,03
Austria	0,04
Bélgica	
Chipre	
Eslovaquia	
Eslovenia	0,04
Estonia	
Finlandia	0,05
Francia	0,07
Grecia	0,09
Irlanda	0,07
Italia	0,09
Luxemburgo	
Malta	
Países Bajos	0,06
Portugal	0,07

Fuente: Elaboración propia a partir ODYSEE-MURE

Despreciando aquellos países para los que no poseemos datos, que además son aquellos que poseen un menor peso económico y demográfico en la UE-17, obtenemos los datos mostrados en la Tabla 5.33.

Tabla 5.33: Consumo de mercancías por carretera por tonelada-km

UE-17	kep/tkm
España	0,05
Alemania	0,03
Austria	0,04
Eslovenia	0,04
Finlandia	0,05
Francia	0,07
Grecia	0,09
Irlanda	0,07
Italia	0,09
Países Bajos	0,06
Portugal	0,07

Fuente: Elaboración propia a partir ODYSEE-MURE

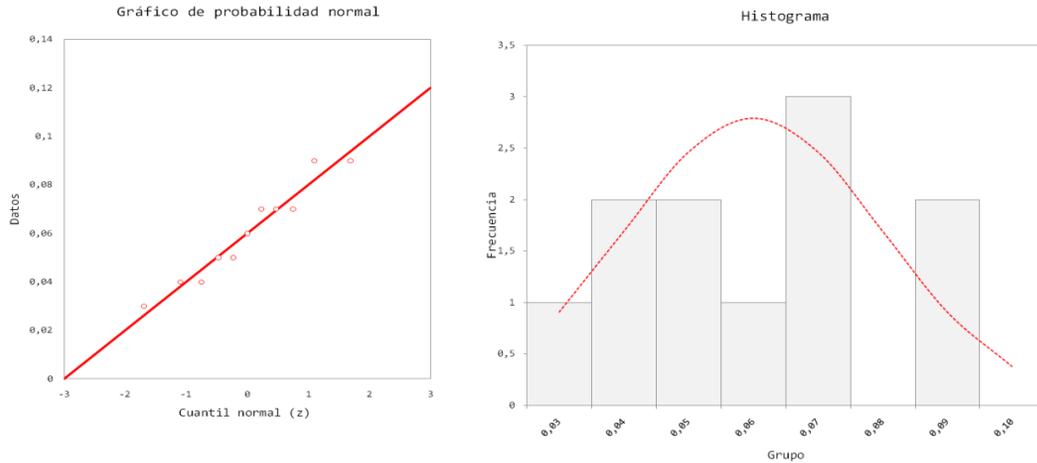
A continuación calcularemos el desempeño de España respecto del resto de los países. Para ello comprobaremos que los datos se ajustan a la distribución normal.

Tabla 5.34: Datos Descriptivos del consumo de mercancías por carretera por tonelada-km

Datos Descriptivos	
Nº países	11
Promedio	0,0600
Desviación	0,0200
Varianza	0,0004
Sesgo	0,1500
Mínimo	0,0300
Máximo	0,0900
Rango	0,0600
Norm (p-valor)	0,3841

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5.11: Probabilidad normal e histograma consumo de mercancías por carretera por tonelada-km



Fuente: Elaboración propia

Dado que $p\text{-valor} = 0,3841$, mayor por tanto que $0,05$, se acepta la hipótesis de normalidad de los datos. Una vez comprobada la normalidad de los datos, calcularemos la distribución del valor de España respecto del resto de datos utilizando las ecuaciones del apartado 4.4.2 referentes a la distribución normal.

Para un valor de $0,05$ de España, media de $0,06$ y desviación típica de $0,02$, Y_1 , ponderación de la eficiencia energética será, dado que el indicador es mejor cuanto menor es su valor, según vimos en el apartado 4.5:

$$1 - Y_1 = 0,31.$$

$$Y_1 = 0,69.$$

PONDERACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Para la ponderación del impacto medioambiental utilizaremos el Índice de Desempeño Medioambiental de la Universidad de Yale. Este índice mide la salud medioambiental (con especial atención de sus efectos en humanos) y la vitalidad de los ecosistemas (con especial atención en los efectos nocivos sobre los

ecosistemas) para la mayoría de países del mundo. Hemos elegido este índice debido a que el 41,667 % del peso del mismo está referido a la polución del aire, el cambio climático y las emisiones de GEI. Este índice es versátil y se adaptaría bien para ponderar otros subíndices de desempeño medioambiental distintos de las emisiones de CO₂.

Para la UE-17 tenemos los valores de la Tabla 5.35 para el año 2010 (no están disponibles los valores del año 2009), por tanto utilizaremos los disponibles.

Tabla 5.35: Índice de Desempeño Medioambiental UE-17

UE-17	IDM
España	70,6
Alemania	73,2
Austria	78,1
Bélgica	58,1
Chipre	56,3
Eslovaquia	74,5
Eslovenia	63,8
Estonia	63,8
Finlandia	74,7
Francia	78,2
Grecia	60,9
Irlanda	67,1
Italia	73,1
Luxemburgo	67,8
Malta	76,3
Países Bajos	66,4
Portugal	73

Fuente: Elaboración propia a partir Universidad de Yale

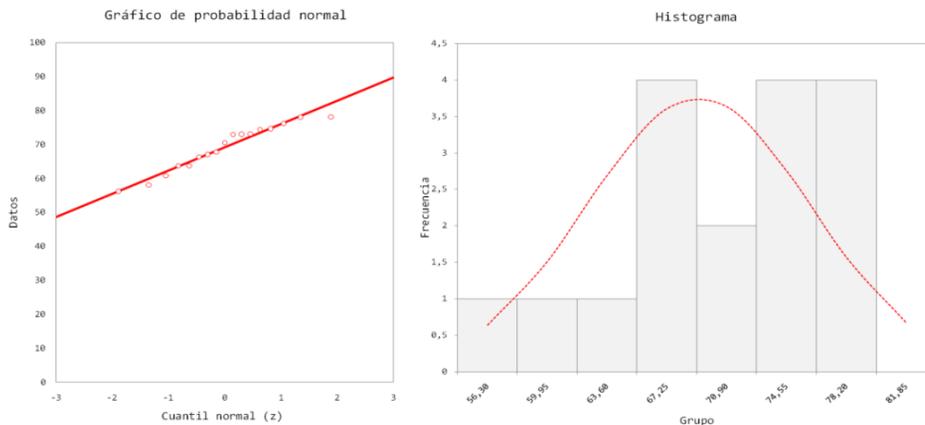
A continuación calcularemos el desempeño de España respecto del resto de los países. Para ello comprobaremos que los datos se ajustan a la distribución normal.

Tabla 5.36: Datos Descriptivos del Índice de Desempeño Medioambiental UE-17

Datos Descriptivos	
Nº países	17
Promedio	69,1706
Desviación	6,8355
Varianza	46,7247
Sesgo	-0,4072
Mínimo	56,3000
Máximo	78,2000
Rango	21,9000
Norm (p-valor)	0,2539

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5.12: Probabilidad normal e histograma del Índice de Desempeño Medioambiental UE-17



Fuente: Elaboración propia

Dado que $p\text{-valor} = 0,2539$, mayor por tanto que $0,05$, se acepta la hipótesis de normalidad de los datos. Una vez comprobada la normalidad de los datos, calcularemos la distribución del valor de España respecto del resto de datos utilizando las ecuaciones del apartado 4.4.2.

Para un valor de $70,6$ de España, media de $69,17$ y desviación típica de $6,83$, Y_2 , ponderación del medioambiente será:

$$Y_2 = 0,58.$$

PONDERACIÓN DEL COSTE ECONÓMICO

Para la ponderación del coste económico, hemos elegido el valor de “Producto Interior Bruto per cápita en PPS⁹¹”, porque nos proporciona datos de PIB per cápita eliminando el efecto de los distintos precios de bienes iguales para cada país de la UE-17. Es una buena medida del poder adquisitivo real de cada uno de los países estudiados.

Así, para la UE-17 tenemos los valores de la Tabla 5.37 para el año 2009.

Tabla 5.37: PIB per cápita en PPS UE-17

UE-17	PIBpC en PPS
España	103
Alemania	116
Austria	124
Bélgica	116
Chipre	98
Eslovaquia	73
Eslovenia	88
Estonia	64
Finlandia	114
Francia	107
Grecia	94
Irlanda	127
Italia	104
Luxemburgo	272
Malta	81
Países Bajos	131
Portugal	80

Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat

⁹¹ Purchasing power standard o poder de compra estándar.

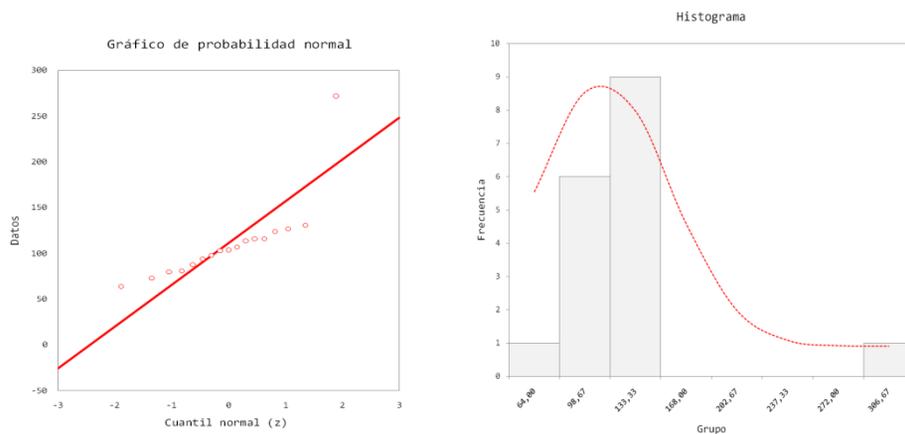
A continuación calcularemos el desempeño de España respecto del resto de los países. Para ello comprobaremos que los datos se ajustan a la distribución normal.

Tabla 5.38: Datos Descriptivos del PIB per cápita en PPS UE-17

Datos Descriptivos	
Nº países	17
Promedio	111,2941
Desviación	45,7121
Varianza	2089,5956
Sesgo	2,5667
Mínimo	64,0000
Máximo	272,0000
Rango	208,0000
Norm (p-valor)	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5.13: Probabilidad normal e histograma del PIB per cápita en PPS UE-17



Fuente: Elaboración propia

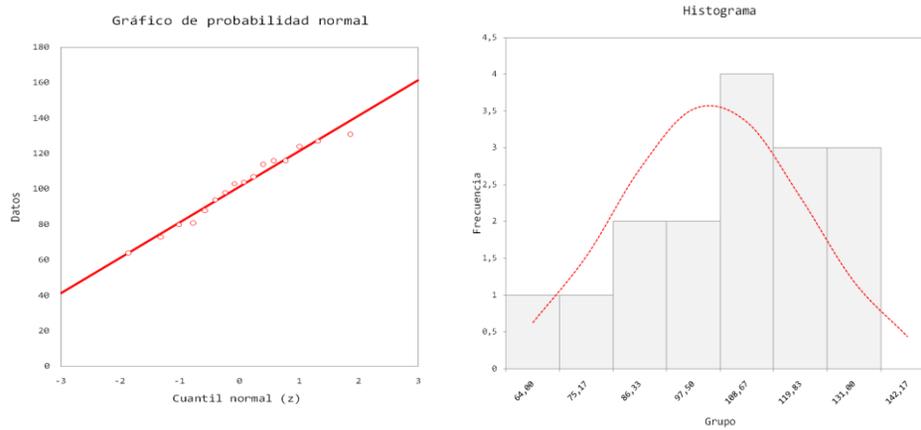
Dado que $p\text{-valor} = 0$, podemos concluir que los datos no se ajustan a la distribución normal. Sin embargo, un análisis de las Tabla 5.37 y Tabla 5.38, nos permite comprobar que el valor que está provocando la no-normalidad de los datos es el dato de Luxemburgo. Dado que Luxemburgo no es representativo ni comparable cuantitativamente en términos de población con países como España, Francia, Reino Unido, Italia o Alemania, procedemos a su eliminación y a recalcular la bondad de los datos respecto de la distribución normal.

Tabla 5.39: Datos Descriptivos del PIB per cápita en PPS UE-16

Descriptivos Datos	
Nº países	16
Promedio	101,2500
Desviación	19,9883
Varianza	399,5333
Sesgo	-0,2587
Mínimo	64,0000
Máximo	131,0000
Rango	67,0000
Norm (p-valor)	0,3257

Fuente: Elaboración propia

Dado que tras la eliminación de Luxemburgo $p\text{-valor} = 0,3257$, mayor por tanto que $0,05$, se acepta la hipótesis de normalidad de este conjunto de datos. Una vez comprobada la normalidad de los datos, calcularemos la distribución del valor de España respecto del resto de datos utilizando las ecuaciones del apartado 4.4.2.

Gráfica 5.14: Probabilidad normal e histograma del PIB per cápita en PPS UE-16

Fuente: Elaboración propia

Para un valor de 103 de España, media de 101,25 y desviación típica de 19,99, Y_3 , ponderación de la economía será:

$$Y_3 = 0,53.$$

PONDERACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENOVABLES

Para la ponderación del porcentaje de renovables, hemos elegido el valor de “Porcentaje de energía renovable en energía final consumida bruta”, índice proporcionado por Eurostat y que corresponde con el ECO13 de la iniciativa IDES, que como vimos en el apartado 3.1, es un esfuerzo conjunto de máximo nivel entre las cinco principales organizaciones internacionales que recopilan indicadores energéticos. Es una medida precisa del porcentaje de renovables en energía final a nivel internacional.

Así, para la UE-17 tenemos los valores de la Tabla 5.40 para el año 2008 (no están disponibles los valores del año 2009).

Tabla 5.40: Porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17

UE-17	% de renovables
España	10,7
Alemania	9,1
Austria	28,5
Bélgica	3,3
Chipre	4,1
Eslovaquia	8,4
Eslovenia	5,1
Estonia	19,1
Finlandia	30,5
Francia	11,1
Grecia	8
Irlanda	3,8
Italia	6,8
Luxemburgo	2,1
Malta	0,2
Países Bajos	3,2
Portugal	23,2

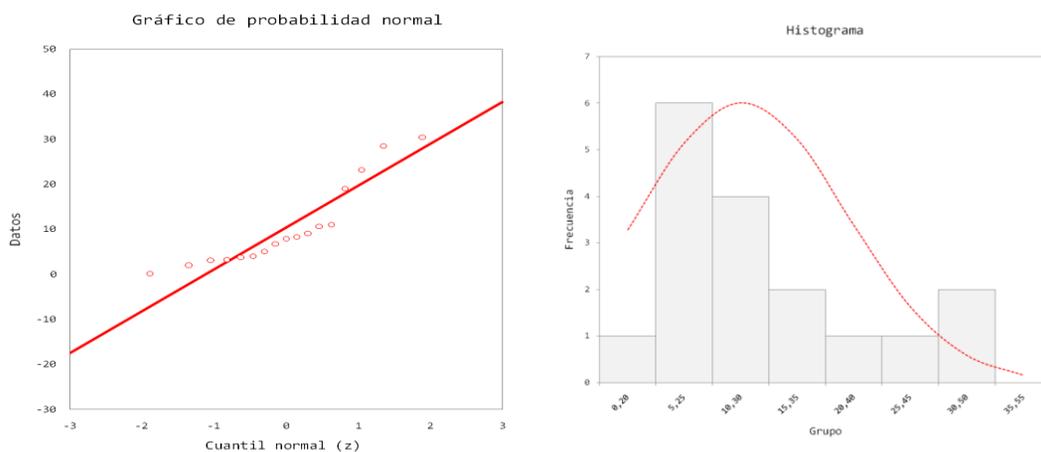
Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat

A continuación calcularemos el desempeño de España respecto del resto de los países. Para ello comprobaremos que los datos se ajustan a la distribución normal.

Tabla 5.41: Datos Descriptivos del porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17

Datos Descriptivos	
Nº países	17
Promedio	10,4235
Desviación	9,2960
Varianza	86,4157
Sesgo	1,0571
Mínimo	0,2000
Máximo	30,5000
Rango	30,3000
Norm (p-valor)	0,0730

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5.15: Probabilidad normal e histograma del porcentaje de renovables en energía final bruta UE-17

Fuente: Elaboración propia

Dado que $p\text{-valor} = 0,0730$, mayor por tanto que $0,05$, se acepta la hipótesis de normalidad de este conjunto de datos. Una vez comprobada la normalidad de

los datos, calcularemos la distribución del valor de España respecto del resto de datos utilizando las ecuaciones del apartado 4.4.2.

Para un valor de 10,7 de España, media de 10,42 y desviación típica de 9,30, Y_4 ponderación del porcentaje de renovables será:

$$Y_4 = 0,51.$$

PONDERACIÓN DE LA SATISFACCIÓN DE LA CIUDADANÍA

Para la ponderación de la satisfacción de la ciudadanía, hemos elegido el Índice de Desarrollo Humano, proporcionado por el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, que como vimos en el apartado 3.5.7, es la medida de referencia del nivel de desarrollo social de un país. Nos parece adecuada para ponderar el grado de satisfacción de la ciudadanía porque se intuye que de algún modo indica algo tan etéreo como la felicidad y el bienestar, mientras que no guarda relación lineal con el PIB, como vimos en el apartado 3.5.1.2.

Así, para la UE-17 tenemos los valores de la Tabla 5.42 para el año 2009.

Tabla 5.42: Índice de Desarrollo Humano UE-17

UE-17	IDH
España	0,861
Alemania	0,883
Austria	0,849
Bélgica	0,865
Chipre	0,809
Eslovaquia	0,815
Eslovenia	0,826
Estonia	0,809
Finlandia	0,869
Francia	0,869
Grecia	0,853
Irlanda	0,894
Italia	0,851
Luxemburgo	0,85
Malta	0,813
Países Bajos	0,888
Portugal	0,791

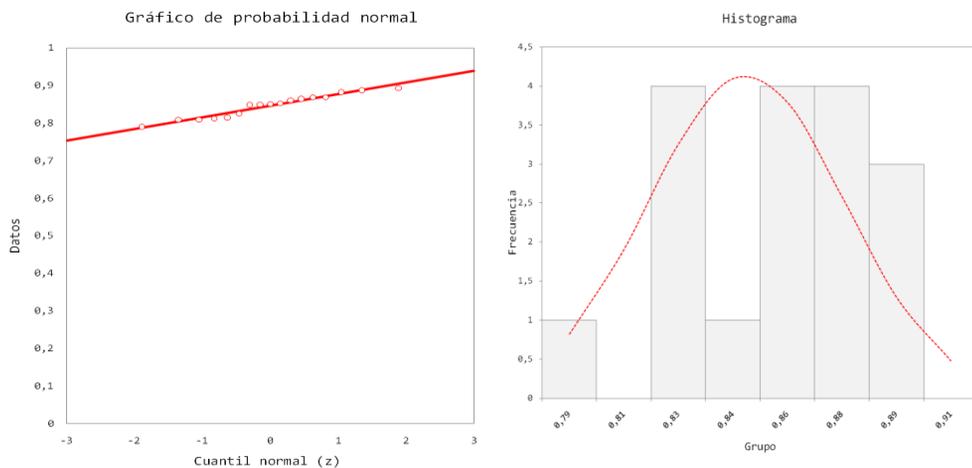
Fuente: Elaboración propia a partir de UN

A continuación calcularemos el desempeño de España respecto del resto de los países. Para ello comprobaremos que los datos se ajustan a la distribución normal.

Tabla 5.43: Datos Descriptivos del Índice de Desarrollo Humano UE-17

Datos Descriptivos	
Nº países	17
Promedio	0,8468
Desviación	0,0310
Varianza	0,0010
Sesgo	-0,2227
Mínimo	0,7910
Máximo	0,8940
Rango	0,1030
Norm (p-valor)	0,2779

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5.16: Probabilidad normal e histograma del Índice de Desarrollo Humano UE-17

Fuente: Elaboración propia

Dado que $p\text{-valor} = 0,2779$, mayor por tanto que $0,05$, se acepta la hipótesis de normalidad de este conjunto de datos. Una vez comprobada la normalidad de los datos, calcularemos la distribución del valor de España respecto del resto de datos utilizando las ecuaciones del apartado 4.5.3.

Para un valor de $0,86$ de España, media de $0,85$ y desviación típica de $0,031$, Y_5 , ponderación social será:

$$Y_5 = 0,68.$$

5.3.4 Cálculo del índice

Aplicando las ecuaciones descritos en el Apartado 4.6 que reproducimos a continuación:

$$ISEE = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - Y_i) * NX_i}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

$$FSEEE_i = \frac{(1 - Y_i) * NX_i}{\sum_{j=1}^n (1 - Y_j)}$$

$$ISEE = \sum_{i=1}^n FSEEE_i$$

Procedemos a calcular el valor de los Factores de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética (FSEEE_i) para la recogida contenedorizada:

Teniendo en cuenta que $\sum_{j=1}^n (1 - Y_j) = 2,00205$

Recordamos los valores de las variables:

$$Y_1 = 0,6914 \quad Y_2 = 0,5828 \quad Y_3 = 0,5348 \quad Y_4 = 0,5119 \quad Y_5 = 0,6769$$

Que definen un peso relativo para cada indicador de:

- Eficiencia Energética: 15,4 %.
- Medio Ambiente: 20,8 %.
- Economía: 23,2 %.
- Porcentaje de Renovables: 24,4 %.
- Social: 16,1 %.

Los cuales son mejores en todos los casos al 10% de peso mínimo requerido en el apartado 4.5.1

$$FSEE1_{contenedorizada} = \frac{(1 - 0,6914) \cdot 0,5}{2,00205} = 0,0771$$

$$FSEE2_{contenedorizada} = \frac{(1 - 0,5828) \cdot 0,5}{2,00205} = 0,1042$$

$$FSEE3_{contenedorizada} = \frac{(1 - 0,5348) \cdot 0,5}{2,00205} = 0,1162$$

$$FSEE4_{contenedorizada} = \frac{(1 - 0,5119) \cdot 0}{2,00205} = 0$$

$$FSEE5_{contenedorizada} = \frac{(1 - 0,6769) \cdot 0,47}{2,00205} = 0,0758$$

Por tanto:

$$ISEE_{contenedorizada} = \sum_{i=1}^n FSEEi_{contenedorizada} = 0,3732.$$

Y procediendo de igual modo para la recogida neumática:

$$FSEE1_{neumática} = \frac{(1 - 0,6914) \cdot 0,2}{2,00205} = 0,0308$$

$$FSEE2_{neumática} = \frac{(1 - 0,5828) \cdot 1}{2,00205} = 0,2084$$

$$FSEE3_{neumática} = \frac{(1 - 0,5348) \cdot 0,5}{2,00205} = 0,1162$$

$$FSEE4_{neumática} = \frac{(1 - 0,5119) \cdot 1}{2,00205} = 0,2438$$

$$FSEE5_{neumática} = \frac{(1 - 0,6769) \cdot 0,87}{2,00205} = 0,1404$$

Por tanto:

$$ISEE_{neumática} = \sum_{i=1}^n FSEEi_{neumática} = 0,7396.$$

La Tabla 5.44 muestra los valores obtenidos para cada tecnología de recogida aplicando el método diseñado en este trabajo de tesis:

Tabla 5.44: Índice de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética

	Con	Neum		Con	Neum		Contenedorizada	Neumática
X1	4,28	5,44	NX1	0,5	0,2	FSEE1	0,0771	0,0308
X2	13,621	0,906	NX2	0,5	1	FSEE2	0,1042	0,2084
X3	27,82	28,78	NX3	0,5	0,5	FSEE3	0,1162	0,1162
X4	0	31,47	NX4	0	1	FSEE4	0,0000	0,2438
X5	5,33	1,29	NX5	0,47	0,87	FSEE5	0,0758	0,1404
						ISEE	0,3732	0,7396

Fuente: Elaboración propia.

Donde se resumen los factores para cada tecnología, así como el índice de sostenibilidad en el ámbito de la eficiencia energética.

5.3.5 Representación de los datos

En este apartado se determina qué representación es más comprensible y a la vez proporciona un mayor número de datos sin necesidad de realizar explicaciones previas. Uno de los objetivos de este trabajo de tesis es el de proporcionar un resultado comprensible que pueda ser interpretado con sencillez. Para ello, se han propuesto varias representaciones de sostenibilidad tanto gráficas como textuales.

El método queda abierto a la identificación o creación de otras herramientas de despliegue de información. Para nuestro estudio, resulta relevante garantizar con un alto grado de confianza, que los resultados serán comprendidos por los destinatarios de la información o que se podrán emitir juicios acertados y adecuados de manera intuitiva aunque no exista una comprensión profunda de los resultados. Para alcanzar este objetivo se realizarán encuestas a una población significativa para cada caso de estudio, cuyo cuestionario se reproduce en (Anexo I).

El tratamiento de los cuestionarios recibidos se llevará a cabo mediante el procesamiento de las respuestas codificadas en una base de datos creada al efecto en el programa estadístico SPSS[177].

Describimos a continuación el contenido de dichos cuestionarios.

5.3.5.1. ENCUESTA REPRESENTACIÓN MÁS COMPRENSIBLE

Este cuestionario consta de siete bloques. Los Bloques 1 y 2 pueden ser comunes con la encuesta social que, en nuestro caso, la realizamos conjunta.

La respuesta correcta es la que se indica en cursiva para los bloques 3 a 7:

BLOQUE 1: Aspectos cualitativos

Este bloque consta de una pregunta semicategorizada:

- Ubicación.

BLOQUE 2: Perfil sociodemográfico

En este bloque se incluyen las variables asociadas a las características personales del encuestado:

- Sexo.
- Edad.
- Nivel de estudios finalizados.

BLOQUE 3: Representación de Sostenibilidad 1

En este bloque se incluyen variables categorizadas referentes a la representación de sostenibilidad 1.

- ¿Qué proceso es más sostenible? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y que se adecúe a las preferencias de la gente? *Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.*
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 4: Representación de Sostenibilidad 2

En este bloque se incluyen variables categorizadas referentes a la representación de sostenibilidad 2.

- ¿Qué proceso es más sostenible? *Proceso 1.*
- ¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y económico? *Proceso 2.*
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 5: Representación de Sostenibilidad 3

En este bloque se incluyen variables categorizadas referentes a la representación de sostenibilidad 3.

- ¿Qué proceso es más sostenible? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso es más aceptable socialmente? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso es más económico? *Proceso 1.*
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 6: Representación de Sostenibilidad 4

En este bloque se incluyen variables categorizadas referentes a la representación de sostenibilidad 4.

- ¿Qué proceso es más sostenible? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso utiliza más energía renovable? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso es más eficiente energéticamente? *Proceso 1.*
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?

- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 7: Representación de Sostenibilidad 5

En este bloque se incluyen variables categorizadas referentes a la representación de sostenibilidad 5.

- ¿Qué proceso es más sostenible? *Proceso 1.*
- ¿Qué proceso es más económico? *Proceso 2.*
- ¿Qué proceso es más respetuoso con el medioambiente? *Proceso 1.*
- ¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?
- ¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?

BLOQUE 8: Información de representación preferida

En este bloque se incluye una variable categorizada para establecer la representación preferida por cada encuestado.

- ¿Cuál es la representación que prefieres?

BLOQUE 9: Comentarios

En este bloque se permite la libre expresión de comentarios del encuestado.

- Antes de terminar, si quiere hacer alguna observación, puede hacerlo en este espacio.

5.3.5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

DISEÑO MUESTRAL

Los datos utilizados en este trabajo provienen de una única encuesta cuyo diseño muestral ya ha sido descrito en el Apartado 5.3.1.1.

Universo: Ciudadanos de ambos sexos.

Tamaño de la muestra: 354 de 387 encuestas realizadas.

Error muestral: 5,31 %.

Sistema de muestreo: Aleatorio simple.

Período de recogida de información: Abril-Junio 2011.

INSTRUMENTO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Las preguntas de los cuestionarios se han diseñado con el objetivo de comprobar cuanta información puede extraerse de cada diagrama sin proporcionar información adicional y cuanta de esta información extraída es correcta. Los cuestionarios se basan en la metodología aplicada por el Instituto de Biomecánica de Valencia [178] para comprobar la usabilidad de interfaces, productos y sistemas con personas mayores (las cuales tienen mayor dificultad que el público general para comprender y asimilar nuevos conocimientos).

PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO DE LA MUESTRA Y ZONA DE RESIDENCIA DE LOS ENCUESTADOS

Tal y como mostrábamos en el Apartado 5.3.1.1, el perfil sociodemográfico es homogéneo en términos de sexo, estudios, ubicación y el grueso de la muestra se encuentra en la franja de edad para la toma de decisiones.

PROCESAMIENTO DE LOS CASOS

Las siguientes tablas muestran los porcentajes de todas las preguntas realizadas en el cuestionario en los Bloques 3 a 8⁹². La tabla 5.45 muestra que la representación número 3 es la más amigable y por tanto preferida por los encuestados.

Tabla 5.45: Porcentaje de respuestas de representación preferida.

Repres.	Porcentaje
No válidos	8,8
1	6,4
2	7,7
3	40,2
4	21,4
5	15,5

Fuente: Elaboración propia.

Atendiendo a la Tabla 5.46, observamos que el grado de acierto para identificar la opción más sostenible es razonable para todas las representaciones, siendo la peor la Representación 1.

Tabla 5.46: Porcentaje de respuestas y de acierto de proceso más sostenible

Repres.	No válidos	Ninguno	Proceso 1	Proceso 2	Acierto
1	6,2	19,1	5,9	68,8	68,8
2	5,4	7,2	76,5	10,8	76,5
3	5,7	3,4	9,8	81,2	81,2
4	7,5	4,4	5,9	82,2	82,2
5	7,7	7,0	72,9	12,4	72,9

Fuente: Elaboración propia.

⁹² Preguntas numeradas de la 13 a la 23 en el cuestionario reproducido en el Anexo I.

Sin embargo, como muestra la Tabla 5.47, cuanto más bajo es el nivel educativo de los encuestados, más amigable les resulta esta representación, siendo la segunda opción más elegida por graduados escolares y sin estudios.

Tabla 5.47: Contingencia entre nivel de estudios y preferencia de representación.

			REPRESENTACIÓN					Total
			1	2	3	4	5	
Nivel de ESTUDIOS	No validos	Recuento % dentro de ESTUDIOS	0 ,0%	0 ,0%	1 100,0%	0 ,0%	0 ,0%	1 100,0%
	Bachillerato o FP	Recuento % dentro de ESTUDIOS	5 6,0%	10 11,9%	40 47,6%	19 22,6%	10 11,9%	84 100,0%
	Diplomatura, Ingeniero Tec. o Grado	Recuento % dentro de ESTUDIOS	7 9,1%	6 7,8%	28 36,4%	16 20,8%	20 26,0%	77 100,0%
	Doctorado	Recuento % dentro de ESTUDIOS	1 2,3%	1 2,3%	20 46,5%	10 23,3%	11 25,6%	43 100,0%
	EGB o ESO	Recuento % dentro de ESTUDIOS	3 25,0%	3 25,0%	5 41,7%	1 8,3%	0 ,0%	12 100,0%
	Licenciatura, Ingeniero o Master	Recuento % dentro de ESTUDIOS	6 5,2%	8 6,9%	53 45,7%	34 29,3%	15 12,9%	116 100,0%
	Otro	Recuento % dentro de ESTUDIOS	0 ,0%	0 ,0%	1 50,0%	0 ,0%	1 50,0%	2 100,0%
	Sin estudios	Recuento % dentro de ESTUDIOS	3 15,8%	2 10,5%	8 42,1%	3 15,8%	3 15,8%	19 100,0%
Total	Recuento % dentro de ESTUDIOS	25 7,1%	30 8,5%	156 44,1%	83 23,4%	60 16,9%	354 100,0%	

Fuente: Elaboración propia.

En cambio la representación 3, es la primera elegida para todos los niveles de estudio con un porcentaje que va desde el 36,4% de los diplomados al 47,6% de los encuestados de Bachillerato o FP.

Tabla 5.48: Porcentaje de respuestas y de acierto a preguntas basadas en factores

Repres.	No válidos	Ninguno	Proceso 1	Proceso 2	Acierto
1	7,0	38,9	10,1	44,1	38,9
2	7,2	19,6	33,5	39,7	39,7
3 P1	5,9	2,8	4,4	86,9	86,9
3 P2	6,4	4,1	60,1	29,4	60,1
4 P1	7,5	3,6	5,9	83,0	83,0
4 P2	6,7	5,7	65,7	21,9	65,7
5 P1	8,0	8,2	15,5	68,3	68,3
5 P2	8,2	5,2	71,6	14,9	71,6

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5.48 muestra el porcentaje de acierto a las preguntas que acompañan a cada una de las representaciones. Estas preguntas pretendían extraer más información de las representaciones además de la pregunta clave del grado de sostenibilidad de cada uno de los procesos evaluados. Los valores obtenidos por las Representaciones 1 y 2 son demasiado bajos y no permiten extraer ninguna información adicional certera. Por otro lado, la tasa de acierto de las Representaciones 3 a 5 se encuentra alrededor de una media del 70 % de aciertos, más razonable.

Tal y como muestra la Tabla 5.47, si deseásemos comunicar estrictamente a personas sin formación o con estudios básicos qué proceso es más sostenible; sin ánimo de que extraigan ninguna información adicional mediante una representación basada en texto, deberíamos de utilizar la representación 1, reforzada por el hecho de que es la segunda representación más amigable para este colectivo. En el resto de casos, tanto la Representación 1, como la 2 carecen de utilidad.

Tabla 5.49: Porcentaje de respuestas de autovaloración de confianza en la respuesta

Repres.	No válidos	Mucho	Bastante	Normal	Poco	Muy Poco
1	6,2	10,6	22,4	32,0	20,6	8,2
2	6,4	9,3	28,0	36,6	14,7	4,9
3	5,9	16,8	28,9	33,5	11,3	3,6
4	7,2	14,9	28,1	32,7	10,8	6,2
5	7,0	13,9	26,3	33,0	11,3	8,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.50: Porcentaje de respuesta de autovaloración del tiempo de respuesta

Repres.	No válidos	Mucho	Bastante	Normal	Poco	Muy Poco
1	6,4	0,0	14,2	37,6	26,5	15,2
2	6,4	0,8	5,4	40,5	30,4	16,5
3	6,7	0,3	5,2	36,9	33,8	17,3
4	7,0	1,3	6,4	39,7	29,6	16,0
5	8,5	2,3	8,5	42,0	23,7	14,9

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como muestran las Tabla 5.49 y Tabla 5.50, las representaciones 3 y 4 son las que consiguen mejor puntuación en cuanto a aciertos, confianza en haber respondido correctamente y tiempo consumido en haber generado dichas respuestas; siendo mejor la representación 4 en cuanto a acierto y la representación 3 en confianza y velocidad. Descartamos la representación 5, que obtiene un puntaje ligeramente más bajo que las representaciones 3 y 4 y además no es tan amigable como las otras dos según la Tabla 5.46. La Tabla 5.51 muestra los aspectos en los que las representaciones 3 y 4 destacan una sobre la otra.

Tabla 5.51: Valoración de representación 3 y 4

Aspecto	Rep. 3	Rep. 4
Más amigable	x	
Más confianza en que la respuesta será correcta	x	
Más velocidad en responder	x	
Mayor acierto real sostenibilidad		x
Mayor acierto real pregunta 1	x	
Mayor acierto real pregunta 2		x

Fuente: Elaboración propia.

Pero si tenemos en cuenta el error estadístico de 5,14% de la muestra, la tabla anterior debe quedar como muestra la Tabla 5.52.

Tabla 5.52: Valoración de representación 3 y 4 considerando el error estadístico

Aspecto	Rep. 3	Rep. 4
Más amigable	x	
Más confianza en que la respuesta será correcta	x	
Más velocidad en responder	x	
Mayor acierto real sostenibilidad	x	x
Mayor acierto real pregunta 1	x	x
Mayor acierto real pregunta 2		x

Fuente: Elaboración propia.

Por sexos, ambos eligen como más amigable o preferida la 3 con más del 40% en ambos casos, aunque la segunda más elegida, se divide por sexo prefiriendo los hombres la representación 4 con casi el 30%, mientras la mujeres reparten entre las otras representaciones sus preferencias siendo su segunda preferida la 5, como muestra la Tabla 5.53.

Tabla 5.53: Contingencia entre representación preferida y sexo

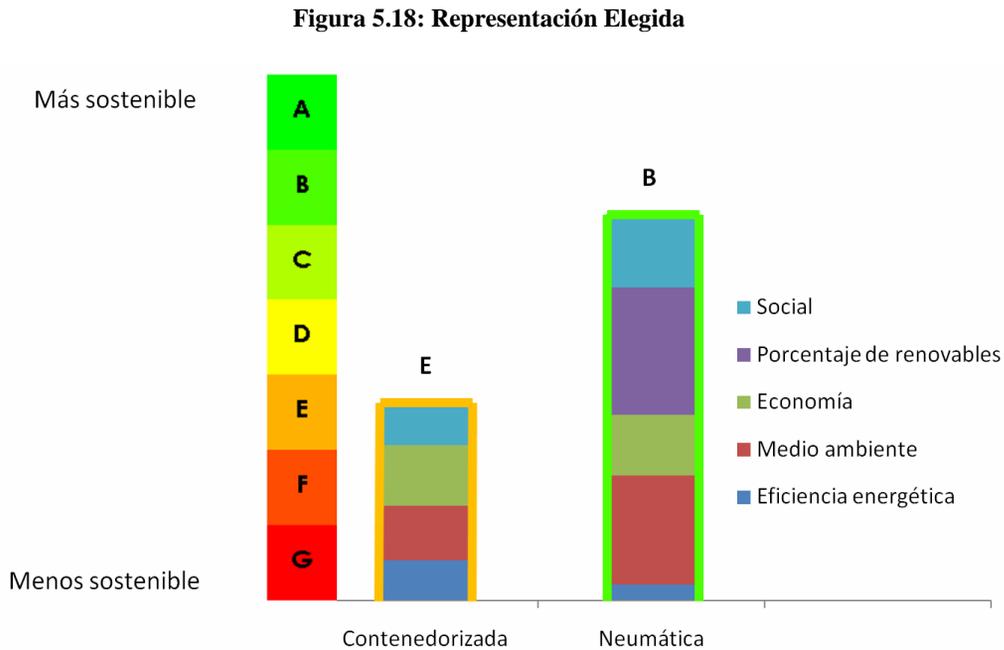
			SEXO			
				Hombre	Mujer	Total
REPRE	1	Recuento	0	14	11	25
		% dentro de SEXO	,0%	6,9%	7,4%	7,1%
	2	Recuento	0	14	16	30
		% dentro de SEXO	,0%	6,9%	10,8%	8,5%
	3	Recuento	0	89	67	156
		% dentro de SEXO	,0%	43,6%	45,3%	44,1%
	4	Recuento	1	60	22	83
		% dentro de SEXO	50,0%	29,4%	14,9%	23,4%
	5	Recuento	1	27	32	60
		% dentro de SEXO	50,0%	13,2%	21,6%	16,9%
Total		Recuento	2	204	148	354
		% dentro de	100,0	100,0%	100,0%	100,0%
		2SEXO	%			

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto interpretamos a partir de las respuestas obtenidas y del análisis realizado que la representación 3 es la preferida y a la vez más eficaz para la muestra del caso de estudio por ser la más destacada en la mayoría de aspectos valorados como amigable, confianza a la respuesta, no requiere de un tiempo excesivo, gran porcentaje de acierto - Tabla 5.52 -, también nos parece fundamental que sea la representación preferida por ambos sexos de manera equilibrada - Tabla 5.53 -, así como la preferida por nivel de estudios con capacidad de toma de decisiones, FP, licenciados y doctorados; con más del 45% - Tabla 5.47 -.

5.3.5.3. REPRESENTACIÓN ELEGIDA

La figura siguiente muestra gráficamente los datos utilizando la representación más amigable, más comprensible y más certera según el análisis del apartado anterior.



Fuente: Elaboración propia.

Esta representación incluye las siguientes mejoras respecto de la mostrada a los encuestados:

- Incluye “Más sostenible” y “Menos sostenible” a un costado, junto a la gráfica, tal y como ocurre con la etiqueta energética.
- Incluye la letra obtenida sobre cada barra para garantizar que se puede interpretar el resultado incluso si se imprime en blanco y negro.
- Las respuestas de los encuestados a las preguntas secundarias que obtuvieron una puntuación de éxito baja cercana al 60 % podría relacionarse con el carácter de dos de las variables analizadas:

economía y eficiencia energética, que podrían interpretarse como mejores si el valor representado es más pequeño, cuando se pretende que se interprete lo contrario. Tras reflexionar sobre este tema y comprobar las sugerencias realizadas por los propios encuestados en la pregunta abierta del cuestionario que refuerzan este razonamiento, creemos que la representación elegida podría perfeccionarse realizando los siguientes cambios:

- “Economía” debe de modificarse por “Económico” que es claramente mejor cuanto más económico es.
- “Eficiencia Energética” debe de modificarse por “Mayor Eficiencia Energética” que es claramente mejor cuanto más eficiencia energética existe.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros

El objetivo de este Capítulo es presentar las conclusiones alcanzadas a lo largo de la presente memoria. En primer lugar, se describe como se ha resuelto la problemática planteada en el capítulo inicial. Dichas soluciones constituyen las principales aportaciones de este trabajo. A continuación, se analizan los resultados del caso de estudio. Para terminar, se describen las líneas de trabajos futuros que, consideramos, se derivan del presente trabajo.

6.1. Conclusiones

Dividimos las conclusiones de este trabajo de tesis en dos grupos: las relativas al método diseñado, su representación y su adecuación a las necesidades existentes y por otro lado, las específicas de la discusión de los distintos resultados obtenidos por las dos alternativas analizadas en el caso de estudio.

6.1.1 Generales

La gestión adecuada del reparto de una cantidad limitada de energía proveniente de combustibles fósiles es una prioridad en el mundo actual, donde los equilibrios de poder tradicionales están trasladándose de un grupo de países desarrollados, que suponían la décima parte de la población mundial, a otro grupo de países emergentes que suponen la mitad de esta. La incorporación de los países emergentes a los niveles de consumo de energía de los desarrollados supone un reto que ha de considerar otras variables adicionales además de la economía y la eficiencia, como son el impacto medioambiental o parámetros sociales como salud, satisfacción y felicidad.

Los países deben de comprometerse a escala municipal con el reto del cambio de paradigma que supone la convergencia entre países desarrollados y emergentes encontrando soluciones económicas, eficientes, socialmente aceptables y sostenibles en el tiempo si quieren seguir disfrutando de iguales niveles de bienestar a los existentes en décadas pasadas.

Los indicadores existentes relacionados con la eficiencia energética y la sostenibilidad son complicados en su formulación, requieren de un histórico de datos muy específico y mientras que son adecuados a escala macroeconómica debido a iniciativas como ODYSSEE-MURE y Eurostat que permiten disponer de una amplia plétora de valores, no se adecúan bien al nivel municipal por la inexistencia de repositorios equivalentes.

El método diseñado en este trabajo de tesis es sencillo, escalable, flexible y se adecúa a las necesidades municipales ya que permite comparar alternativas y puede calcularse por personal no entrenado mediante el uso de una hoja de cálculo estándar y unas fichas que recojan las reglas de decisión del método y varias tablas.

Las posibles representaciones del método han sido evaluadas en el ámbito local consiguiéndose un alto grado de comprensión de los resultados para la representación mejor, tanto a nivel básico, de determinación de alternativa más sostenible con un grado de acierto superior al 80%, así como para inferir conclusiones adicionales referentes a los distintos aspectos de la evaluación con un grado de acierto en el peor de los casos superior al 60%.

La representación mejor es la más parecida a la etiqueta energética. Esto podría deberse a que la etiqueta energética es una representación consolidada y el parecido ha ayudado al entendimiento de los datos recogidos en nuestra representación mejor, o bien a que hemos llegado por dos vías distintas a la misma conclusión que los diseñadores de la representación del etiquetado energético. Se hace notar que la etiqueta energética y nuestra representación mejor se basan en otras escalas previas que se encuentran en la impronta del subconsciente colectivo como son: rojo malo y verde bueno, mas alto y más grande mejor que más bajo y más pequeño; y para los países anglosajones A – sobresaliente, G – muy deficiente, puesto que los valores desde la A a la G son los utilizados desde la infancia para valorar el desempeño académico.

6.1.2 Específicas a la evaluación del caso de estudio

Como suponíamos inicialmente, desde la perspectiva de la sostenibilidad, los valores económicos absolutos no son adecuados para tomar decisiones. En el caso de estudio analizado, la opción menos sostenible, la recogida contenedorizada (27,82 €/t), sin embargo es levemente más económica que la opción más sostenible, la recogida neumática (28,78 €/t).

Por otra parte, la eficiencia energética de la recogida contenedorizada (4,28 kep/t), es mejor que la de la recogida neumática (5,44 kep/t). Si sólo tuviésemos en cuenta un análisis de la eficiencia energética y de costes absolutos referidos al año 2009, la recogida contenedorizada seguiría siendo la alternativa mejor.

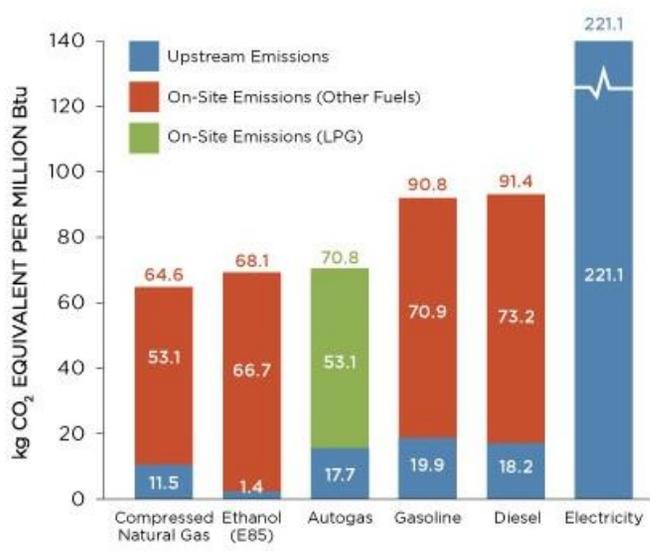
Sin embargo, en este trabajo de tesis hemos justificado la necesidad de realizar el análisis más profundo posible, que pueda ser comprendido a nivel municipal y que promocióne alternativas más sostenibles. Los valores obtenidos, una vez procesados mediante el método diseñado indican que la recogida neumática - 0,7396 - es mucho más sostenible que la recogida contenedorizada - 0,3732 -. Del análisis de los valores estudiados llegamos a las siguientes conclusiones:

- Respecto de los valores de ponderación:
 - El peso relativo para España de cada subíndice en función de los datos analizados y comparativamente al resto de países del resto de la UE-17, sigue el siguiente orden de mayor a menor:
 - Porcentaje de Renovables: 24,4 %.
 - Economía: 23,2 %.
 - Medio Ambiente: 20,8 %.
 - Social: 16,1 %.
 - Eficiencia Energética: 15,4 %.
 - La ponderación de los distintos subíndices en base al desempeño de España frente al resto de la UE-17 nos permite extraer información sobre qué margen de mejora hay disponible para cada variable analizada.
- Respecto a las variables analizadas:
 - Eficiencia energética: Como ya hemos dicho, la recogida contenedorizada es más eficiente energéticamente que la recogida neumática referida a datos de 2009. La eficiencia energética de la recogida contenedorizada no es muy flexible. Las mejoras aplicables

serían: formación en cursos de conducción eficiente al personal, minimización de circuitos [179] , gestionar la plena carga mediante tecnología GIS⁹³ [180], minimizar el tiempo de servicio mediante algoritmos genéticos [181] y uso de tecnología híbrida. Varias de estas mejoras incluyen al factor humano, por lo cual se debería de incidir especialmente en ellas para mantener su eficacia. Por otra parte, la eficiencia energética de la recogida neumática puede mejorarse aumentando la capacidad de absorción de las centrales neumáticas, garantizando que funcione a plena carga y mediante el uso de smart-grids. Todas estas mejoras son automatizables y podrían reducir los consumos significativamente.

- Impacto medioambiental: El cálculo del impacto medioambiental se ha realizado referido a emisiones generadas en núcleo urbano. Puesto que la recogida neumática no genera apenas emisiones en núcleo urbano, exceptuando el transporte al complejo medioambiental, su puntuación es muy buena en este apartado y hay poco margen de mejora. Por otro lado, para la recogida contenedorizada, puesto que la totalidad de las emisiones se realizan en núcleo urbano, el impacto mejoraría si se realizasen algunas de las siguientes acciones: mejoras en la eficiencia energética de los camiones, aplicación de tecnologías híbridas o uso de fuentes de energía alternativas como el Gas Natural Comprimido a la que los camiones diesel pueden ser adaptados (Gráfica 6.1).

⁹³ Geographic Information System, Sistema de Información Geográfica (SIG)

Gráfica 6.1: Emisiones de CO₂ equivalentes para varias energías

Note: Based on this chart, credit is given to ethanol for carbon sequestration during crop production.

Fuente: AUTOGASFORAMERICA

La Gráfica 6.1 también pone de manifiesto que las emisiones de CO₂ equivalentes por Millones de Btu⁹⁴ fuera de núcleo urbano de la energía eléctrica son muy superiores a las del resto de fuentes de energía [182], ya que la electricidad no es una fuente de energía primaria. Es de destacar que si contabilizásemos las emisiones totales, la recogida neumática obtendría resultado parecido a la contenedorizada. Incluso ante esta situación, la aplicación de medidas de secuestro de emisiones en las centrales eléctricas es mucho más factible y económica en lo que al municipio respecta que la sustitución de la flota de vehículos de recogida completa.

- Economía: Como ya hemos indicado, la recogida neumática y la contenedorizada son equivalentes económicamente y están en el

⁹⁴ Btu es British Thermal Unit. según www.unit-converter.org son 1055,056 J.

rango de los 28 €/t. Es difícil, aunque necesario en el momento actual (2012), proponer medidas para mejorar el coste. Los costes aproximadamente responden en un tercio al coste de compra de la energía y dos tercios a los costes operativos, gastos generales y amortizaciones. El consumo puede modificarse con medidas de eficiencia energética, ya analizadas, que provocarán una mejora porcentual sobre un tercio de los costes. Sobre los precios de la energía, en ambos casos se tiene poco control para este caso de estudio a nivel municipal. Por un lado, la contenedorizada se alimenta con diesel o biodiesel, el cual posee un precio similar, con lo cual está sujeta a la volatilidad e imprevisibilidad del precio de los hidrocarburos y biocombustibles. Por otro lado, la neumática depende de los costes de producción del *mix* energético eléctrico nacional, así como de las posibles inversiones en autoproducción de renovables, que son factibles y asegurarían un porcentaje de coste seguro, como amortización y mantenimiento de las instalaciones. El otro factor sobre el que se puede actuar, es sobre los costes operativos. En el caso de la contenedorizada lateral no es posible una automatización mucho mayor, ya que los camiones sólo llevan a una persona que realiza las labores de conductor y peón mediante el uso de automatismos en el vehículo. La recogida neumática no puede automatizarse más ya que la planta central se opera por tres operarios y los camiones a plena carga se conducen por una única persona. La mejora en este campo se puede alcanzar mediante medidas de eficiencia energética, optimización de sistemas, aumento de la fiabilidad para disminuir los mantenimientos, funcionamiento a plena carga, disminución del volumen de residuos mediante campañas de concienciación y por último moderación de salarios y gastos generales.

- Porcentaje de renovables: La recogida contenedorizada no posee ningún porcentaje de renovables para los datos de 2009. Sin embargo puede utilizarse biodiesel que puede proporcionar un porcentaje de renovables entre el 25% y el 80% en función de la fuente de biodiesel utilizada y de la energía utilizada para recoger y procesar esta fuente. Por otro lado, la recogida neumática se beneficia del porcentaje de renovables existente en el *mix* energético nacional, así como de la

posibilidad de ampliar el huerto solar existente para mejorar este parámetro hasta el punto que se desee.

- Social: La percepción de la recogida neumática sale muy bien parada desde el punto de vista de los expertos que la han evaluado frente a la recogida contenedorizada. Las mayores molestias para la recogida neumática, aunque leves, son el horario, la distancia al buzón y el desbordamiento. Estas molestias deberían de considerarse como residuales para el sistema compartido de buzones, ya que el paso definitivo para que la recogida neumática fuese perfecta, sería integrarla en cada vivienda. Este tipo de instalaciones son factibles y se encuentran disponibles en el extranjero. Por otra parte, respecto de la recogida contenedorizada, podemos decir que las principales molestias son el olor, desbordamiento y ruido, que con una puntuación alrededor del 6 resultan bastante molestas al usuario. Para paliar el grado de las molestias generadas se pueden llevar a cabo medidas como: mejorar la estanqueidad y la hermeticidad de los contenedores, soterrarlos, aplicar políticas de concienciación ciudadana para disminuir el volumen de residuos, respetar los horarios para depositar los residuos, compactar la fracción inorgánica en el domicilio e implantar la recogida neumática siempre que sea posible. SADECO, comprometida con la calidad en la prestación del servicio de recogida de residuos sólidos urbanos, además de implantar la recogida neumática, ha realizado otras innovaciones híbridas para el caso de los centros históricos implantando⁹⁵ los llamados por SADECO, “ecopuntos”⁹⁶. Estos espacios son unos recintos públicos cerrados donde se ubican contenedores, que no están a la vista de los usuarios evitando los clásicos problemas de emplazamiento de los mismos, cuentan con un sistema de refrigeración que evita olores (molestia principal que se ha detectado en la encuesta a los usuarios), cuentan con ventajas operativas como

⁹⁵ Instalaciones que pudieron visitarse en las Jornadas de ANEPMA que en 2011 se celebraron en Córdoba [145].

⁹⁶ 6 ecopuntos en 2012.

la incorporación de un sistema de limpieza y desinfección interior, poseen un dispositivo de telecontrol de llenado de contenedores e incluso un sistema de detección y extinción automático de incendios que pudieran producirse accidentalmente o por actos vandálicos. Los residuos se depositan mediante una serie de buzones, por fracciones, que ni siquiera hace tocar, ya que la apertura de dichos buzones es automática mediante el uso de un sensor de presencia. Este sistema aúna las ventajas sociales del sistema de recogida neumático en aquellos espacios donde no es factible, como es el casco histórico patrimonio de la humanidad de la ciudad de Córdoba.

- Respecto de las características de la prestación del servicio de recogida de RSU:
 - La Recogida de residuos es intensiva en inversiones. Las decisiones de cambios de paradigma han de ser: conservadoras para la cobertura existente, innovadoras para la cobertura de nuevas zonas, con alto grado de hibridación, integración y capacidad de evolución.
 - La sustitución de sistemas debe de tener en cuenta el ciclo de vida [183, 184].
 - Los volúmenes soportados por los sistemas de gestión medioambiental se beneficiarían de políticas alineadas con el ECOdiseño y la prohibición de las estrategias de obsolescencia programada [185].
 - Todos los costes de recogida y tratamiento, y no sólo una parte, deben de estar repercutidos legalmente en los costes de compra y no suponer un coste adicional para el municipio. De este modo, quien consume, paga y además, quien consume los bienes de fabricantes poco comprometidos con el sistema, paga más.

6.2. Trabajos Futuros

Sobre el método: se ha aplicado a un caso a nivel municipal y debería contrastarse con un caso a escala nacional o internacional.

Se podría aumentar el universo de la muestra para asegurar que la gráfica elegida en el caso de estudio corresponde con la más comprensible, y usable y descartar un posible sesgo del caso estudiado.

Se debería de contrastar las hipótesis de mejora de la representación elegida del Apartado 5.3.5.3.

El caso de estudio se particulariza sobre una parte de un proceso general y se podría ampliar a todo el ciclo de vida de dicho proceso.

Este método como línea inmediata de investigación se aplicará a un Proyecto de cooperación Euromediterránea ENPI CBC MED donde las sostenibilidad de la recogida de RSU en cascos históricos es el eje principal.

Referencias Bibliográficas

En este apartado se recogen las referencias bibliográficas que se han citado a lo largo del documento.

1. **Harford, Tim.** *La lógica oculta de la vida.* s.l.: Temas de Hoy, 2009. cap. 9.
2. *The Economics of Autocracy and Majority Rule: The Invisible Hand and the Use of Force.* **Olson, Mancur Lloyd y McGuire, Martin C.** 1996, Journal of Economic Literature, Vol. 34, pp. 72-96.
3. **Smith, Adam.** *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.* London : s.n., 1776.

4. **UN.** *Agenda 21: Earth Summit - The United Nations Programme of Action from Rio.* s.l. : <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>, 1993.
5. *Energy efficiency, sustainability and economic growth.* **Ayres, Robert U., Turton, Hal y Casten, Tom.** 2007, *Energy*, Vol. 32, num. 5, pp. 634-648.
6. **Guggenheim, Davis y Gore, Al.** *An Inconvenient Truth.* 2006.
7. **COM.** *Politica Energetica para Europa (2007). Plan de acción del Consejo europeo.* Bruselas : http://ec.europa.eu/index_en.htm, 8-9 de Marzo de 2007.
8. **World Commission on Environment and Development, UN.** *Development and International Economic Co-operation: Environment.* s.l. : United Nations, 1987.
9. **Comisión Nacional de la Energía, CJA Consultores.** *Consumo de Energía y Crecimiento Económico.* Madrid : Club Español de la Energía. Comisión Nacional de la Energía, 2002.
10. *Sustainable reference methodology for energy end-use efficiency data in the EU.* **Doukas, H., y otros.** 2008, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, pp. 2159-2176.
11. **IAEA, UNDESA, IEA, EEA and EUROSTAT.** *Energy Indicators for Sustainable Development Guidelines and Methodologies.* Vienna: IAEA, 2005.
12. **ODYSEE-MURE.** *Energy efficiency: Trends and Policies in the EU-27.* Paris : ADEME Editions, 2009.
13. *Energy indicators and sustainable development: The International Energy Agency approach.* **Unander, Fridtjof.** 2005, *Natural Resources Forum*, Vol. 29 pp. 377-391.
14. *Incentives for energy efficiency in the EU Emissions Trading Scheme.* **Schleich, Joachim, Rogge, Karoline y Betz, Regine.** 2009, *Energy Efficiency*, Vol. 2 pp. 37-67.
15. *Eficiencia Energética y Sostenibilidad.* **Robles, R. M.** Córdoba: s.n., 2009. I Congreso Científico de Investigadores en Formación.

16. *Energy Efficiency Policy. Worldwide Implementation Now WIN.* **OECD/IEA.** 2008.
17. **IDAE.** <http://www.idae.es>. Marzo 2009
18. *Measuring sustainable development: Some empirical evidence for France from eight alternative indicators.* **Nourry, Myriam.** 2008, Ecological Economics, Vol. 67, pp. 441-456.
19. *Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems.* **Mayer, Audrey.** 2008, Environment International, pp. 277-291.
20. *Measuring the immeasurable-A survey of sustainability indices.* **Böhringer, Christoph y Jochem, Patrick.** 2007, Ecological Economics , Vol. 63, pp. 1-8.
21. **OECD.** Organisation for Economic Co-operation and Development. *Aggregated environmental indices: review of aggregation methodologies in use.* Paris. 2002.
<http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/SE%282001%292/FINAL&docLanguage=En>.
22. *Making 'dirty' nations look clean? The nation state and the problem of selecting and weighting indices as tools for measuring progress towards sustainability.* **Morse, S. y Fraser, EDG.** 2005, Geoforum, Vol. 36, pp. 625-640.
23. *Categorising tools for sustainability assessment.* **Ness, Barry, y otros.** 2007, Ecological economics, Vol. 60, pp. 498-508.
24. **Russell, Bertrand.** *¿Tiene el hombre futuro?* Barcelona : Bruguera, S.A., 1982.
25. **Meadows, Donella H., y otros.** *The Limits of Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind.* New York. : Universe Books. 1972.
26. **US Congress.** National Environmental Policy Act. 1969.
<http://ceq.hss.doe.gov/nepa/regs/nepa/nepaeqia.htm>. Junio 2011

27. **UNEP.** Stockhom 1972 - United Nations Environment Programme (UNEP). 1972.
<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97>.
Junio 2011
28. **UNFCCC.a.** United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Junio 2011
29. **UNFCCC.b.** United Nations Framework Convention on Climate Change. 1997. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>. Junio 2011
30. **WCED.** World Commissions on Environment and Development "Our Common Future". *Oxford, Uk, Oxford University Press* . 1987.
<http://www.un.documents.net/k-001303.htm>.
31. **European Commission.** EUROPA - European Commission. 1986.
http://ec.europa.eu/economy_finance/emu_history/documents/treaties/singleuropeanact.pdf. Junio 2011
32. **Fernández Bolaños, V.** *Incidencia de la política medioambiental en la actividad económica*. Madrid : Universidad Complutense de Madrid, 2006.
33. *International Standards to develop and promote energy efficiency and Renewable Energy Sources.* **OECD/IEA.** 2007, IEA Intenational Energy Agency.
34. **Paz Bañez, M. A.** *Tránsito hacia el nuevo milenio* . Madrid : Editorial Pirámide, 1998.
35. **Dubos, René J.** *Man, medicine and environment*. New York : Praeger, 1968.
36. **Cumper, G.** *Economic development, health services, and health*. Oxford : Oxford Medical Pub., 1993.
37. *Sustainable energy development: The present (2009) situation and possible paths to the future.* **Lior, N.** 2010, Energy, pp. 3976-3994.
38. **Malthus, Thomas Robert.** *An Essay on the Principle of Population*. London : s.n., 1798.

39. **Mcneill, J.R.** *Something New Under the Sun. An Environmental History of the Twentieth-Century World.* New York : W.W. Norton & Company, 2001.
40. **Hanson, Haldore, Borlaug, Norman E. y Anderson, R. Glenn.** *Wheat in the Third World.* Colorado : Westview Press, 1982.
41. *What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have?* **Hall, Charles A.S., Balogh, Stephen y Murphy, David J.R.** 2009, *Energies*, Vol. 2 pp. 25-47.
42. **Hubbert, M.K.** *Health Facilities and the Energy Crisis: A Conversation with M. King Hubbert.* 1976. <http://collectiveliberation.com/2011/02/04/vintage-oil-crisis-film/>.
43. **ASPO.** Association for the study of peak oil & gas. <http://www.peakoil.net>. Mayo 2009
44. *A variant of the Hubbert curve for world oil production forecasts.* **Maggio, G., Caccional, G.** 2009, *Energy Policy*, pág. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.053.
45. *Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage.* **Deffeyes, Kenneth S. y Silverman, M. P.** 2004, *American Journal of Physics*, Volume 72, Issue 1, pp. 126.
46. *A review on existing sustainable indices on efficient energy.* **Robles, R. M., y otros.** Las Palmas de Gran Canarias : ICREPQ'11, 2011. International Conference on Renewable Energies and Power Quality. pág. 6.
47. **IDAE.** Instituto de Diversificación y Ahorro Energético. 2011. http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_presentacionplanintesiahorro040311_bdd8391f.pdf.
48. **Sustainability Institute.** SI: Donella Meadows Bio. 2004. <http://www.sustainabilityinstitute.org/> Septiembre de 2009
49. **Meadows, D., Randers, J. y Meadows, D.** A synopsis: Limits to growth. The 30 Year Update. 2004 <http://clubofrome.at/about/limitstogrowth.pdf>. Septiembre de 2009

50. **UNFCCC.c.** United Nations Framework Convention on Climate Change. 2009. http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php.
51. *Energy efficiency: How far does it get us in controlling climate change?* **Ürge-Vorsatz, Diana y Metz, Bert.** 2009, Energy Efficiency, Vol. 2, pp. 87-94.
52. **Jevons, Willian.** *The Coal Question.* 1865. London : Mac Millan and Co <http://www.econlib.org/library/YPDBooks/Jevons/jvnCQ.html>, Enero 2010
53. *Decomposition of manufacturing energy-use in IEA countries. How do recent developments compare with historical long-term trends?* **Unander, Fridtjof.** 2007, Applied Energy, Vol 84, pp. 771-780.
54. **Berthrand, Yann Arthus.** *Home.* Europacorp, 2009.
55. *La eficiencia energética.* **Santamarta, José.** 2007, World Watch, pp. 36-41.
56. *Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances.* **Khazzom, J. Daniel.** 1980, The Energy Journal, Vol. 11, pp. 21-40.
57. *Energy Efficiency and Economic Fallacies.* **Brookes, Leonard.** 1990, Energy Policy, pp. 783-785.
58. *Energy efficiency fallacies - a postscript.* **Brookes, Leonard.** 2004, Energy Policy, Vol. 32, pp. 945-947.
59. *The Khazzom-Brookes postulate and neoclassical growth.* **Saunders, Harry D.** 1992, The Energy Journal.
60. **LLNL.** Lawrence Livermore National Laboratory. 2009. <https://flowcharts.llnl.gov/energy.html#2009>. Mayo 2010
61. **Lovins, Armory B.** *Energy Strategy: The Road not Taken?* 1976. http://softpathinnovations.com/SoftPath/About_Us_files/Energy%20Strategy-%20The%20Road%20Not%20Taken.pdf. Septiembre 2010
62. **Georgescu-Roegen, Nicholas.** *The Entropy Law and the Economic Process.* Cambridge, MA.: Harvard University Press, 1971.

63. *Carta Europea de la Energía. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 98/181/CE. CEE.* 1994.
64. **Tanaka, Nobuo.** International Energy Agency. 2009.
http://www.iea.org/speech/2009/Tanaka/EE_Global.pdf. Septiembre 2010
65. *Evaluación de los Planes Energéticos Nacionales en España (1975-1998).* **Cuerdo, Miguel.** 1999, Historia Industrial, nº 15 pp. 161-178.
66. *Polices for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries.* **Geller, Howard, Harrington, Philip y Rosenfeld, Arthur H.** 2006, Energy Policy, Vol 34, pp. 556-573 .
67. **Sharpley, R. y Telfer, D. J.** *Aspect of Tourism. Tourism and Development. Concept and Issues.* Clevedon : Channel View publications, 2002.
68. *Sustainable Development and Agenda 21: A secular bible of global free markets and pluralist democracy.* **Doyle, T.** 1998, Third World Quarterly, Vol. 19[4], pp. 771-786.
69. **Crosby, A. y Danies, J.** *El desarrollo turístico sostenible en el medio rural.* Madrid : Centro Europeo de Formación Ambiental y Turística, 1993.
70. **ALIDES.** Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
<http://www.ccad.ws/antecedentes/alides/concepto.htm>. Octubre 2010
71. **Latouche, Serge.** *Decrecimineto y posdesarrollo: El pensamiento creativo contra la economía del absurdo.* Mataró : El viejo topo, 2009.
72. *Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability. Introduction to this special issue.* **Schneider, François, Kallis, Giorgos y Martinez-Alier, Joan.** 2010, Journal of Cleaner Production, Vol 18 pp. 511-518.
73. *Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm.* **Martínez-Alier, Joan, y otros.** 2010, Ecological Economics, pp. 1741-1747.

74. *L'effet rebond*. **Schneider, François**. 2003, *l'Ecologiste*, Edition française de The Ecologist , n°11, Vol 4 n°3 p45.
75. *Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: Ten basic steps for analysis*. **Huppés, Gjalt y Ishikawa, Masanobu**. 2009, *Ecological Economics*, Vol 68, pp. 1687-1700.
76. *Energy efficiency fallacies revisited*. **Brookes, Leonard**. 2000, *Energy Policy*, Vol 28, pp. 355-366.
77. *Energy and environment: sustained development and internalisation of environmental costs*. **Martin, Pierre**. Montevideo : s.n., 1996. XVI Workshop on Energy Economics.
78. *Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability?* **Hanley, Nick, McGregor, Peter G., Swales, J. Kim y Turner, Karen**. 2009, *Ecological Economics*, Vol.68, pp. 692-709.
79. *Energy transition towards economic and environmental sustainability: feasible paths and policy implications*. **D'Alessandro, Simone, Luzzati, Tommaso y Morroni, Mario**. 2010, *Journal of Cleaner Production* , Vol 18, pp. 291-298.
80. **MMA**. *Inventario de gases de efecto invernadero de España. Serie 1990-2008*. Madrid : Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010.
81. **COM.a**. *Comisión de las Comunidades Europeas. LIBRO VERDE Estrategia Europea para una energía sostenible, competitiva y segura*. Bruselas : s.n., 2006.
82. **COM.b**. *Comisión de las Comunidades Europeas. Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20%*. Bruselas : Comisión de las Comunidades Europeas, 2008.
83. **CE**. *Directiva 92/75/CE del Consejo, de 22 de Diciembre, relativa a la indicación del consumo de energía y de otros recursos de los aparatos domésticos, por medio del etiquetado y de una información uniforme sobre los productos*. s.l. : Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1992.

84. **SEEC.** Sustainable Energy Europe Campaign. 2010.
<http://www.sustenergy.net/>.
85. **UNESA.** *El sector eléctrico español y el medio ambiente.* . Madrid : Graficas MAR-CAR, S.A. , 1996.
86. **CNE.** *Energía: del monopolio al mercado. CNE, diez años en perspectiva.* Navarra : Aranzadi, 2007.
87. **EUROSTAT.** *Measuring progress towards a more sustainable Europe.* Luxembourg : European Communities, 2007.
88. *Energy indicators for sustainable development.* **Vera, I. y Langlois, L.** 2007, Energy, Vol. 32, pp. 875-882.
89. *Energy Efficiency Award system in Malaysia for energy sustainability.* **Manan, Z. A., Shiun, L. J. y Wan Alwi, S. R.** 2010, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 2279-2289.
90. **IAEA.** *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies.* Austria : IAEA, 2005.
91. **IDAE y CEI.a.** *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes".* Madrid : IDAE, 2001 a.
92. **IDAE y CEI.b.** *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Oficinas.* Madrid : IDAE, 2001 b.
93. **IDAE y CEI.c.** *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Hospitales y Centros de Atención Primaria.* Madrid : IDAE, 2001 c.
94. *Energy indicators for sustainable development.* **Ivan Vera, Lucille Langlois.** 2007, Energy, pp. 875-882.
95. *Energy Efficiency Award system in Malaysia for energy sustainability.* **Zainuddin Abdul Manan, Lim Jeng Shiun, Sharifah Rafidah Wan Alwi, Haslenda Hashim, K. S. Kanan, Norhasliza Mokhtar, Ahmad Zairin Ismail.** 2010, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 2279-2289.

96. *Global estimates of market and no-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation.* **Sutton, Paul C. y Costanza, Robert.** 2002, *Ecological Economics*, Vol. 41 pp509-527.
97. *An empirical environmental sustainability index derived solely from nighttime satellite imagery and ecosystem service valuation.* **Sutton, Paul C.** 2003, *Population and Environment*, Vol. 24 pp293-311.
98. *Some approaches in the construction of a sustainable development index for the Philippines.* **Barrios, E. y Komoto, K.** 2006, *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, Vol. 13, pp. 277-288.
99. *Fisher Information and dynamic regime changes in ecological systems.* **Mayer, Audrey I., Pawlowski, Christopher W. y Cabeza, Heriberto.** 2006, *Ecological Modelling*, Vol.195 pp. 72-82.
100. *The World Bank's 'genuine savings' measure and sustainability.* **Pillariseti, J. Ram.** 2005, *Ecological Economics*, Vol. 55, pp. 599-6009.
101. *A measure of sustainable national income for the Netherlands.* **Gerlagh, Reyer, y otros.** 2002, *Ecological Economics*, Vol. 41, pp. 157-174.
102. *Emergy and exergy analyses: Complementary methods or irreducible ideological options?* **Sciubba, Enrico y Ulgiati, Segio.** 2005, *Energy*, Vol.30, pp. 1953-1988.
103. *Ecological footprint and appropriated carrying capacity what urban economics leaves out.* **Rees, W.** 1992, *Environ Urban*, Vol. 4, pp. 121-130.
104. **WWF.** *Living Planet Report 2010.* Switzerland : WWF International, 2010.
105. **Festinger, L. y Katz, D.** *Los métodos de investigación en las ciencias sociales.* Barcelo : Paidós, 1992.
106. **Panayotou, T.** *Globalization and environment.* Cambridge, MA. : Centre for International Development. Harvard University, 2000. working paper no, 53.

107. *In search of natural systems sustainability index.* **Diaz-Balteiro, L y Romero, Carlos.** 2004, *Ecological Economics*, pp. 401-405.
108. *A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas.* **Pickett, S.T.A., y otros.** 1997, *Urban Ecosystems*, Vol.1, pp. 185-199.
109. *Measuring urban sustainability: developing a conceptual framework for bridging the gap between theoretical levels and the operational levels.* **Masnavi, M.R.** 2007, *Int. J. Environ. Res.* , Vol 1 pp. 188-197.
110. *National account measures and sustainability objectives: present approaches an future prospects.* **Clarke, M. y Islam, S.M.N.** 2006, *Sustainable Development*, Vol. 14 pp. 219-233.
111. *Sensitivity analysis of aggregated indices for integrated assessment with a case study of the mid-atlantic region.* **Tran, L.t., O'neil, R.V.M y Smith, E.R.** 2007, *Environ Manage*, Vol.39 pp506-514.
112. *Comparing agregating methods for constructing the composite enviromental index: An objetive meature.* **Zhou, P., Ang, B.W. y Poh, K.L.** 2006, *Ecological Economics* , Vol. 59 pp. 305-311.
113. **Alonso, Agustin y al, et.** *Modelos energéticos para España: necesidades y calidad de vida.* Madrid : Fundación Alfonso Martín Escudero, 2004.
114. **Mankiw, G.** *Principles of economics.* s.l. : Hancourt College Publishers, 2003.
115. *How to Judge Quality.* **Kuznets, Simon.** s.l. : The New Republic, 1962, The New Republic, pp. 29-32.
116. *Diminishing and negative welfare returns of economic growth: an index of sustainable economic welfare (ISEW) for Thailand.* **Clarke, M. y Islam, Sardar M. N.** 2005, *Ecological Economics*, Vol. 54, pp. 81-93.
117. **Marmont, Michel.** *Determinantes Sociales de la Salud.* s.l. : OMS, 2006.
118. **United Nations Development Programme.** *The Real Wealth of Nations: Pathways to Human Development.* New York : Palgrave Macmillan, 2010.

119. **CE.** *Directiva 94/2/CE de la Comisión, de 21 de enero, por la que se establecen las disposiciones de aplicación de la Directiva 92/75/CE del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos.* Diario de las Comunidades Europeas : s.n., 1994.
120. **Forret, P.** Peter Forret. *Herramienta online para convertir colores CMYK en RGB.* 2010. <http://web.forret.com/tools/color.asp>.
121. **CE.** *Reglamento (CE) N° 1222/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo. 25 noviembre.* Bruselas : Sobre el etiquetado de los neumáticos en relación con la eficiencia en términos de consumo de carburante y otros parámetros esenciales, 2009.
122. **B.O.E.** *R.D. 47/2007. Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.* Madrid : Boletín Oficial del Estado de España, n° 27, 2007.
123. **García, Xavier.** Regulación y certificación Energética de Edificios: Asignatura Pendiente en España. *Universidad Pontificia de Comillas.* 2004. <http://www.iit.upcomillas.es/docs/IIT-04-022I.pdf>. Mayo 2009
124. **DOUE.a.** *Etiquetado energético de las televisiones.* Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea, 2010.
125. **DOUE.b.** *Etiquetado energético de lavadoras.* Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea, 2010.
126. **Anónimo.** Fat Knowledge: The Carbon Footprint of a Cheeseburger. 2007 <http://fatknowledge.blogspot.com/2007/01/carbon-footprint-of-cheeseburger.html>. Mayo 2010
127. **Gobierno de Cantabria.** *Elaboración del cálculo de la huella ecológica en la Comunidad de Navarra.* Santander : Gobierno de Cantabria., 2000.
128. **Williams, Pamela Margaret.** Victoria University of Wellington. *University Leadership for Sustainability.* 2008.

http://www.futuresteps.co.nz/PhD_University_Leadership_for_Sustainability.pdf

129. **Mann, Samuel.** Computing for sustainability. 2010.

<http://computingforsustainability.wordpress.com/plan-a/>.

130. **JISC.** Joslyn Institute for Sustainable Communities: EcoSTEP Creative Cities. 2008 . http://www.ecospheres.com/creative_cities.pdf. Mayo 2010

131. **Stockport.** Stockport Metropopolitan Borough Council. 2010.

http://s1.stockport.gov.uk/council/corestrategy/chapter_386.html. Mayo 2010

132. *Development of composite sustainability performance index for steel industry.* **Singh, R. K., y otros.** 2007, Ecological Indicators, pp. 565-588.

133. **Romero, Carlos.** *Análisis de las decisiones multicriterio.* Madrid: Isdefe, 1996.

134. **University of Cambridge.** University of Cambridge ESOL Examinations Spain. [Citado el: 17 de 2 de 2011.] <http://www.cambridgeesol.org/spain/>.

135. *Interpretaciones visuales de la sostenibilidad: Enfoques comparados y presentación de un Modelo Integral para la toma de decisiones.* **Rocuts, Asthriesslav, Jiménez, Luis M y Navarrete, Marcela.** 4, s.l. : Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, 2009. pp. 1-22.

136. *Energy Indicators for tracking sustainability in developing countries.* **Kemmler, Andreas y Spreng, Daniel.** s.l. : Energy Polcy, 2007, Vol. 35, pp. 2466-2480.

137. **Robles González, Remedios M^a.** Investigación de la Universidad de Córdoba. *Encuesta On-line.* Marzo de 2011.

<http://www.uco.es/~p42rogor/encuesta.htm>.

138. *Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges.* **Zhang, Dong Qing, Tan, Soon Keat y Gersberg, Richard M.** 2010, Journal of Environmental Management, Vol. 91, pp. 1623-1633.

139. *Particulate air pollution and acute health effects*. **Seaton, P.** 1995, The Lancet, Vol. 345, num. 8943, pp. 176-178.
140. *Health effects of outdoor air pollution*. **Bascom, R.** 1996, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 153, num. 1, pp. 3-50.
141. *Awareness of risk factors for cancer among British adults*. **J. Wardle, J. Waller, N. Brunswick, M.J. Jarvis.** 2001, Public Health, Vol. 115, num. 3, pp. 173-174.
142. **BOE.** 3243 *Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015*. Madrid : Boletín Oficial del Estado, 2009.
143. *Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas*. **André, Francisco J. y Cerdá, Emilio.** 2006, Cuadernos Económicos del ICE (Información Comercial Española), Vol.71 pp. 71-91.
144. **López Bonillo, D.** *El Medio Ambiente*. Madrid: Cátedra, 2001.
145. **ANEPMA.** XIX Jornadas Técnicas de ANEPMA. 2011.
<http://www.jornadasanepma.es>. Octubre 2011.
146. **SIGRE.** *Sistemas Integrados de Gestión y Recogida de Envases*.
<http://www.sigre.es>.
147. *Evaluación Ambiental de alternativas de Gestión de Residuos: Aplicación a Castellón de la Plana, España*. **Bovea, M.D., y otros.** Barranquilla : s.n., 2009. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. pp. 1-16.
148. **LIPASAM.** Memoria sostenibilidad 2009. 2010.
http://www.lipasam.es/fileadmin/editores/pdf/memoria_2009/MEMORIA_SOSTENIBILIDAD_LIPASAM_2009.pdf. Septiembre 2011.
149. *Análisis ambiental global y local comparativo entre la recogida neumática móvil y convencional de residuos sólidos municipales en Barcelona* **Sales, C., Rieradevall, J. y Domènech, X.** 2001.

150. *Pipeline transport of solid waste in the Grand Holy Mosque in Makkah.* **Al-Ghamdi, Abdullah Saeed y Abu-Rizaiza, Asad Seraj.** 2003, Waste Management & Research, Vol. 21 pp. 474-479.
151. Ayuntamiento de Almeria. *Area de mantenimiento y Medio Ambiente.* 2006. http://www.aytoalmeria.es/opencms/html/recursos/contenidos/ayuntamiento/concejalias/mantenimientoMedioAmbiente/unidadLimpieza/unidadLimpieza/1177424191568_servicio_de_recogida_de_r.s.u..pdf. Septiembre 2011.
152. **Vida sostenible.** *Materiales y Residuos.* Recogida Neumática, 2006. http://www.vidasostenible.org/observatorio/f2_final.asp?idinforme=957. Septiembre 2011
153. *Public health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment.* **N.Künzli, R.Kaiser, S.Medina, M.Studnicka, O.Chanel, P.Filliger, M.Herry, F.Horak, Jr, V.Puybonnieux-Texier, P.Quénel.** 2000, The Lancet, Vol. 356, num. 9232, pp. 795-801.
154. **Pennsylvania Waste Industry Association.** *The Economic Impacts of the Municipal Waste Collection, Transportation, and Disposal Industry in Pennsylvania.* Philadelphia : Econsult Corporation, 2007.
155. *El manejo transfronterizo de residuos tóxicos y peligrosos: Una amenaza para los países del tercer mundo.* **Sánchez, Roberto.** 1990, Frontera Norte, Vol. 2, num. 3, pp. 91-114.
156. **Val, Alfonso de.** *El libro del reciclaje.* Barcelona: Ed. Integral, 1997. ISBN:8479012528.
157. **Berbel, J., Diz, J. y Navarro, C.** *Presente y Futuro de la Recogida de Residuos Urbanos.* Córdoba : Gráficas Typo, 1999.
158. **SADECO.a** Sadeco S.A. <http://www.sadeco.es/> Enero 2011
159. **Diz, J.** *XV Workshop on local Governance . Models of Urban Growth. Urban Waste materials and town planning.* Trea-Spain: pp. 321-334, 2010.
160. **Lang, B. y Majano, R.** *El Impacto ambiental de los medios de transporte en Centro America.* *Swisscontact. San Salvador.* 1999.

161. **Benyasut, M.** Mechanisms of Health Afflictions from Traffic-related Particles. 1999. <http://advisor.anamai.moph.go.th/factsheet/Traffic.htm>. Mayo 2009
162. **Ros Roca.a** Ros Roca S. A. 2011. <http://www.rosroca.com/es>.
163. **SADECO.b** *Memoria 2009*. Córdoba : Saneamientos de Córdoba S.A., 2010.
164. **IEA.** International Energy Agency. <http://www.iea.org/stats/unit.asp>. Septiembre 2011.
165. **IEA, OECD y EUROSTAT.** 2004 Energy Statistics Manual. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/NRG-2004/EN/NRG-2004-EN.PDF. Junio 2009
166. **Generalitat de Cataluña.** Generalitat de Cataluña. *Cambio Climático*. (2010)
http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Redueix%20emissions/Factors%20d%27emissi%C3%B3%20associats%20a%20l%27energia/110301_Info%20mix%20web_factors_cast_rev.pdf . Enero 2011
167. **SADECO.c** *Memoria 2000*. Córdoba : Saneamientos Córdoba, S.A., 2001.
168. **SADECO.d.** *Memoria 2001*. Córdoba : Saneamientos Córdoba S.A., 2002.
169. **SADECO.e** *Memoria 2004*. Córdoba : Saneamientos Córdoba S.A., 2005.
170. **SADECO.f** *Memoria 2005*. Córdoba : Saneamientos Córdoba S.A., 2006.
171. **SADECO.g** *Memoria 2006*. Córdoba: Saneamientos Córdoba S.A., 2007.
172. **SADECO.h** *Memoria 2007*. Córdoba: Saneamientos Córdoba S.A., 2008.
173. **SADECO.i** *Memoria2008*. Córdoba: Saneamientos de Córdoba S.A. , 2009.
174. **Ros Roca. b** *Proyecto básico de implantación de la recogida neumática de residuos municipales de la ciudad de Córdoba*. Lérida : ROSROCA, 2006.

175. **WWF**. Observatorio de la Electricidad. 2009. http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/observatorio_de_la_electricidad/.
176. **ENERGUIA**. Noviembre de 2010. <http://energuia.com/2010/11/la-cne-confirma-que-el-ano-pasado-las-renovables-fueron-la-principal-fuente-de-electricidad-en-espana/>.
177. **Pérez, César**. *Técnicas Estadísticas con SPSS 12. Aplicación al análisis de datos*. Madrid : Pearson Prentice Hall, 2005. 84-205-4410-8.
178. **IBV**. Instituto Biomecánica de Valencia. 2011. <http://www.ibv.org>. Febrero 2011
179. *Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling*. **Tavares, G., y otros**. 2009, Waste management, Vol. 29, pp. 1176-1185.
180. *A GIS based transportation model for solid waste disposal-A case study on Asansol municipality*. **Ghose, M.K., Dikshit, A.K. y Sharma, S.K.** 2006, Waste Management, Vol. 26, pp. 1287-1293.
181. *Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems*. **Arribas, Claudia Andrea, Blazquez, Carola Alejandra y Lamas, Alejandro**. 2010, Waste Management & Research, Vol. 28, pp. 355-363.
182. **AUTOGASFORAMERICA**. <http://autogasforamerica.org/why-autogas/cleaner>.
183. *Waste management models and their application to sustainable waste management*. **Morrissey, A.J. y Browne, J.** 2004, Waste Management, Vol. 24, pp. 297-308.
184. *LCA of selective waste collection systems in dense urban areas*. **Iriarte, Alfredo, Gabarrell, Xavier y Rieradevall, Joan**. 2009, Waste Management, Vol. 29, pp. 903-914.
185. **Dannoritzer, Cosima**. *Comprar, tirar, comprar*. 2010.

186. **UNED.** *Gestión y tratamiento de los residuos urbanos*, 2003
<http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina3.htm> Septiembre 2011.

Anexo I

En este Anexo, se recoge la encuesta pasada a los usuarios de sistema contenedorizada, de las zonas elegidas, y la prueba sobre representaciones gráficas.

INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

La Universidad de Córdoba está actualmente desarrollando una investigación en sostenibilidad. Entre otros factores se va a estudiar la recogida de residuos sólidos urbanos en la capital de Córdoba, y por otro lado la toma de decisiones para medir la sostenibilidad a partir de una serie de representaciones. Agradecemos sinceramente su colaboración al responder a este cuestionario. Las respuestas serán tratadas de forma anónima.

HAY VARIOS APARTADOS INDEPENDIENTES

Por favor, responda la opción que usted considere correcta.

1. Zona de Córdoba

2. Sexo

- Hombre
- Mujer

3. Edad

- Menor de 18 años
- Entre 18 y 29 años
- Entre 30 y 44 años
- Entre 45 y 64 años
- Más de 65 años

4. Nivel de estudios finalizados

- Sin estudios
- EGB o ESO
- Bachillerato o FP
- Diplomatura, Ingeniero Tec. o Grado
- Licenciatura, Ingeniero o Master
- Doctorado
- Otro

APARTADO 1: Sobre Recogida de Residuos Sólidos Urbanos

Actualmente los residuos sólidos urbanos, en la ciudad de Córdoba, entre la que se encuentra la basura de su domicilio, se recogen por el sistema tradicional establecido: Contenedor-Camión-Complejo medioambiental. El complejo

medioambiental dispone de instalaciones donde se recogen los residuos, se reciclan, se tratan o se depositan en vertedero controlado.

5. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por desbordamiento del contenedor en el sistema tradicional? Los contenedores son recogidos a una hora determinada y pueden desbordarse antes de la hora de recogida.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

6. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por ruido en la recogida en el sistema tradicional?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

7. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por olores del contenedor en el sistema tradicional?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

8. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la lejanía del contenedor en el sistema tradicional? Responda 0 si usted no tira la basura.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

9. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el horario de recogida de los contenedores en el sistema tradicional?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

10. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la ubicación del contenedor en el sistema tradicional?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

11. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el tráfico y contaminación de camiones en el sistema tradicional?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

12. ¿Conoce el sistema de recogida de residuos mediante neumática que utiliza tuberías bajo tierra y que desplaza los residuos mediante flujos de aire?

- Sí
- No

APARTADO 2: Sobre toma de decisiones a partir de datos

A continuación se van a mostrar cinco representaciones de sostenibilidad. Podríamos encontrarlas en un informe y tendríamos que evaluarlas para tomar alguna decisión. Necesitamos su ayuda para conocer cual de ellas se entiende mejor para tomar decisiones correctas desde el punto de vista de la sostenibilidad. Le rogamos responda a las siguientes preguntas.

REPRESENTACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 1

(Resultado más alto es mejor en sostenibilidad)

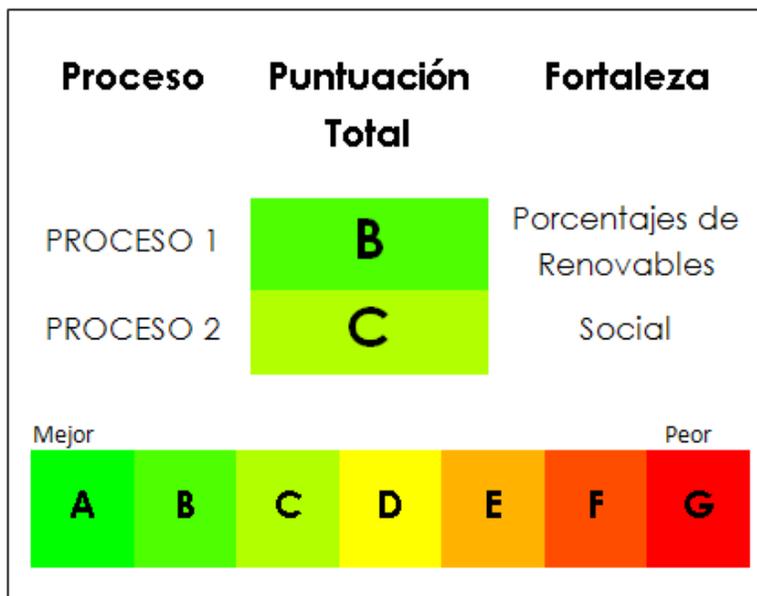
Proceso	Puntuación Total	Grado	Fortaleza	Resultado
PROCESO 1	39 sobre 100	Mal	Economía	Suspenso
PROCESO 2	61 sobre 100	Bien	Social	Aprobado

13. A la vista de los datos de la representación 1

	Proceso 1	Proceso 2	Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.
¿Qué proceso es más sostenible?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y económico?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Seguridad y rapidez en las respuestas de la representación 1

	Muy Poco	Poco	Normal	Bastante	Mucho
¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?	<input type="radio"/>				
¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?	<input type="radio"/>				

REPRESENTACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 2**(Verde es mejor en sostenibilidad)**

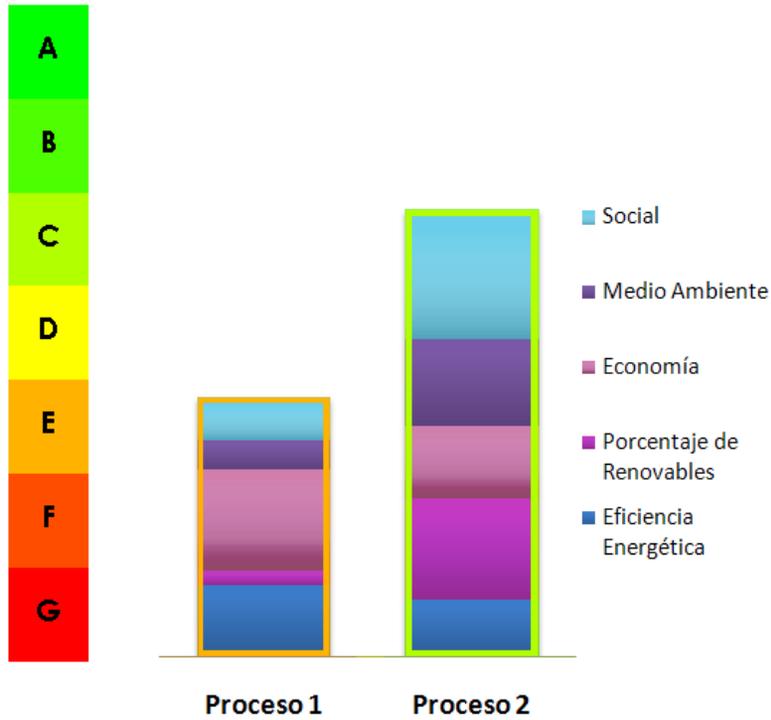
15. A la vista de los datos anteriores de la representación 2

	Proceso 1	Proceso 2	Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.
¿Qué proceso es más sostenible?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso elegirías si ha de ser sostenible y que se adecúe a las preferencias de la gente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Seguridad y rapidez en las respuestas de la representación 2

	Muy Poco	Poco	Normal	Bastante	Mucho
¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?	<input type="radio"/>				
¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?	<input type="radio"/>				

REPRESENTACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 3
(Más alto es mejor en sostenibilidad)



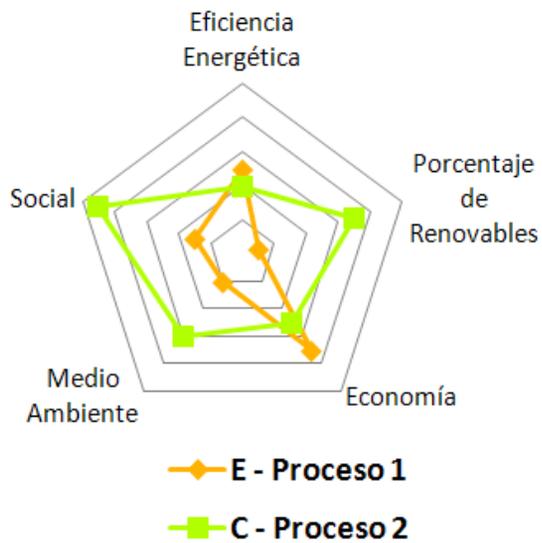
17. A la vista de los datos anteriores de la representación 3

	Proceso 1	Proceso 2	Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.
¿Qué proceso es más sostenible?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso es más aceptable socialmente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso es más económico?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Seguridad y rapidez en las respuestas de la representación 3

	Muy Poco	Poco	Normal	Bastante	Mucho
¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?	<input type="radio"/>				
¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?	<input type="radio"/>				

REPRESENTACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 4
 (Verde y un area mayor es mejor en sostenibilidad)



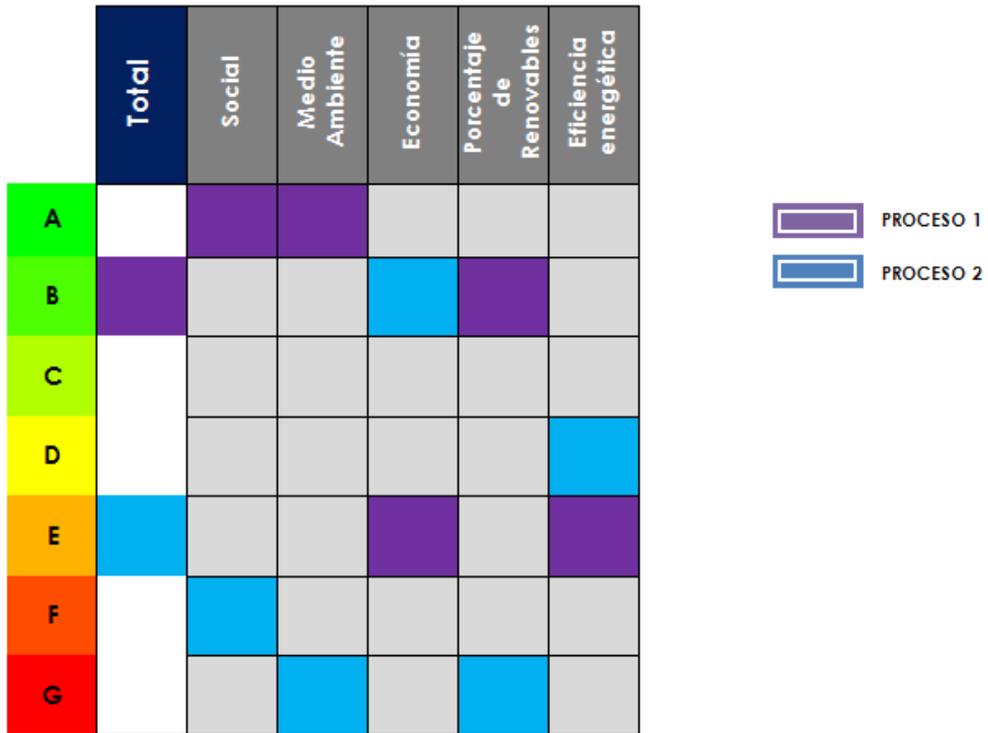
19. A la vista de los datos anteriores de la representación 4

	Proceso 1	Proceso 2	Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.
¿Qué proceso es más sostenible?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso utiliza más energía renovable?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso es más eficiente energéticamente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. Seguridad y rapidez en las respuestas de la representación 4

	Muy Poco	Poco	Normal	Bastante	Mucho
¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?	<input type="radio"/>				
¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?	<input type="radio"/>				

REPRESENTACIÓN DE SOSTENIBILIDAD 5 (Verde es mejor en sostenibilidad)



21. A la vista de los datos anteriores de la representación 5

	Proceso 1	Proceso 2	Ninguno. Buscaría más opciones o analizaría más datos.
¿Qué proceso es más sostenible?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Qué proceso es más económico?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
¿Que proceso es más respetuoso con el medioambiente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

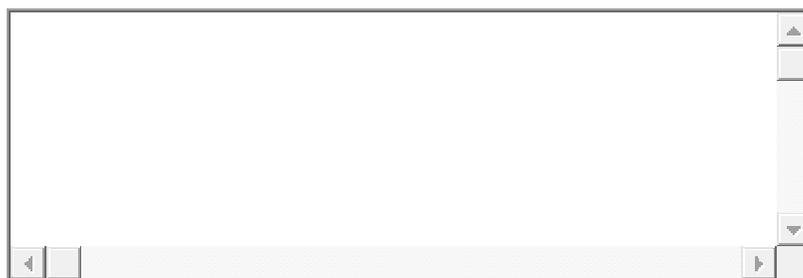
22. Seguridad y rapidez en las respuestas de la representación 5

	Muy Poco	Poco	Normal	Bastante	Mucho
¿Cómo de seguro estás de tus respuestas para esta representación?	<input type="radio"/>				
¿Cuánto has tardado en decidir las respuestas anteriores para esta representación?	<input type="radio"/>				

23. ¿Cuál es la representación que prefieres?

	1	2	3	4	5
Representación	<input type="radio"/>				

24. Antes de terminar, si quieres hacer alguna observación, puedes hacerlo en este espacio



Enviar

Con la tecnología de [Google Docs](#)

Anexo II

En este Anexo, se recoge la encuesta pasada a los expertos de neumática.

INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

La Universidad de Córdoba está actualmente desarrollando una investigación. Entre otros factores se va a estudiar la recogida de residuos sólidos urbanos, en concreto la recogida neumática, selectiva. Se depositan las bolsas de basura en unos buzones, posteriormente son desplazados por tuberías bajo tierra mediante flujos de aire hacia una central desde donde posteriormente se trasladarán a un Complejo Medioambiental donde se tratarán adecuadamente. Agradecemos sinceramente su colaboración al responder a este cuestionario. Las respuestas serán tratadas de forma agregada de modo que se garantice el anonimato de las respuestas. Por favor, responda la respuesta que usted considere correcta.

0. ¿Es usuario del sistema de recogida de residuos mediante neumática?

- Si
- No, Soy usuario de recogida por contenedores en acera o soterrados
- No, Soy usuario de recogida puerta a puerta
- No lo sé
- Otro:

1. Indique, Provincia, Municipio, Barrio

2. Sexo

- Hombre
- Mujer

3. Edad

- Menor de 18 años
- Entre 18 y 29 años
- Entre 30 y 44 años
- Entre 45 y 64 años
- Más de 65 años

4. Nivel de estudios finalizados

- Sin estudios
- EGB o ESO
- Bachillerato o FP
- Diplomatura, Ingeniero Tec. o Grado
- Licenciatura, Ingeniero o Máster
- Doctorado
- Otro:

Sobre Recogida de Residuos Sólidos Urbanos

El sistema de recogida neumático está compuesto por Buzones-Central - Camión-Complejo Medioambiental. Los Buzones pueden ser vaciados por intervalos a horarios prefijados o cuando éstos estén a un nivel determinado, según se programe. La Residuos se transportan bajo tierra hacia la Central que puede estar a kilómetros de los buzones más alejados. La Central puede ser fija o móvil, donde se compactara la basura de forma selectiva para posteriormente poder ser trasladado al Complejo Medioambiental. El Complejo Medioambiental dispone de instalaciones donde se recogen los residuos, se reciclan o se tratan según los casos.

5. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por desbordamiento de los buzones en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

6. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por ruido en la recogida en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

7. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por olores de los buzones en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

8. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la lejanía de los buzones en el sistema neumático? Responda 0 si usted no tira la basura

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

9. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el horario de recogida de los buzones en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

10. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por la ubicación de los buzones en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

11. ¿Cómo valoraría las molestias generadas por el tráfico y contaminación de camiones en el sistema neumático?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No me molesta	<input type="radio"/>	Me molesta mucho										

12. ¿Cuál es el problema que considera más importante en la recogida de basura mediante sistema neumático?

- El ruido
- La lejanía de los buzones de su domicilio
- Los buzones se desbordan.
- El olor de los buzones
- Ninguno
- Otro:

13. Antes de terminar, si quieres hacer alguna observación, puedes hacerlo en este espacio.

Anexo III

En este Anexo, se encuentra todas las siglas, que se encuentra en este trabajo.

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, Agencia del Medioambiente y de la gestión de la energía. Coordinador de ODYSSE
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente, en inglés European Environment Agency (EEA)
AIE	Agencia Internacional de la Energía (IEA) desde 1974 en inglés International Energy Agency (IEA)
ALIDES	Alianza para el Desarrollo Sostenible
ANEPMA	Asociación Nacional de Empresas Públicas del Medioambiente
ASPO	Association for the Study of Peak Oil and gas
Btu	British Thermal Unit
CE	Comunidad Europea
CEI	Comité Español de Iluminación
CFCs	Clorofluorcarbonos
CH4	Metano
CMC	Complejo Medioambiental de Córdoba

CNE	Comisión Nacional de la Energía
CO₂	Dióxido de Carbono
CSEN	Comisión del sistema eléctrico Nacional
DAES	Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas UN-DESA
DOE	Department of Energy, US, Ministerio de energía en EEUU
DOUE	Diario Oficial de la Unión Europea
E4	Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4), aprobada el 28.11.2003,
EARP	Procedimiento de Evaluación de Impacto Medioambiental desarrollado por Canadá.
ECOEMBES	Ecoembalajes España S.A.
EDS	Estrategia del Desarrollo Sostenible
EECCCEL	Estrategia española del Cambio Climático y Energía Limpia
ENDESA	Empresa Nacional de Electricidad S.A.
ENSI	Environmental Sustainability
EPI	Environmental Performance Index
ESOL	English for Speakers of Other Languages
FAO	Food and Agricultural Organization
FMI	Fondo Monetario Internacional, en inglés International Monetary Fund (IMF)
FSEE	Factor de Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética
GEI	Gases de efecto Invernadero, en inglés GreenHouse Gas (GHG)
GIS	Geographic Information System, Sistema de Información Geográfica (SIG)
IDAE	Instituto de Diversificación y Ahorro Energético
IDES	Indicadores del desarrollo energético sostenible
IDH	Índice de Desarrollo Humano en función del PIB, esperanza de vida y educación
IDS	Indicadores de desarrollo sostenible
IEE	Índice de Eficiencia Energética
INRIC	International Network of Resource Information Centres
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático constituido por más de 2500 científicos
ISEE	Índice Sostenibilidad en el ámbito de la Eficiencia Energética
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory desde 1952
LOSEN	Ley de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MSW	Municipal Solid Wasted
NEPA	National Environmental Policy Act, desarrollada por EEUU.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OIEA	Organismo Internacional de la Energía Atómica, en inglés International Atomic Energy Agency (IAEA), se creó en 1957
ONU	Organización de Naciones Unidas
PAEE	Plan de Ahorro y Eficiencia Energética
PEN	Plan Energético Nacional
PER	Plan de Energías Renovables
PIB	Producto Interior Bruto
PNA	Planes Nacionales de Asignación

PNIR	Plan Nacional Integrado de Residuos
PNRU	Plan Nacional de Residuos Urbanos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo http://www.undp.org/
PPA	Paridad de Poder Adquisitivo. En inglés PPP Purchasing Power Parity
PPS	Purchasing Power Standard o poder de compra estándar
REE	Red Eléctrica Española
RNRM	Recogida Neumática de Residuos Sólidos Urbanos Municipales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SADECO	Saneamientos de Córdoba S.A.
SIGRE	Sistema Integrado de Gestión y Recogida de Envases
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
tep	Tonelada equivalente de petróleo, en inglés ton of oil equivalent (toe)
UE	Unión Europea
UNEP	United Nations Environment Programme, Programa Ambiental de las Naciones Unidas
UNESCO	United National Educational Scientific and Cultural Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VE	Vivienda Equivalente
WED	World Environment Day, día mundial del Medio ambiente, 5 de Junio.
WIN	Worldwide Implementation Now
WMO	World Meteorological Organization , Organización Meteorológica Mundial (OMM)
WWF	World Wildlife Foundation desde 1961