

**TESIS DOCTORAL**

**2015**



**MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE EN UN  
SISTEMA DE PRODUCCIÓN AJUSTADO A TRAVÉS DE  
PROCESOS DE INNOVACIÓN AMBIENTAL**

**D. SERGIO AGUADO MUÑOZ  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DPTO. INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN  
E. T. S. INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DIRECTORA DÑA. MARÍA ROSARIO DOMINGO NAVAS  
CODIRECTOR D. LUIS ROBERTO ÁLVAREZ FERNÁNDEZ**

**MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE  
EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AJUSTADO  
A TRAVÉS DE PROCESOS DE INNOVACIÓN AMBIENTAL**

**D. SERGIO AGUADO MUÑOZ  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DPTO. INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN  
E. T. S. INGENIEROS INDUSTRIALES**

**DIRECTORA DÑA. MARÍA ROSARIO DOMINGO NAVAS  
CODIRECTOR D. LUIS ROBERTO ÁLVAREZ FERNÁNDEZ**

## AGRADECIMIENTOS

A mis tres mujeres: mi esposa Julia, y mis hijas Lena y Marta.

Gracias al apoyo y ayuda de las personas que han hecho posible esta tesis doctoral. Empezando por mi familia que me animaron a dar el primer paso, y me han acompañado de forma constante: mis padres David y Marian, mis hermanos Ricardo y Alejandro, mi tío Julen, y a los que ya no están entre nosotros aïtites y amamas, abuelos y abuelas.

Quiero también agradecer a mi Directora de tesis, Rosario Domingo, su paciencia y su comprensión, así como sus comentarios y su interés permanente, que han contribuido a mejorar la capacidad investigadora del doctorando.

Finalmente, quiero dar las gracias a las personas que profesionalmente han hecho posible la realización de esta tesis doctoral. Su colaboración y su ánimo han resultado fundamentales durante estos años de intenso trabajo conjunto.

***“Innovation is the specific instrument of entrepreneurship. It is the act that endows resources with a new capacity to create wealth. Innovation, indeed, creates a resource” Peter F. Drucker (1985)***

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.</b> .....                                  | <b>14</b> |
| 1.1 La eficiencia y la sostenibilidad en fabricación. ....              | 14        |
| 1.2 Objetivos de la tesis doctoral.....                                 | 21        |
| 1.3 Estructura de la tesis doctoral. ....                               | 24        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.</b> .....                     | <b>26</b> |
| 2.1 Introducción a la revisión de la literatura. ....                   | 26        |
| 2.2 La eficiencia y la sostenibilidad en el siglo XX. ....              | 26        |
| 2.3 Fabricación eficiente. ....   | 32        |
| 2.3.1 Fundamentos del sistema de fabricación eficiente.....             | 38        |
| 2.3.2 Beneficios del sistema de fabricación eficiente. ....             | 41        |
| 2.4 Fabricación sostenible.....   | 45        |
| 2.4.1 Fundamentos del sistema de fabricación sostenible.....            | 52        |
| 2.4.2 Beneficios del sistema de fabricación sostenible. ....            | 62        |
| 2.5 Fabricación eficiente y sostenible.....                             | 64        |
| 2.5.1 Producto y/o Servicio Desarrollado Sostenible (SPSD). ....        | 66        |
| 2.5.2 Valor Añadido Sostenible (SVA). ....                              | 68        |
| 2.5.3 Fabricación Medioambientalmente Responsable (ECM). ....           | 71        |
| 2.5.4 Matriz de Opción Verde (GOM).....                                 | 73        |
| 2.5.5 Paradigma de la nueva fabricación verde. ....                     | 74        |
| 2.5.6 Ecoeficiencia. ....   | 76        |
| 2.5.7 Sostenibilidad verde, herramientas y oportunidad de negocio. .... | 80        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.6 Consideraciones finales a la revisión de la literatura.....                                       | 84        |
| <b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>   | <b>86</b> |
| 3.1 Introducción a la metodología. ....   | 86        |
| 3.2 Evolución e integración de la fabricación eficiente y sostenible. ....                            | 86        |
| 3.3 Estudio de caso del modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                                 | 89        |
| 3.4 Consideraciones de la Metodología. ....   | 89        |
| <b>CAPÍTULO 4. MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE. ....</b>                                      | <b>91</b> |
| 4.1 Introducción al modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                                     | 91        |
| 4.2 Pre-requisitos del modelo de mejora eficiente y sostenible.....                                   | 91        |
| 4.3 El modelo de mejora eficiente y sostenible. ....  | 98        |
| 4.4 Fundamentos del modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                                     | 106       |
| 4.5 Herramientas del modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                                    | 111       |
| 4.5.1 Análisis del valor medioambiental. Milipunto.....   | 111       |
| 4.5.2 Análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos<br>(OEEE).....                  | 117       |
| 4.5.3 Análisis del coste del producto frente a la innovación ambiental.<br>Ratio medioambiental. .... | 123       |
| 4.5.4 Análisis del flujo de valor de innovación ambiental. ....                                       | 127       |
| 4.6 Método del modelo de mejora eficiente y sostenible.....   | 131       |
| 4.6.1 Definición de la visión de futuro. ....   | 131       |
| 4.6.2 Análisis de la situación inicial. ....  | 133       |
| 4.6.3 Definición de los planes de acción. ....  | 143       |
| 4.6.4 Ejecución de los planes de acción. ....   | 144       |

|  |            |
|--|------------|
| 4.6.5 Revisión de la situación futura alcanzada. ....  | 145        |
| 4.7 Consideraciones finales al modelo de fabricación eficiente y sostenible. ....  | 147        |
| <b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS DEL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE. ....</b>  | <b>149</b> |
| 5.1 Introducción a los resultados del modelo de mejora eficiente y sostenible. ....  | 149        |
| 5.2 Empresa de fabricación de tubos conformados. ....  | 150        |
| 5.3 Proyecto de implantación de un modelo de mejora eficiente y sostenible en una empresa de conformado de tubos, a través de procesos de innovación ambiental. .... | 153        |
| 5.4 Hitos principales. ....  | 178        |
| 5.4.1 Plan de acción material. ....  | 179        |
| 5.4.2 Plan de acción <i>layout</i> . ....  | 181        |
| 5.4.3 Plan de acción procesos. ....  | 185        |
| 5.4.4 Implantación de los planes de acción en los puestos de trabajo. ....   | 190        |
| 5.5 Revisión de la situación futura alcanzada. ....  | 199        |
| 5.5.1 Resultado mejora impacto medioambiental (milipunto). ....  | 201        |
| 5.5.2 Resultado análisis flujo de valor de innovación ambiental. ....  | 203        |
| 5.5.3 Informe de resultados. ....  | 209        |
| 5.6 Consideraciones a los resultados. ....   | 214        |
| <b>CAPÍTULO 6. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO EMPÍRICO DEL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE EN UNA EMPRESA DE CONFORMADO DE TUBOS. ....</b>          | <b>216</b> |
| 6.1 Introducción al contraste de los resultados del estudio empírico. ....   | 216        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.2 Variación de la longitud del tubo – medioambiente. ....  | 216        |
| 6.3 Variación de la longitud del tubo – desarrollo económico. ....   | 218        |
| 6.4 Variación del número de variantes de tubo producidas por turno. ....   | 225        |
| 6.5 Variación conjunta de la longitud del tubo y del número de variantes<br>de tubo producidas por turno.....  | 226        |
| 6.6 Comparativa ratio medioambiental situación inicial – final. ....   | 227        |
| 6.7 Comparativa recepción inicial corregida – final. ....  | 229        |
| 6.8 Comparativa OEEE situación inicial – final.....  | 231        |
| 6.9 Unidad de medida del Impacto Medioambiental alternativa. ....  | 233        |
| 6.10 Consideraciones al contraste de resultados.....   | 235        |
| <b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>237</b> |
| 7.1 Introducción a la consecución del modelo propuesto.....  | 237        |
| 7.2 Objetivo I – Desarrollar las herramientas necesarias para implantar el<br>modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción<br>ajustado.....   | 239        |
| 7.2.1 Beneficios del análisis del valor medioambiental (ecoindicador).....   | 239        |
| 7.2.2 Beneficios del análisis de la Eficiencia Medioambiental General<br>de los Equipos (OEEE). ....   | 240        |
| 7.2.3 Beneficios del análisis del ratio medioambiental. ....   | 241        |
| 7.2.4 Beneficios del análisis del flujo de valor de innovación ambiental. ...  | 241        |
| 7.2.5 Beneficios del criterio Políticas Públicas. ....   | 242        |
| 7.3 Objetivo II – Explicar el proceso de transformación de un sistema de<br>fabricación por lotes a un modelo de mejora eficiente y sostenible en un<br>sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación<br>ambiental..... | 243        |

|   |            |
|---|------------|
| 7.4 Objetivo III – Revisar las aportaciones del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental..... | 244        |
| 7.5 Limitaciones de la tesis doctoral.....  | 246        |
| 7.6 Futuras líneas de investigación. ....   | 246        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>   | <b>247</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 2.1: Producción en masa versus producción <i>lean</i> . .....                        | 44  |
| Tabla 2.2: Aspectos versus Impactos ambientales. ....                                      | 61  |
| Tabla 2.3: Ejemplo de cálculo de impacto ambiental. ....                                   | 61  |
| Tabla 2.4: Proceso de gestión de ciclo de vida. ....                                       | 62  |
| Tabla 2.5: Evolución consumo de agua y energía electrodomésticos<br>línea blanca. ....     | 63  |
| Tabla 4.1: Estrategias y medidas asociadas para mejorar en el diseño<br>del producto. .... | 109 |
| Tabla 4.2: Representación de valores objetivos OEEE. ....                                  | 122 |
| Tabla 4.3: Parámetros análisis flujo de valor de innovación ambiental. ....                | 128 |
| Tabla 4.4: Plantilla datos identificativos inicio de proyecto. ....                        | 132 |
| Tabla 4.5: Campo 1 – Necesidades sociales. ....  | 134 |
| Tabla 4.6: Campo 2 – Suministro de materiales. ....  | 135 |
| Tabla 4.7: Campo 3 – Fabricación. ....   | 136 |
| Tabla 4.8: Campo 4 – Distribución. ....  | 137 |
| Tabla 4.9: Campo 5 – Utilización. ....   | 138 |
| Tabla 4.10: Campo 6 – Recuperación/eliminación. ....                                       | 139 |
| Tabla 4.11: Ficha portada de proyecto. ....  | 140 |
| Tabla 5.1: Informe situación inicial. ....   | 154 |
| Tabla 5.2: Valoración aspectos situación inicial. ....                                     | 154 |
| Tabla 5.3: Datos económicos inicial pieza referencia. ....                                 | 155 |
| Tabla 5.4: Análisis puesto de trabajo salida. ....   | 160 |
| Tabla 5.5: Análisis puesto de trabajo marcado. ....  | 161 |
| Tabla 5.6: Análisis puesto de trabajo control. ....  | 162 |
| Tabla 5.7: Análisis puesto de trabajo doblado. ....  | 163 |
| Tabla 5.8: Análisis puesto de trabajo punzonado. ....                                      | 164 |
| Tabla 5.9: Análisis puesto de trabajo soldadura. ....                                      | 165 |
| Tabla 5.10: Análisis puesto de trabajo abocardado. ....                                    | 166 |
| Tabla 5.11: Análisis puesto de trabajo corte. ....   | 167 |
| Tabla 5.12: Análisis puesto de trabajo recepción. ....                                     | 168 |
| Tabla 5.13: Valores cálculo inicial coste referencia. ....                                 | 169 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 5.14: Actividades y tiempos del conformado colector referencia.....     | 171 |
| Tabla 5.15: Identificación campos flujo de valor de innovación ambiental..... | 172 |
| Tabla 5.16: Objetivos situación prevista.....                                 | 175 |
| Tabla 5.17: Valoración aspectos situación prevista.....                       | 176 |
| Tabla 5.18: Actividades y tiempos plan de acción <i>layout</i> .....          | 184 |
| Tabla 5.19: Actividades y tiempos del plan de acción procesos.....            | 187 |
| Tabla 5.20: Análisis puesto de trabajo salida.....                            | 191 |
| Tabla 5.21: Análisis puesto de trabajo control y marcado.....                 | 192 |
| Tabla 5.22: Análisis puesto de trabajo doblado.....                           | 193 |
| Tabla 5.23: Análisis puesto de trabajo punzonado.....                         | 194 |
| Tabla 5.24: Análisis puesto de trabajo soldadura.....                         | 195 |
| Tabla 5.25: Análisis puesto de trabajo abocardado.....                        | 196 |
| Tabla 5.26: Análisis puesto de trabajo corte.....                             | 197 |
| Tabla 5.27: Análisis puesto de trabajo recepción.....                         | 198 |
| Tabla 5.28: Análisis milipuntos situación inicial.....                        | 201 |
| Tabla 5.29: Análisis milipuntos situación final.....                          | 202 |
| Tabla 5.30: Identificación campos flujo de valor de innovación ambiental..... | 204 |
| Tabla 5.31: Precio alcanzado producto referencia.....                         | 206 |
| Tabla 5.32: Valores medibles resultados alcanzados.....                       | 207 |
| Tabla 5.33: Situación actual alcanzada.....                                   | 210 |
| Tabla 5.34: Análisis final campo necesidades sociales.....                    | 211 |
| Tabla 5.35: Análisis final campo suministro de materiales.....                | 212 |
| Tabla 5.36: Análisis final campo fabricación.....                             | 212 |
| Tabla 5.37: Análisis final campo distribución.....                            | 213 |
| Tabla 5.38: Análisis final campo utilización.....                             | 213 |
| Tabla 5.39: Análisis final campo recuperación y eliminación.....              | 214 |
| Tabla 6.1: Variación desperdicio en función de longitud del tubo.....         | 217 |
| Tabla 6.2: Variación económica en función de longitud del tubo 50% .....      | 219 |
| Tabla 6.3: Variación económica en función de longitud del tubo 75% .....      | 220 |
| Tabla 6.4: Variación económica en función de longitud del tubo 125%.....      | 221 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 6.5: Variación económica en función de longitud del tubo<br>150%.....       | 222 |
| Tabla 6.6: Resultado económico en función de longitud del tubo. ....              | 223 |
| Tabla 6.7: Comparativa impacto medioambiental situación inicial –<br>final. ....  | 227 |
| Tabla 6.8: Comparativa coste situación inicial – final. ....                      | 228 |
| Tabla 6.9: Comparativa ratio medioambiental situación inicial – final. ....       | 228 |
| Tabla 6.10: Valor OEEE inicial. ....  | 229 |
| Tabla 6.11: Valor OEEE final. ....  | 230 |
| Tabla 6.12: Comparativa recepción inicial corregida – final. ....                 | 230 |
| Tabla 6.13: Comparativa indicadores colector referencia Tree. ....                | 233 |
| Tabla 6.14: Comparativa indicadores colector referencia EuPeco-<br>Profiler. .... | 234 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1.1: Esquema representativo del modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                   | 19  |
| Figura 2.1: Fabricación eficiente / Fabricación sostenible. ....                                       | 32  |
| Figura 2.2: Costes fabricación <i>lean</i> versus fabricación tradicional. ....                        | 43  |
| Figura 4.1: Identificación criterios modelo de mejora eficiente y sostenible. ....                     | 99  |
| Figura 4.2: Campos 1 y 2 del modelo de fabricación eficiente y sostenible. ....                        | 102 |
| Figura 4.3: Campos 3 y 4 del modelo de fabricación eficiente y sostenible. ....                        | 103 |
| Figura 4.4: Campos 5 y 6 del modelo de fabricación eficiente y sostenible. ....                        | 104 |
| Figura 4.5: Evolución a un sistema de fabricación eficiente y sostenible. ....                         | 105 |
| Figura 4.6: Esquema estructura equipo. ....  | 106 |
| Figura 4.7: Costes incluidos en el <i>Value Stream Costing</i> . ....                                  | 124 |
| Figura 4.8: Ejemplo esquema de análisis de flujo de valor de innovación ambiental. ....                | 129 |
| Figura 4.9: Símbolos del esquema de análisis de flujo de valor de innovación ambiental. ....           | 130 |
| Figura 5.1: Distribución inicial fábrica conformado de tubos. ....                                     | 151 |
| Figura 5.2: Esquema simplificado proceso de fabricación tubo referencia conformado. ....               | 158 |
| Figura 5.3: Flujo de valor de innovación ambiental inicial. ....                                       | 173 |
| Figura 5.4: Distribución final fábrica conformado de tubos. ....                                       | 182 |
| Figura 5.5: Análisis flujo de valor ambiental – situación final. ....                                  | 205 |
| Figura 5.6: Representación de los valores medidos consecución. ....                                    | 208 |
| Figura 6.1: Tendencia en función de longitud del tubo – coste fabricación constante. ....              | 223 |
| Figura 6.2: Tendencia en función de longitud del tubo – coste fabricación y beneficio constantes. .... | 224 |
| Figura 6.3: Valor OEE inicial – final. ....  | 231 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.4: Valor OEEE inicial – final.....                 | 232 |
| Figura 6.5: Valor innovación ambiental inicial – final..... | 232 |

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 La eficiencia y la sostenibilidad en fabricación.**

El entorno industrial actual se encuentra marcado por una creciente globalización, con un volumen y complejidad de productos cada vez mayor, permitiendo al cliente elegir entre numerosas posibilidades para satisfacer sus necesidades (Ioppolo et al., 2014). La globalización está cambiando el mundo y la forma en la que los consumidores valoran el producto. Lejos queda la revolución industrial y el modelo de cadena productiva de Henry Ford. Sin embargo, no es tan evidente definir cuál es el modelo productivo que prevalece actualmente.

Tradicionalmente, un producto se vendía “solo”, es decir, la oferta era inferior a la demanda (Ruiz de Arbulo, 2007) y todo valía con tal de producir más y más, y conseguir cubrir esa diferencia existente. Actualmente, la oferta es superior a la demanda (Ruiz de Arbulo, 2007), y se debe conseguir que el producto destaque frente a los demás para ser vendible (Gmelin y Seuring, 2014).

Los sistemas tradicionales (entendiendo las décadas 50 y 60 del siglo XX) de fabricación en cadena no se adaptan a las necesidades actuales de los mercados (Cuatrecasas, 2005). Por un lado, los grandes lotes obtenidos no tienen cabida en el mercado (Holweg, 2007). Por el otro, exigen una utilización muy elevada de recursos, lo que contribuye negativamente al equilibrio ecológico (Yang et al., 2011).

Las empresas tienen la necesidad de definir cómo optimizar los procesos y la logística de los medios productivos, así como unificar y estandarizar la cadena de creación de valor (Hines y Rich, 1997).

Esfuerzos para conseguir menores costes laborales, mayor flexibilidad y mejor calidad de fabricación se presuponen inherentes a todas las empresas (Manzouri et al., 2014). Series productivas cortas, para adecuarse a las exigencias cambiantes del mercado, e innovación, para aumentar el valor añadido, también se han convertido en prácticas comunes en el mundo empresarial (Warnecke y Hüser, 1995).

Ante estas perspectivas, se abren paso nuevas propuestas industriales que persiguen el aumento del valor añadido de los productos, abarcando todo el ciclo de vida de los mismos. No son válidos los planteamientos basados en una producción estandarizada y masiva. El mundo cambia, evoluciona, y aparece una nueva presión en la promoción de prácticas empresariales sostenibles (Gunasekaran y Spalanzani, 2012; Amores-Salvadó et al., 2014). Actualmente, el cliente juzga cuál es el valor añadido del producto y las empresas deben suministrar qué, cuánto y cuándo el consumidor lo quiere.

Las empresas descubren que el producto es la clave para satisfacer las expectativas del cliente (Galvano, 2002), crear un valor que sea reconocido por éste, ya sea por ejemplo por cuestiones medioambientales o por ser capaces de suministrarlo cuando se requiere.

En ambos casos se está reconociendo al cliente como el juez para decidir si el producto que se ofrece es bueno o no, crea valor o no.

Dos alternativas destacan ante esta situación del valor del producto. La primera es la aplicación de un nuevo sistema de producción, el sistema de producción *lean* (Womack y Jones, 2003) orientado a la eficiencia evitando los derroches o desperdicios, también denominados muda, del inglés *waste* (Moore, 2007), entendiéndose por éstos: “cualquier actividad desarrollada por una empresa que consume recursos y no produce valor para el cliente” (Galvano, 2002, pp. 21). La segunda alternativa surge a partir de la preocupación social por el medio ambiente, que va a dotar de un mayor valor añadido a las empresas que sean ecológicas, sostenibles (Rupérez, 2008; de Medeiros et al., 2014).

Estas nuevas circunstancias exigen a las empresas grandes esfuerzos por conseguir ambos objetivos de eficiencia y de sostenibilidad (Shah y Ward, 2003, 2007), cuando al final, tal y como se demuestra en esta tesis doctoral, existe un gran número de etapas, procesos y procedimientos íntimamente relacionados entre ambos conceptos.

Ante esta situación, hay una carencia en la literatura actual sobre cómo aplicar los principios de la fabricación sostenible (Smith y Ball, 2012; Kurdve et al., 2014), o cómo integrar metodologías verdes en las prácticas actuales *lean* (Dües et al., 2013).

La mayor dificultad radica en la cuantificación del valor añadido (Jiao et al., 2003) del producto final. Es por ello esencial identificar las variables existentes (Sleeswijk et al., 2008; Despeisse et al., 2013) en concordancia con la metodología de análisis del ciclo de vida (Benedetto y Klemes, 2009; Gmelin y Seuring, 2014).

La interrelación entre las dos alternativas identificadas, eficiencia (sistema de producción *lean*) y sostenibilidad (preocupación social por el medio ambiente), conlleva la aparición de una nueva metodología, que se desarrolla y explica en esta tesis doctoral, la cual consiste en medir y cuantificar la mejora eficiente y sostenible, identificando y eliminando el desperdicio. La aplicación de esta metodología supone la implantación de un nuevo modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

El modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental, se basa en la identificación clara de una visión objetivo de la empresa a medio plazo, entre 3 y 5 años, aprovechando las fortalezas y debilidades de la organización como oportunidades de mejora. Esta visión objetivo es la referencia para toda la organización, y se contrasta, durante todo el ciclo de vida del producto, con los cuatro criterios identificados como de relevancia: medioambiental, responsabilidad social, desarrollo económico y políticas públicas.

Este primer paso es fundamental para que todo el proceso de transformación sea posible. Para ello, la utilización de indicadores ambientales sirve para ayudar a tomar las decisiones correctas, y las innovaciones ambientales realizadas son las que impulsan el modelo que se propone.

Una meta alcanzable a corto plazo se deriva de esta visión objetivo, de acuerdo al valor que es reconocido en el producto por el cliente, según criterios medioambientales, económicos, sociales y políticas públicas. Es decir, teniendo siempre en cuenta cuáles son las circunstancias del medioambiente, de la sociedad, del mercado y de las legislaciones en cada momento. Adicionalmente, esta meta común refuerza los lazos entre toda la organización, aportando unas colaboraciones que ayudan a establecer este modelo con éxito.

La información inicial obtenida, en base a indicadores ambientales (enfoque sostenible) y otras herramientas *lean* (enfoque eficiente), va a representar el valor del producto, porque recogen todos los parámetros que van a aportar valor o que generan desperdicio. Además, esta información está cuantificada, por lo que la mejora que se pueda alcanzar también lo estará, y lo que es aún más importante: los objetivos y los resultados también estarán cuantificados.

Venkatesh et al. (1996) describen dos sistemas. El *push* como aquel en el que la máquina precedente produce partes sin esperar un pedido de la máquina siguiente, y el sistema *pull* como aquel en el que la máquina precedente produce partes sólo después de recibir un pedido de la máquina posterior.

El modelo que se propone en esta tesis sigue un sistema *pull* (Bonney et al., 1999) para su implantación, es decir, empezando por el último puesto del proceso productivo (las necesidades del cliente) se tira de todo el sistema. Siendo coherentes con la metodología *lean*, se sigue el ritmo *takt* del mercado, entendido como el tiempo en el que se debe obtener una unidad de producto de acuerdo a la demanda de los clientes (Womack y Jones, 2003). El *takt* va a marcar el ritmo de la producción, entregándose el producto cuando es

necesario *just in time* (Sugimori et al., 1977). Esta perspectiva de un sistema *pull* es necesaria para que perdure el nuevo modelo que se propone, porque se destaca el valor del producto para el cliente. Así, cada etapa productiva se convierte en cliente de la etapa precedente.

El proceso de transformación avanza en cada una de las etapas de fabricación, identificado en la Figura 1.1 siguiente con una línea que las atraviesa, hasta llegar al proveedor. Durante este proceso surgen acciones realizables a corto, medio y largo plazo. También aparecen tareas que quedarán pendientes, y que sólo se podrán implantar cuando el modelo de mejora eficiente y sostenible en la empresa esté más consolidado.

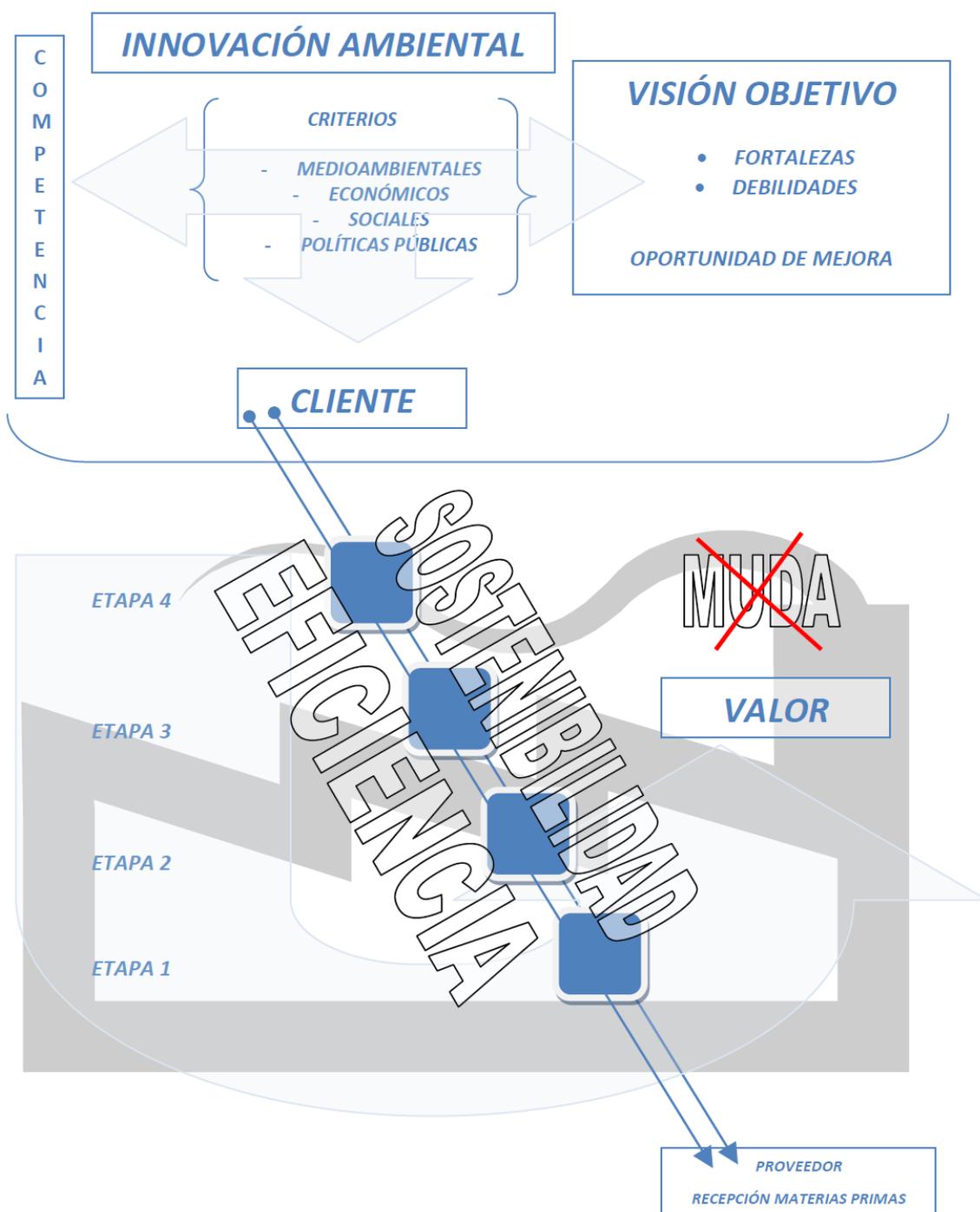


Figura 1.1: Esquema representativo del modelo de mejora eficiente y sostenible.  
Fuente: elaboración propia.

La meta alcanzable se revisa según se progresa a través de las distintas etapas del proceso productivo, siguiendo la flecha que atraviesa las distintas etapas, valorando si se van consiguiendo los objetivos marcados (valor), para actualizarlos e incluso intentar conseguir un fin aún más ambicioso. De esta

forma se consigue que toda la organización de la empresa esté orientada hacia el producto.

Las sucesivas fases de análisis, combinadas con las herramientas e indicadores específicos que se utilizan, son un rasgo diferenciador de esta metodología, ya que están orientadas a cuantificar conjuntamente la eficiencia y la sostenibilidad de las distintas etapas del proceso productivo, a partir de la innovación ambiental.

En este sentido, la tesis doctoral aporta tres herramientas específicas de análisis, que relacionan la eficiencia y la sostenibilidad del producto a partir del valor medioambiental (ecoindicador) y son:

1. La eficiencia medioambiental general de los equipos.
2. El ratio medioambiental.
3. El flujo de valor de innovación ambiental.

El interés es proporcionar una información clara, que facilite tomar las decisiones oportunas en cada situación, con el fin de aumentar el valor del producto.

La definición precisa de los parámetros de control, del análisis de valor y de los cuatro criterios del producto (medio ambiente; desarrollo económico; responsabilidad social; políticas públicas), es la clave del modelo que se propone, ya que la medición de estos indicadores permite conocer la situación inicial, marcar un objetivo y revisar los resultados alcanzados, en términos de eficiencia y de sostenibilidad. La consecuencia es que se puede determinar la mejora alcanzada, gracias a la implantación este modelo de mejora eficiente y sostenible.

## 1.2 Objetivos de la tesis doctoral.

Esta tesis doctoral presenta el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Este modelo está basado en los conceptos de sostenibilidad y de eficiencia, y se propone como un modelo a seguir por las empresas del sector secundario, con una fabricación flexible para una demanda tendiendo a estable en el tiempo y una distribución homogénea de recursos. Se demuestran las ventajas competitivas que adquiere una empresa eficiente y sostenible, relacionando ambos conceptos, y se explican los cambios que se deben realizar para implantar este modelo, desde una exposición general a su aplicación específica gracias a un caso de estudio.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo de investigación son:

1. Desarrollar las herramientas necesarias para implantar el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Ésta es la principal aportación de esta tesis doctoral al estado del arte actual.
2. Explicar el proceso de transformación de un sistema de fabricación por lotes a un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Otra aportación novedosa de esta tesis doctoral es cómo este modelo propuesto, de ámbito general, también es aplicable a distintos tipos de empresas orientadas a una fabricación flexible, para una demanda tendiendo a estable en el tiempo y con una distribución homogénea de recursos.
3. Revisar las aportaciones al estado del arte actual, que se derivan del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

El reto de este nuevo modelo consiste en combinar la competitividad empresarial y el desarrollo económico de las regiones y los países, con la sostenibilidad medioambiental y social. Para conseguir esta combinación, la existencia de una legislación exigente desde el punto de vista ambiental puede ser, y es, fuente de innovaciones y de ventaja competitiva para las empresas (Porter y Linde, 1995a). Parece evidente, a priori, que cada uno de estos dos términos, sostenibilidad y eficiencia, tiene un efecto potenciador sobre el otro. El caso de estudio en una empresa de conformado de tubos demuestra el potencial alcanzable, al implantar este modelo de mejora eficiente y sostenible.

Esta tesis doctoral desarrolla una metodología en la que se resaltan los aspectos comunes, que tienen un planteamiento sostenible y otro eficiente (Hawken et al., 1999), y cómo una empresa se puede aprovechar de esta interrelación (Shah y Ward, 2003, 2007). Como consecuencia de estas sinergias, se pueden conseguir unos beneficios mayores de los que se podría esperar si se aplicasen dichos planteamientos individualmente. A pesar de estos preámbulos, es una propuesta igualmente desafiante, ya que diversos autores han encontrado dificultades para alcanzar este objetivo (Herron y Braiden, 2006; Wan y Chen, 2009; Al-Aomar, 2011).

Una parte diferenciadora de esta tesis doctoral radica en que se re-definen los criterios para especificar el análisis del valor del producto, que es ahora el resultado de cuatro criterios de control:

- El medio ambiente (sostenibilidad).
- El desarrollo económico (competitividad).
- La sociedad (responsabilidad social).
- Las políticas públicas (normativas).

Las políticas públicas es un nuevo parámetro de control que se incluye en la metodología que se propone, respecto a una perspectiva clásica (Brezet y Hemel, 1997), para analizar el valor del producto.

Esta tesis doctoral vincula la sostenibilidad, a través de valores cuantificables por indicadores ambientales, con un sistema productivo ajustado, ya de por sí novedoso, y además explica cómo implantar un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

También se desarrollan las herramientas que se pueden utilizar para medir y definir las mejoras en beneficios, responsabilidad social y ambiental, y en cumplimiento de las regulaciones obligatorias y voluntarias pertinentes.

A su vez, el conocimiento de estas mejoras va a permitir que sean la base para tomar las decisiones oportunas en cada momento del proceso de implantación. De esta forma, el nuevo modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental, aporta valores cuantificados y comparables, basándose en indicadores ambientales, facilitando así la interpretación de los resultados obtenidos y la toma de decisiones.

Por tanto, el enfoque conjunto de una metodología de producción ajustada, junto a procesos de innovación ambiental y otras herramientas productivas específicas, para la valoración del desarrollo sostenible y eficiente de las empresas, también es un aporte interesante y nuevo al estado del arte actual.

Finalmente, de acuerdo a Porter y Van de Linde (1995a, 1995b) las empresas internacionales competitivas son aquellas con mayor capacidad innovadora y mejora continua. Las empresas que implanten el modelo que se presenta en esta tesis doctoral, de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado a través de procesos de innovación ambiental, y teniendo en cuenta la globalización de los mercados actuales, pueden alcanzar una posición de privilegio frente a sus competidores. Es decir, este modelo de

mejora eficiente y sostenible puede servir de referente para las empresas del siglo XXI, que quieran competir y triunfar en los mercados globales actuales.

### **1.3 Estructura de la tesis doctoral.**

La metodología que se desarrolla en esta tesis doctoral está orientada a la implantación de un nuevo modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

Con tal fin, se aporta un procedimiento general reproducible, que permita a las empresas implantar este modelo de mejora eficiente y sostenible. Una serie de plantillas se incluyen para una correcta implantación del modelo propuesto. En estos documentos de apoyo se recogen todos los datos necesarios para identificar el estado inicial de la empresa, el objetivo que se quiere alcanzar, y el resultado final obtenido al completarse el proceso de cambio.

Estas plantillas reflejan seis campos de actuación: necesidades sociales; suministro de materiales; fabricación en la empresa; distribución; utilización; recuperación y eliminación. Dichos campos se analizan en relación a los cuatro criterios de control indicados: sostenibilidad (medio ambiente), desarrollo económico (competitividad), sociedad (responsabilidad social), y políticas públicas (normativas), permitiendo así valorar de forma cuantificada las variables, que influyen en el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

Este modelo que se propone se desarrolla en la tesis doctoral a través de los siguientes apartados:

1. Introducción y definición de objetivos.
2. Revisión de la literatura existente respecto a la fabricación eficiente y sostenible.

3. Metodología del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado a través de procesos de innovación ambiental.
4. Definición del modelo que se propone.
5. Aplicación de la metodología a un estudio de caso.
6. Análisis y contraste de los resultados obtenidos.
7. Conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.**

### **2.1 Introducción a la revisión de la literatura.**

La estructura del capítulo se separa en cuatro partes. El primer apartado resume las aportaciones realizadas tanto a la eficiencia y a la sostenibilidad desde 1970 hasta 2004. Las siguientes dos divisiones desarrollan el término de eficiencia y el de sostenibilidad en paralelo, incluyendo dos sub-apartados para explicar los fundamentos y beneficios de cada uno de ellos, desde 2004 hasta la actualidad. La última parte introduce distintas teorías y metodologías enfocadas a la eficiencia y a la sostenibilidad de forma global.

### **2.2 La eficiencia y la sostenibilidad en el siglo XX.**

Durante las últimas tres décadas del siglo XX, resume Keijzers (2002), las empresas han contribuido significativamente a la mejora de la calidad ambiental.

Entre los años 1970 y 1985 aprendieron a manejar la legislación ambiental sobre contaminación. Durante esos años, ya apuntan dentro del marco del programa Humanización de la vida en el trabajo (*Humanization of working life* - Warnecke y Hüser, 1995) aspectos esenciales que serán recogidos más tarde por la producción *lean* (Womack et al., 1991):

- Organización antes que automatización.
- Canales eficientes de comunicación.
- Delegación de responsabilidad.
- Trabajo en equipo.
- La empresa como una experiencia de comunidad.
- Sistemática erradicación de las causas de los defectos.

- Mejoras constantes de producto y proceso.
- Colaboración cercana con proveedores.
- Ciclos de vida de producto cortos.
- Orientación al cliente en todas las divisiones de la compañía.

Keijzers (2002) identifica también una segunda etapa a partir de 1985, en la que las empresas cooperan en la implantación de políticas orientadas a asegurar la prevención de la contaminación, a través de mejoras de ecoeficiencia y productividad de recursos para sus operaciones. Jansen (2003) entiende por ecoeficiencia, la eficiencia en el amplio uso del medio ambiente (materiales, espacio, biodiversidad).

Veleva et al. (2001), y Veleva y Ellenbecker (2001), reconocen los esfuerzos, que durante la década de los 90, tanto las empresas como los gobiernos realizan para desarrollar herramientas de medida para evaluar aspectos ambientales, destacando la diversidad de listas con indicadores de rendimiento ambiental (ISO 14301, *Global reporting initiative*, *World business council for sustainable development*, etc.).

Klang et al (2003) recuerdan que el concepto de desarrollo sostenible es conocido a través de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (*World Commission on Environment and Development - WCED*, 1987) y su informe *Nuestro futuro común (Our common future)*, o también llamado Informe Brundtland. Veleva et al. (2001) relacionan asimismo el concepto de producción sostenible a la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo (1992a), aceptando que está ligado a la noción de desarrollo sostenible. Asimismo destacan la conclusión de dicha conferencia, que identifica el insostenible modelo de consumo y producción, especialmente en los países industrializados, como la mayor causa para el continuo deterioro del medio ambiente.

Klang et al. (2003) aprovechan para recordar que el desarrollo sostenible no sólo se basa en asegurar que las generaciones futuras puedan satisfacer sus necesidades, sino que también está orientada a una distribución más equitativa

de los recursos en el presente, tal y como se reflejó en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo (1992a). Los autores justifican, que el debate científico durante esos años estuviese centrado a nivel macroeconómico, porque entienden que desde Agenda 21 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1992b) se sugiere que los métodos para monitorizar las tendencias en desarrollo sostenible necesitan ser creadas, y particularmente se enfatiza la necesidad de integrar la contabilidad ambiental con métodos de cálculo macroeconómicos.

Otro hito importante que reconoce Keijzers (2002) es que tanto el informe Brundtland (WCED, 1987), como otras políticas nacionales medioambientales, cambiaron drásticamente la situación, ya que se propone la necesidad de una coexistencia entre crecimiento económico y protección ambiental. Ecoeficiencia y productividad de recursos se convierten en factores fundamentales en las empresas, se convierten en el núcleo de los enfoques modernos en políticas ambientales.

Teniendo en cuenta todos estos hechos, Keijzers (2002) da un paso adelante y apunta que la empresa sostenible entra en una nueva fase. Las empresas privadas se enganchan en un cambio desde unos métodos de producción ambientalmente amigables, a una verdadera aventura empresarial sostenible, preocupándose por aspectos de calidad y volumen de los recursos naturales.

La gestión de las empresas cambia. A nivel interno, porque aparece una nueva demanda orientada a la preservación ambiental. A nivel externo, porque nuevas iniciativas deben ser empleadas para asegurar unas condiciones de producción adecuadas y sostenibles en términos sociales, tecnológicos e infraestructuras. Sin olvidar, igualmente, valores éticos de equidad intergeneracional, que también requieren una transición en el tiempo orientada a nuevas prácticas de negocio.

En la misma época, Michelini y Razzoli (2004) identifican una necesidad urgente para alcanzar la sostenibilidad en los mercados y en el sistema económico, debido a una incesante degradación del medio ambiente y

destrucción de recursos no renovables. Dicha necesidad se generaría por la sociedad del bienestar, ya que para continuar ampliando el bienestar hace falta una continua renovación de los bienes tangibles. Los países industrializados se enfrentan al reto de mantener el nivel de vida, reduciendo el consumo. Presentándose así una oportunidad de nuevos productos, mejorados, con una contabilidad transparente del uso de recursos a lo largo de todo el ciclo de vida. Los mismos autores resaltan que es un requisito fundamental el comportamiento de los compradores hacia estos nuevos productos, bien forzados por normas o por conciencia ecológica.

En paralelo, Warnecke y Hüser (1995) identifican un hecho importante cuando en 1991 se publica “La máquina que cambió el mundo” (*The machine that changed the world* - Womack et al., 1991), donde se evidencia la competencia entre las tres áreas industriales más importantes: Norte América, Japón y Europa. Estos investigadores destacan un hecho importante en Alemania, donde se cambia de un mercado de masa a crear fábricas tipo japonesas, a través de la producción *lean*. Dichos autores definen la producción *lean* como un sistema de medidas y métodos que, cuando se toman conjuntamente, tienen el potencial de convertirse en eficiente, y, por consiguiente, en un estado competitivo global de la empresa.

Cuatrecasas (2002) reflexiona sobre las técnicas de producción *lean*, y cómo han contribuido a una espectacular mejora en eficiencia, velocidad de respuesta y flexibilidad de producción en muchas empresas, a través de procesos basados en gestión, eliminación de desperdicios y alta flexibilidad en la implantación de estos procesos. De esta manera, resalta que la gestión *lean* ha permitido a estas empresas ofrecer un alto rango de diversidad de productos, con un coste mínimo, altos niveles de productividad, velocidad de entrega, mínimos niveles de stocks y una calidad óptima. En su opinión, la gestión *lean* hace posible la obtención de un producto que se adapta a las demandas del momento, usando una mínima cantidad de recursos, y por tanto, minimizando los costes, con la calidad apropiada y una alta velocidad de respuesta. Asimismo, resalta que, como el sistema de producción debe estar en concordancia con la demanda, ya no hay más alternativa para la economía

de escala con grandes lotes productivos, como es en el caso de un sistema de gestión tradicional.

De acuerdo a ajustar la producción a la demanda (producción ajustada), y obtener un alto rendimiento sin recurrir a economías de escala, Cuatrecasas (2002) identifica dos características en las que se basa la gestión *lean*:

- Operar con el menor número posible de actividades, así los ahorros están basados en los recursos.
  
- Operar con flexibilidad.

Jansen (2003) identifica cuatro paradigmas en este cambio de las empresas: globalización de la economía, revolución tecnológica, condiciones de mercado para la sostenibilidad y cambios en las políticas de gobierno.

Según Klang et al. (2003) el objetivo general, hasta el momento de su artículo, se centraba en describir cómo comunidades enteras, o incluso naciones, se desarrollaban hacia la sostenibilidad o se alejaban de ella. Reconoce que es importante, pero también reconoce el hecho de que existe una necesidad para desarrollar métodos que evalúen la sostenibilidad y el desarrollo sostenible a menor escala, tales como negocios o proyectos. Una de las razones es que no siempre es evidente cómo individuos, en sus respectivos países, pueden efectuar avances hacia la sostenibilidad si sólo se aborda a nivel macroeconómico. Establecer objetivos en un sistema limitado puede ser una manera más eficaz para influir en el comportamiento, y así también contribuir al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad a nivel macro. En su conclusión, los temas ambientales, económicos y sociales deben tenerse en cuenta para reclamar que una actividad local sea sostenible, o que esté orientada hacia la sostenibilidad.

En este sentido, Jansen (2003) ve necesario que en la renovación del sistema productivo cooperen cuatro grupos interesados:

- Organismos gubernamentales.
- Productores particulares.
- Ciencia y tecnología.
- Organizaciones no gubernamentales como los consumidores y las comunidades locales.

Jansen (2003) se plantea tres preguntas para la renovación del sistema productivo:

1. ¿Qué acciones y políticas de transición, privadas y públicas, tienen que realizarse para lograr un futuro sostenible con un cambio fundamental (tecnología) para la renovación del sistema?
2. ¿Cómo iniciar un amplio movimiento de apoyo para lograr estas acciones? ¿Qué proceso y por quién?
3. ¿Cuándo la combinación del desarrollo y del tiempo necesario para el cambio fundamental inducen a la acción?

En la Figura 2.2 siguiente se representan las dos opciones, a las que hacemos referencia en esta tesis doctoral, por las que optan las empresas a finales del siglo XX a partir de una fabricación tradicional por lotes. Un cambio hacia una fabricación eficiente, basada en el concepto ajustado (Womack et al., 1991), o hacia una fabricación sostenible, basada en mejoras ambientales (Keijzers, 2002).

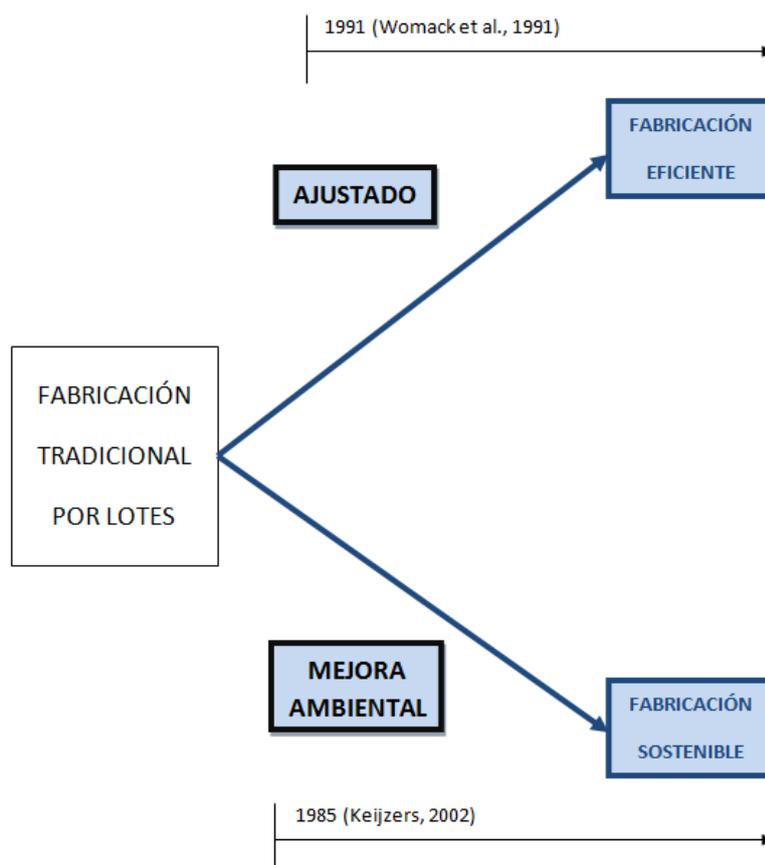


Figura 2.1: Fabricación eficiente / Fabricación sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 Fabricación eficiente.

Las pautas que definen el día a día de las empresas competitivas incluyen ciclos de innovación cada vez más cortos, una mayor variedad de productos y una mejora de los estándares de calidad, todo al mismo tiempo que los precios disminuyen. En este nuevo contexto de mercado globalizado surge la necesidad de un nuevo modelo de producción (Melton, 2005), que se va a basar en los principios del Sistema de Producción Toyota, del inglés TPS o *Toyota Production System*. Las circunstancias que vivió Japón tras la segunda guerra mundial son equiparables a la nueva situación económica global. Las empresas tienen la necesidad de definir cómo optimizar los procesos y la logística de los medios productivos, así como unificar y estandarizar la cadena de creación de valor.

Es importante entender que la implantación de un sistema de producción no es simplemente un proyecto más de optimización de los recursos, sino que tiene un impacto en toda la estructura de la empresa. Sólo se puede completar si se integra en el sistema de producción una nueva forma de entender el trabajo. Para lograr este objetivo es esencial que todos los trabajadores estén familiarizados con los nuevos métodos y herramientas que se van a poner en marcha, y que se apliquen con naturalidad en el día a día (Losonci, 2011). Además, otro rasgo diferenciador de este concepto es que siempre continúa evolucionando a través de nuevos ciclos de mejora continua.

El sistema de producción *lean* es una mejora eficiente de todos los procesos en la cadena de creación de valor. Su objetivo es producir cuando el cliente quiere lo que el cliente quiere (Ahlstrom, 1998):

**Un sistema** porque proporciona un marco de trabajo estandarizado para los procesos que son importantes para la producción. El sistema de producción engloba reglas, que aseguran estándares claramente identificados, y define los vínculos entre todos los participantes involucrados. Todos los trabajadores dentro de la estructura de la organización van a colaborar dentro del mismo marco de actuación, como una cadena bien engranada, conociendo y aplicando los procedimientos establecidos.

**Eficiente** porque es una mejora continua de procesos a través de nuevos ciclos de mejora, y no de simples tareas para corregir problemas puntuales. El objetivo es eliminar cualquier tipo de desperdicio que no aporte valor al producto. No se reducen los desperdicios ni se mejoran los procesos cuando los esfuerzos están centrados en solventar problemas puntuales que aparecen en el día a día de la empresa.

**De todos los procesos** porque las herramientas y métodos que componen el sistema de producción están fuertemente integrados y sincronizados. Un sistema de producción debe considerarse como un conjunto, el cual resulta ser más que la suma individual de cada uno de sus elementos. El sistema

de producción envuelve a todo el negocio. Los individuos y áreas no se consideran por separado, sino que se establecen vínculos entre herramientas y métodos con los individuos y áreas.

**Ajustada** porque sólo se produce lo que se vaya a vender, por lo que la producción debe estar orientada de tal forma que la demanda pueda satisfacerse en el menor plazo de tiempo posible. El ejemplo de la reposición de alimentos en los supermercados representa un claro modelo de organización ajustada.

Para realizar una evaluación *lean* se puede partir del Mapa del Flujo de Valor (VSM del inglés *Value Stream Map*) desarrollado por Rother y Shook (1998), que visualiza las actividades con valor añadido y los desperdicios: se parte de las condiciones del sistema inicial y se contrasta con un posible estado final, que ilustra anticipadamente las mejoras alcanzables. Allen et al. (2001) calibran visualmente el estado inicial y futuro del análisis de flujo de valor, utilizando representaciones tipo radar, para visualizar la diferencia existente entre ambos estados. Con esta evolución del VSM, los usuarios pueden identificar iniciativas *lean* y crear planes de acción en consecuencia.

Pero todavía quedan algunas incógnitas, como por ejemplo el coste que supone a una empresa emprender el camino eficiente. Baggaley y Maskell (2003) desarrollan una herramienta para calcular el coste del producto en un sistema de fabricación *lean*. El cálculo del coste del producto a través del Flujo de Valor del Coste (VSC del inglés *Value Stream Costing*) permite a la organización medir los recursos utilizados, es decir, se cambia de una contabilidad marcada por los sistemas de fabricación en grandes lotes (líneas de montaje rígidas para un producto determinado) a una contabilidad caracterizada por el sistema de producción eficiente (células flexibles). El cambio en la forma de analizar el coste del producto es un reflejo del cambio realizado en el sistema de fabricación. El sistema de fabricación por lotes determina el coste de cada producto individualmente, sin embargo el nuevo sistema de fabricación *lean* (flexible, ajustado, etc.) calcula un flujo de valor del

todo. El valor del todo se obtiene a través de la cadena de valor, que avanza al ritmo marcado por el mercado.

Centrándose más en cómo alcanzar estos beneficios al implantar la cultura *lean* en la empresa, Herron y Braiden (2006) describen una metodología para dirigir y generar mejoras en la productividad de las compañías. Indican que el mayor problema al que se deben enfrentar las empresas en este proceso de evolución competitiva es la correcta selección de herramientas de mejora de la fabricación, su aplicación conjunta y su aceptación entre los trabajadores. Esta metodología que presentan es una aplicación que asigna una correlación entre las mejoras alcanzables entre las distintas áreas dentro de una fábrica y las distintas herramientas *lean* aplicables. La conclusión de este análisis es un resultado numérico, valorando las mejoras alcanzables en las distintas áreas en función de las herramientas *lean* utilizables. En este estudio se jerarquizan la principales herramientas *lean*, en base al potencial de mejora que tienen.

Domingo et al. (2007) concluyen que todas las empresas son especiales, únicas, y necesitan adaptar las herramientas *lean* a sus características particulares de fabricación, *layout*, inventario, flujos y organización. Es decir, está contrastado el beneficio que implica aplicar una cultura *lean* en el entorno industrial, pero que hay que tener especial atención a las características especiales y únicas que tiene cada empresa.

Continuando en este sentido, Sahoo et al. (2008) utilizan distintas herramientas *lean* con el objetivo de mejorar el proceso de producción de una forja, identificando los desperdicios y sus causas, reduciendo así las producciones defectuosas debidas a condiciones de trabajo mejoradas. De esta manera se contribuye a disminuir los tiempos de preparación de máquinas y los stocks intermedios (en proceso). Igualmente resaltan dos aspectos para que la nueva situación sea posible y se mantenga en el tiempo: la implicación de la gerencia y la formación de los trabajadores.

Otro punto a destacar del estudio realizado por Sahoo et al. (2008) es el hecho de que presenta la utilización de herramientas *lean* como una alternativa válida

a la realización de otras inversiones, con el fin último de mejorar la competitividad de las empresas. En este caso, se resaltan una vez más los beneficios de un modelo *lean*, prestando especial atención al entorno específico de cada empresa, siendo necesaria también la involucración de todas las personas, en concordancia con Spear y Bowen (1999).

Álvarez et al. (2009) indican que la implementación de una estrategia *lean* representa una contribución positiva a la secuencia de etapas productivas, encaminada hacia la excelencia y la mejora continua, a través de la eliminación de actividades que no añaden valor. Asimismo, afirman que la combinación de herramientas *lean* será el camino para aumentar la flexibilidad y la mejora de procesos en cualquier empresa.

El resultado de estos estudios sobre la implantación *lean* en las empresas demuestra el conflicto existente entre distintas medidas *lean* ejecutadas, el impacto de las variables de los procesos en medidas *lean*, y el papel del análisis del flujo de valor para alcanzar un resultado eficiente en la aplicación conjunta de medidas *lean*.

Para gestionar estas dificultades, Wan y Chen (2009) proponen una aplicación informática para ayudar a tomar las decisiones como guía en el acercamiento de las empresas al mundo *lean*. Los autores intentan acumular toda la experiencia y conocimiento de décadas anteriores, durante las cuales se utilizan numerosas herramientas y metodologías para la eliminación de desperdicios, en una aplicación informática con el objetivo de que se apliquen las distintas herramientas *lean* en el momento correcto. La aplicación informática que presentan permite la modelización de distintos sistemas, destacando los puntos urgentes a mejorar e identificando las herramientas y técnicas apropiadas para desarrollar un plan de acciones. Con toda esta información, estos investigadores concluyen que los conceptos *lean* pueden ser implementados más sistemáticamente y eficientemente.

Según los autores Wan y Chen (2009), aplicar todas las herramientas *lean* existentes a la vez sólo lleva a un caos. La selección de las correctas

herramientas *lean* en función de las condiciones existentes en cada momento es la clave para tener éxito en la implantación *lean*. Experiencia y conocimiento son necesarios para esta tarea, los debutantes en el mundo *lean* deben aprender dónde empezar y cómo proceder, además de conocer las distintas herramientas *lean* disponibles. En este sentido, proponen tres actividades para comenzar un ciclo de implantación *lean*: entrenamiento *lean*, análisis del flujo de valor y evaluación *lean*.

Las características que destacan (Wan y Chen, 2009) en una implantación *lean* apoyada en una herramienta de soporte de decisión son:

- Recoger el estado inicial del sistema de producción en estudio, incluyendo puntos sobre fortalezas y debilidades.
- Identificar las áreas que necesitan ser mejoradas más urgentemente.
- Proporcionar directrices para las acciones de mejora.
- Recoger información de distintos niveles de la organización.
- Proporcionar medidas de mejora cuantificadas que pueden ser monitorizadas y comparadas con registros pasados y otros sistemas.
- Actualizar los indicadores *lean* y criterios de evaluación continuamente, en función de las mejoras realizadas.
- Fácil de utilizar y mantener.

Finalmente, también indican que el modelo de decisión debe ser continuamente actualizado, de acuerdo a las nuevas técnicas de medida y de gestión que vayan surgiendo con el paso del tiempo.

Para conocer el grado de implantación *lean* en una empresa, Al-Aomar (2011) identifica tres parámetros capitales: productividad, tiempo de ciclo y material en proceso. La solución que propone es la utilización de una Simulación Discreta de Eventos (DES del inglés *Discrete Event Simulation*) para utilizar distintas herramientas *lean*, teniendo en cuenta las variables y restricciones de los procesos existentes en una fábrica. Asimismo se aprovecha en la búsqueda de los problemas de un algoritmo de optimización global, denominado Recocido Simulado (SA del inglés *Simulated Annealing*). Así el análisis del flujo de valor

realiza una transición hasta alcanzar un proceso de producción óptimo, de los tres parámetros capitales anteriormente indicados. El autor aplica este modelo DES a un sistema de producción en el que se optimiza la carga de unos contenedores y la cantidad de personal encargado de su mantenimiento. En este estudio se empiezan a aportar los valores, que van a servir a cuantificar el grado de madurez *lean* de una empresa.

Es interesante destacar las dificultades encontradas cuando se desarrolla un sistema de producción *lean* basándose en varias herramientas *lean*, ya que según el autor Al-Aomar (2011) es difícil si no imposible estimar analíticamente el efecto de las herramientas *lean* en condiciones de almacenamiento en movimiento. En el ejemplo que lleva a cabo, las herramientas *lean* se utilizan con el objetivo de reducir el tiempo de material en flujo y de aumentar la capacidad del proceso. La conclusión demuestra la ventaja de desarrollar un sistema económico *lean* viable, a través de un modelo basado en el flujo de valor, en línea con otros autores que ya se han destacado en este capítulo.

### 2.3.1 Fundamentos del sistema de fabricación eficiente.

Producción *lean* procede del término inglés *lean production*, que aparece por primera vez en el libro “*The machine that changed the World: the store of lean production*” (Womack et al., 1991), a partir del éxito de compañías japonesas tras la Segunda Guerra Mundial, como una evolución del Sistema de Producción Toyota. Desde entonces, este concepto ha evolucionado y las empresas lo han adaptado a sus circunstancias concretas.

El objetivo de la producción *lean* es detectar los desperdicios del sistema de fabricación y eliminarlos, obteniendo una mayor producción con un consumo menor de recursos (Womack y Jones, 2003).

Para entender la aplicación efectiva de esta metodología, es necesario realizar un cambio respecto a la forma de pensar tradicional europea/americana, y

aceptar nuevos puntos de partida para hacer efectivo el sistema de producción *lean*.

Galgano (2002) propone tres premisas para poder entender este nuevo modo de pensar:

1ª Premisa: La suma de cada una de las partes no es igual al conjunto de todo el sistema. Ver los árboles y no el bosque.

Si se entrega al cliente final el producto o el servicio erróneo, para la producción *lean*, significa que se ha producido un derroche. La producción *lean* entiende como derroche: “cualquier actividad desarrollada por una empresa que consume recursos y no produce valor para el cliente” (Galgano, 2002, p. 21).

2ª Premisa: La creación de valor para el cliente debe ser la referencia. Cambiar las prioridades.

Butz y Goodstein (1996) definen el valor para el cliente (ya que según ellos éste es quién decide cuándo el producto tiene valor añadido o no) como la unión emocional que se establece entre el consumidor y el productor cuando el consumidor ha utilizado un producto o servicio del proveedor, y encuentra que éste proporciona un valor añadido. Como resultado de esta unión emocional, el consumidor estará orientado a comprar reiteradamente, o incluso, exclusivamente, a este proveedor, a recomendar este proveedor a sus amigos y familia, y a resistir las ofertas de otros proveedores.

3ª Premisa: Cambiar la forma de analizar el ambiente con nuevas respuestas. Cambiar las premisas de partida.

Pudiera parecer que algunos planteamientos propuestos en la metodología de producción *lean* vayan a veces en contra de toda lógica. En empresas donde las funciones y los procesos están claramente

marcados, puede convertirse en misión imposible el intentar cambiar hábitos y procedimientos que se han realizado siempre de la misma forma.

Si todo lo que se ha explicado hasta el momento sobre producción *lean* es tan interesante y atractivo, ¿cómo es que todavía no es de práctica común en Europa y en Estados Unidos? Es más, las experiencias realizadas hasta el momento han sembrado muchas sombras sobre la viabilidad de este tipo de transformación en una empresa tradicional. La respuesta a esta cuestión la obtenemos al analizar el cambio que se debe producir en una empresa para encontrar un verdadero sentido global a la producción *lean*. Galgano (2002) indica que son necesarias tres revoluciones en la forma de pensar occidental para poder realizar el cambio al sistema de producción *lean*.

1ª Revolución: La prioridad del producto.

La producción *lean* requiere cambiar la prioridad en la fábrica hacia el producto, permitiendo alcanzar resultados impensables. Este hecho posibilita cazar los “muda” más eficazmente al seguir el flujo del producto.

2ª Revolución: El sistema productivo “pulsante” en sintonía con el mercado.

Este cambio implica que la empresa debe ser capaz de fabricar al ritmo que marcan los clientes. El resultado es que sólo se produce lo que y cuando solicita el mercado, ni más ni menos, ni antes ni después:

- Pulsante, es decir, flexible para adaptarse a las circunstancias del momento.
- Ligero, para no acumular cantidades de stocks esperando ser utilizados.
- Continuo, para mantener la armonía del conjunto.
- Regular, para seguir el ritmo del mercado.

### 3ª Revolución: La mejora rápida.

El punto de partida para empezar la implantación del pensamiento de producción *lean* en la empresa es tener la convicción de que se puede obtener una mejora relevante a corto plazo. En caso contrario se está haciendo algo en un sentido incorrecto. El campo de aplicación es reducido, no se puede cambiar toda la fábrica en un período de tiempo mínimo, pero sí un área determinada que vaya “contagiando” a las que tiene alrededor hasta conseguir la implantación completa.

#### 2.3.2 Beneficios del sistema de fabricación eficiente.

Todo pensamiento nuevo exige tener una gran convicción para poder transmitirlo. Opiniones a favor y en contra nunca faltan, siendo siempre fácil defender lo que ha estado funcionando bien durante años. El pensamiento de producción *lean* choca directamente contra los razonamientos lógicos tradicionales: ¿cómo puede resultar más económico producir en flujo continuo unitario en vez de fabricar grandes lotes que optimizan las inversiones en máquinas?

Se pueden identificar una serie de aspectos relacionados con la producción *lean* que pueden sembrar dudas en la organización:

- Cambiar a una producción de pequeños lotes de material adaptados al mercado, en vez de grandes cantidades en serie adaptadas a la fabricación.
- “Denunciar” el muda parando la producción, en vez de fabricar más y más.
- Eliminar los stocks, en vez de asegurar la producción manteniendo inventarios de seguridad.

- Dar un toque humano a las máquinas, en lugar de disponer de una persona constantemente vigilándolas.
- Potenciar máquinas ágiles (móviles) y flexibles, en lugar de grandes máquinas complejas y rápidas ubicadas en espacios reservados y específicos.
- Tender a un flujo continuo unitario, o lo más pequeño posible, en vez de grandes lotes de productos que optimicen el uso de estas grandes máquinas complejas.
- Fomentar objetivos comunes para la organización, sintiéndose los trabajadores parte de la misma, en vez de crear toda una red compleja de subsistemas, departamentos y secciones con sus propias prioridades y funciones independientes y prefijadas.

Por tanto, se hacen imprescindibles tres requisitos para iniciar un proceso de transformación en una empresa tradicional para implantar la producción *lean*:

1. Un esfuerzo desde la gerencia, importante y decidido, para impulsar el cambio con plazos y objetivos alcanzables, y no sólo midiendo los beneficios cada día (Tiempo).
2. Un equipo de trabajo específico y con experiencia en el Sistema de producción *lean* (Recursos).
3. Una plantilla de trabajadores adecuada y abierta al nuevo sistema productivo (Cultura).

Los beneficios que se alcanzan son un reflejo de los cambios que se producen en la organización, como resultado de implantar un sistema de producción *lean*. Cuanto mayor sea la transformación de la empresa, mayores serán los resultados obtenidos.

El objetivo final de las sociedades mercantiles es la consecución de beneficios, en un mercado que es cada día más cambiante, por lo que las empresas se deben adaptar rápidamente a lotes productivos muy cortos y a un precio muy competitivo. En la siguiente Figura 2.2 se compara la evolución del coste del producto, según una economía de fabricación por lotes frente a una producción *lean*:

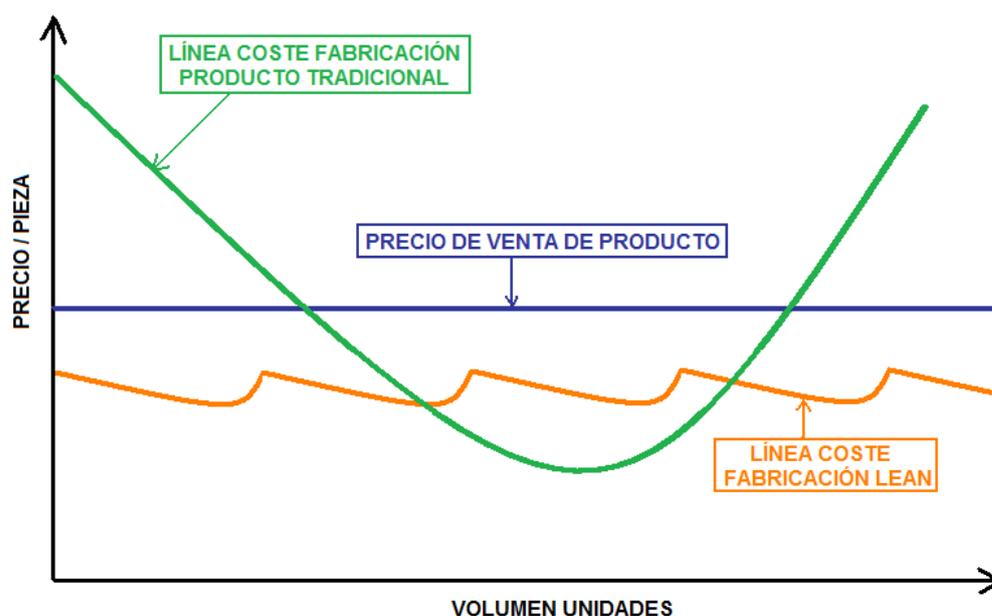


Figura 2.2: Costes fabricación *lean* versus fabricación tradicional.  
Fuente: Elaboración propia en base a Ruiz de Arbuló (2007).

Como se puede ver en esta ilustración, el coste para una fabricación por lotes disminuye según el tamaño del lote aumenta, hasta un punto en el que no se puede reducir aún más el coste del producto y vuelve a incrementarse su precio porque ya no resulta rentable este sistema de fabricación.

Sin embargo, la ventaja de una producción *lean*, tal y como se puede ver en la Figura 2.2, es que desde el principio se consigue obtener un coste del producto muy interesante, independientemente del volumen de la producción.

En efecto, éste es el gran beneficio del sistema de producción *lean* cuando se aplica correctamente. La empresa es capaz de producir lotes “unitarios” (exagerando hasta el límite) a un precio más competitivo que el de una gran fabricación por lotes, es decir, de una manera eficiente.

Los resultados que se pueden alcanzar, y de aquí surge el interés general por implantar la producción *lean* frente a sistemas tradicionales, son (Galgano, 2002):

- Aumentos de la productividad del 20% al 60%.
- Reducción del inventario en curso del 30% al 70%.
- Reducción de los defectos del 20% al 40%.
- Reducción del tiempo de puesta a punto de máquinas del 50% al 80%.
- Reducción de los metros recorridos del 40% al 80%.

En la siguiente Tabla 2.1 se compara la evolución que se alcanza al pasar de un sistema de producción en masa a un sistema de producción *lean*:

|                                 | <b>PRODUCCIÓN EN MASA</b>   | <b>PRODUCCIÓN "LEAN"</b>   |
|---------------------------------|---|--|
| <b>SATISFACCIÓN DEL CLIENTE</b> | FABRICAR GRANDES CANTIDADES CON NIVELES DE CALIDAD ESTADÍSTICAMENTE ACEPTABLES                      | FABRICAR CANTIDADES AJUSTADAS A LAS REQUERIDAS POR LOS CLIENTES, CUANDO ÉSTOS NECESITAN, CON CERO DEFECTOS                 |
| <b>LIDERAZGO</b>                | ÓRDENES EJECUTIVAS Y COERCIÓN   | VISIÓN GLOBAL Y AMPLIA PARTICIPACIÓN   |
| <b>ORGANIZACIÓN</b>             | INDIVIDUALISMO Y BUROCRACIA   | EQUIPOS MULTIDISCIPLINARES   |
| <b>RELACIONES EXTERNAS</b>      | BASADAS EN PRECIOS  | BASADAS EN RELACIONES A LARGO PLAZO  |
| <b>GESTIÓN DE INFORMACIÓN</b>   | INFORMES ABSTRACTOS GENERADOS POR Y PARA DIRECTIVOS   | SISTEMAS DE CONTROL VISUAL MANTENIDOS POR TODOS LOS EMPLEADOS  |
| <b>CULTURA</b>                  | LEALTAD Y OBEDIENCIA, CON CONFLICTOS ENTRE EL PERSONAL  | ARMONÍA E INTEGRACIÓN, BASADA EN EL DESARROLLO A LARGO PLAZO DE LOS RECURSOS HUMANOS                                       |
| <b>PRODUCCIÓN</b>               | MÁQUINAS DE GRAN ESCALA, LAYOUT FUNCIONAL, CUALIFICACIONES MÍNIMAS, GRANDES SERIES Y STOCKS MASIVOS | MÁQUINAS A ESCALA HUMANA, LAYOUT TIPO CÉLULA, MÚLTIPLES CUALIFICACIONES DE OPERARIOS, FLUJO DE PIEZA A PIEZA Y CERO STOCKS |
| <b>MANTENIMIENTO</b>            | MEDIANTE GRUPO DE ESPECIALISTAS   | PARTICIPAN LOS EQUIPOS PRODUCCIÓN, MANTENIMIENTO E INGENIERÍA  |
| <b>COMUNICACIÓN</b>             | AISLADOS DE LOS CLIENTES Y DE LA PRODUCCIÓN   | COLABORACIÓN EN EQUIPOS, CON INPUTS DE LOS CLIENTES, DEL DESARROLLO DEL PRODUCTO Y DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN           |

Tabla 2.1: Producción en masa versus producción *lean*.  
Fuente: Elaboración propia en base a Jackson y Jones (1996).

Es evidente que las características actuales del mercado, saturado por la competencia y sin capacidad de compra, convierten al sistema de producción *lean* en un modelo atractivo para las empresas.

## **2.4 Fabricación sostenible.**

La primera crisis del petróleo se produce en 1973 y es, en este contexto tan dramático, cuando comienza a surgir una nueva sensibilidad hacia la responsabilidad social. En 1972 ocurren dos hechos que marcarán la base para que después pueda surgir el concepto de sostenibilidad.

El primero es la declaración de Estocolmo de las Naciones Unidas a través de la constitución de su Programa Medioambiental – PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006). El PNUMA surge con tres funciones primordiales: evaluar el estado de la tierra y los retos ambientales, identificar soluciones, e implementar estas soluciones.

El segundo hecho es la celebración en París de una cumbre de Jefes de Estado de la Comunidad Europea, donde se constata una preocupación por el medio ambiente, la cohesión económica y social, y el desarrollo en general. Como se verá posteriormente, estos tres aspectos permanecerán siempre en el concepto de sostenibilidad.

Son importantes estos dos hechos, porque significan que son las propias instituciones las que son partícipes y promotoras de fomentar una responsabilidad social, preocupación que hasta ese momento había pasado desapercibida y oculta, tras la necesidad de generar beneficios por parte de las empresas.

En 1984 las Naciones Unidas promueven una Comisión mundial para el medio ambiente y el desarrollo, formado por un grupo de personas independientes, con el objetivo de analizar, a escala mundial y de forma conjunta, el desarrollo

humano y el medio ambiente, ya que hasta ese momento se trataban de forma separada

En 1987, esta Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo presenta la declaración de Tokio, publicada con el título “Nuestro futuro común” (CMMAD, 1988) y conocida finalmente como el “Informe Brundtland”. El nombre final se debe a la presidenta de la comisión, entonces ministra de medio ambiente de Noruega: Gro Harlem Brundtland. En este informe aparece por primera vez el término “desarrollo sostenible”, y se define como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones atiendan a sus propias necesidades. Este informe denuncia el camino que la economía global había tomado hasta ese momento, destruyendo el medio ambiente por un lado y creando más pobreza por el otro.

El informe Brundtland utiliza el término sostenible, traducción del término en inglés *sustainable*, el cual no resulta tan claro como en un principio parece, pero que sí sirve para presentar una nueva realidad. El adjetivo sostenible tiene un sentido activo, y proviene del latín *sus tenere*, que significa defender.

Asimismo el significado de desarrollo, del término inglés *development*, también ha sido fuente de confusiones, ya que está en una zona gris entre planteamientos ecológicos y económicos, siendo siempre necesario alcanzar un compromiso entre ambas posturas. Adicionalmente, el concepto de desarrollo está relacionado con la idea de progreso.

Al utilizar el término conjunto “desarrollo sostenible” se está lanzando una idea que busca la legitimización de sus propias proposiciones a través de valores universales, reforzando así la posición de progreso que pretende inculcar (Barcena et al., 2000). Se pone en evidencia que una contabilidad económica se hace necesaria, y reflejar así los stocks de capital medioambiental disponibles: “Resulta claro entonces que los problemas de definición, metodología y técnicas de economía medioambiental se encuentran en el

centro del debate en torno al desarrollo sostenible” (Bárcena et al., 2000, pág. 29).

Tal y como indican Bárcena et al. (2000, pág. 55): “Todo lo anteriormente expuesto, nos lleva a concluir que el Informe Brundtland está lleno de continuas contradicciones sobre los problemas que aquejan al mundo, acertando prácticamente sólo cuando hace referencia a que existe un solo mundo y que es necesario resolver tales problemas por nuestro futuro común”. Por resolver tales problemas se refieren a tres preocupaciones: medio ambiente, cohesión económica y social, y el desarrollo general, y que vuelven a estar en la base del Informe Brundtland.

La siguiente fecha relevante es 1992, cuando se celebra la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, conocida como la Cumbre de la tierra, y de la que surge la Declaración de Río (Conferencia de las Naciones Unidas, 1992a). La Declaración de Río es la base para una estrategia global integrada, que, a través de 27 principios, tiene en cuenta una política ambiental internacional y un desarrollo a escala mundial, y que considera también explícitamente a las generaciones futuras. También incluye un programa específico de acciones a medio y largo plazo, conocido como Agenda 21 (Conferencia de las Naciones Unidas, 1992b). Este mismo año también se firma el tratado de Maastricht de la Unión Europea (Tratado de la Unión Europea, 1992) que entre otros temas, como la convergencia hacia la moneda única, también establece las bases para el V Programa de Medio Ambiente bajo el lema “Hacia un desarrollo sostenible” (Comisión Europea, 1993).

Tres nuevos hitos ocurren en 1997: la Declaración de Nairobi (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio Ambiente y el desarrollo, 1997), el tratado de Ámsterdam (Tratado de la Unión Europea, 1997) y el protocolo de Kioto (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1997).

1. La Declaración de Nairobi (Conferencia de las Naciones Unidas, 1997) también conocida como Conferencia Río + 5, establece ahora cuatro vías principales de actuación:
  - a. Control y seguimiento medioambiental a través de la información y de la investigación.
  - b. Coordinación de asambleas medioambientales y desarrollo de instrumentos políticos.
  - c. Transferencia de tecnología e industria.
  - d. Apoyo a África, como compromiso entre desarrollo y erradicación de la pobreza.
  
2. El tratado de Ámsterdam (Tratado de la Unión Europea, 1997) de la Unión Europea supone el inicio de los “libros verdes”, en los que se recogerán todos los aspectos que se consideren importantes por sus impactos en el medio ambiente.
  
3. El Protocolo de Kioto (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1997) establece objetivos vinculantes para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero con horizonte 2012.

En los años posteriores se sucedieron numerosas aportaciones desde Consejos Europeos, el Banco Mundial y Naciones Unidas (Río + 10), hasta que ya en el 2002, en la Cumbre Mundial sobre el desarrollo sostenible en Johannesburgo, se establece un Plan de Aplicación. En Europa se aprueban el VI Programa Marco de Medio Ambiente 2002-2012 (Comisión Europea, 2002) y una Directiva de la Comisión Europea sobre comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (Comisión Europea, 2003). Una consecuencia de esta directiva es que las empresas tendrán fijados límites para la emisión de gases contaminantes en función de su mercado, aplicándose estas cuotas igualmente por regiones y por países.

El resultado es la aparición de factores que motivan disponer de sistemas de fabricación sostenibles. Éstos pueden ser tanto externos como internos.

- Factores externos:
  - Gobierno, legislando y regulando.
  - Mercado, a través de las demandas de los clientes con una mayor sensibilización de la opinión pública.
  - Competencia, siendo un rasgo diferenciador el tener certificados de gestión en ecodiseño.
  - Entorno social, representado por organizaciones ecologistas, vecinales y sectoriales, que presiona a las empresas hacia la sostenibilidad.
  - Proveedores/clientes, que también realizan innovaciones tecnológicas para mejorar la relación con el medio ambiente.
  
- Factores internos:
  - Aumento de la calidad del producto (sostenibilidad).
  - Mejora de la imagen del producto y de la empresa (marketing verde).
  - Reducción de costes.
  - Innovación (nuevos productos y/o procesos).
  - Gerencia (responsabilidad social).
  - Empleados (mayor seguridad laboral y salud).

Para definir una correcta estrategia de fabricación sostenible, de acuerdo a los factores identificados, abarcando todo el ciclo de vida (IHOBE, 2000), es necesario acotar los límites del sistema del producto comprobando una lista de control a través de una serie de preguntas (Brezet, 1997). De las respuestas a todas estas preguntas resultarán los aspectos ambientales del producto durante todo su ciclo de vida, y marcarán los límites del sistema de fabricación teniendo en cuenta sus impactos ambientales.

Un ejemplo claro, donde viene recogida buena información para facilitar esta tarea en las empresas, es la guía de criterios ambientales para la mejora de producto, que edita IHOBE (2011) en el País Vasco.

Según la Norma UNE-EN ISO 14050 (2010), se define Ciclo de Vida como las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, hasta su disposición final.

Se entiende por aspecto ambiental (UNE-EN ISO 14001, 2004): elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Se identifican atendiendo a las condiciones normales de funcionamiento (incluyendo arrancada y parada) y a potenciales situaciones de emergencia. Los aspectos ambientales que hay que identificar y registrar a lo largo de todo el ciclo de vida son respecto a:

- Emisiones atmosféricas.
- Vertidos al agua.
- Gestión de residuos.
- Contaminación del suelo.
- Consumo de materias primas y recursos naturales.

Se entiende por impacto ambiental (UNE-EN ISO 14001, 2004): cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.

Existen numerosos métodos, cuantitativos y cualitativos, para analizar el perfil ambiental y establecer prioridades ambientales durante todas las fases del ciclo de vida del producto. El Ecoindicador-99 (Goedkoop y Spriensma, 1999) es un ejemplo de herramienta cuantitativa que prioriza los principales aspectos ambientales del producto en su ciclo de vida, y que se va a utilizar como referencia en esta tesis doctoral.

Los ecoindicadores son el resultado de un proceso de priorizar los impactos ambientales negativos que más afectan al país y/o región donde se realiza el estudio. A continuación, se seleccionan los materiales y procesos productivos más comunes y a cada uno se le asigna un valor, basado en un análisis que tiene en cuenta el daño a la salud humana, la biodiversidad y el consumo de recursos naturales que ejerce el producto o proceso a lo largo de todo su ciclo de vida. El ecoindicador es el resultado de sumar los impactos y se expresa como un valor dado por kilogramo de producto. Se refleja en unas tablas según los materiales o residuos por cantidad utilizada o emitida. El total obtenido permite comparar los procesos, materiales y/o residuos para saber cuál tiene el menor impacto ambiental.

La referencia a nivel Europeo es Holanda. En este país se editaron el Ecoindicador-95 (Goedkoop et al., 1996) y el Ecoindicador-99 (Goedkoop y Spriensma, 1999), evolución más precisa del anterior. Permiten relacionar los impactos ambientales con actividades industriales.

Destacar que las mediciones de los efectos están referenciadas a nivel regional y local, por lo que es necesaria su adaptación en función del área geográfica donde vayan a ser utilizados. Asimismo, para una correcta ponderación, asignación del peso específico a cada ecoindicador, se debe valorar un número concreto y abarcable de efectos ambientales. Finalmente, se distinguen tres categorías de daños: a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos naturales. Un mayor valor asignado al ecoindicador equivale a un mayor impacto ambiental.

Revisando el concepto desarrollo sostenible aparecen varias ideas claras:

- No es un término exacto y objetivo, sino que es cambiante con el tiempo.
- Se ha ido adaptando según los intereses sociales de cada momento, pasando por los recursos materiales, la desigualdad entre norte y sur, el cambio climático,...

- Siempre ha permanecido el pensamiento de que no hay que comprometer el futuro de las próximas generaciones, por un consumo desenfrenado de los recursos existentes en el momento actual.

La creciente concienciación de la sociedad respecto a la sostenibilidad del medio ambiente ha llegado a las empresas (de Medeiros et al., 2014). El cliente (el consumidor final que juzga el valor del producto) no sólo considera el precio, la calidad y el momento presente, sino que además se siente comprometido con el futuro de las generaciones venideras, que también tendrán que vivir con los recursos que disponemos actualmente.

Resulta evidente, dada la amplia gama de procesos industriales existentes, que la variedad de casos a analizar es muy numerosa y, como consecuencia, la búsqueda de una metodología global para evaluar la eficiencia y sostenibilidad a nivel micro resulta muy compleja. Por ello, la mayoría de los trabajos de investigación y metodologías están muy focalizados en casos concretos, apoyándose en políticas públicas que demandan una actuación concreta en temas específicos, como pueden ser los indicados en VII Programa Marco de la Unión Europea (Comisión Europea, 2006).

La implicación de los organismos nacionales y regionales en el desarrollo sostenible es evidente. Son los impulsores de las políticas definidas a nivel mundial basadas en el eslogan: “piensa globalmente para actuar localmente”. Tal y como aparece explicado en la Agenda 21 (Conferencia de las Naciones Unidas, 1992b): Las intervenciones afectan a un amplio rango de factores, desde lo local a lo global y son esenciales a cada nivel, especialmente a escala local y de comunidad.

#### 2.4.1 Fundamentos del sistema de fabricación sostenible.

El primer paso que se debe cumplir dentro de la organización es disponer de una política medioambiental, con las siguientes características:

- Que sea una declaración pública documentada.
- Dirigida a la prevención de contaminación.
- Con el compromiso de exceder el cumplimiento de los requisitos legales y otros más restrictivos del sector.
- Con el compromiso de mejora continua.
- Dentro de un marco en el que se establezcan y revisen los objetivos y metas.
- Que sea adecuada para las actividades, productos y servicios de la organización.
- Que sea conocida, comprendida, desarrollada y mantenida al día por todos los niveles de la organización.

El segundo paso, iniciando así el ciclo del sistema de gestión medioambiental, es la planificación. Para ello se deben considerar todos los aspectos medioambientales de la organización:

- Identificar los aspectos ambientales.
- Determinar los aspectos ambientales que pueden tener un impacto significativo con el medioambiente.
- Considerar los aspectos ambientales identificados, para establecer los objetivos y las metas de la organización.

Para realizar correctamente este paso, la organización debe disponer de los procedimientos internos necesarios para poder determinar y aplicar los requisitos legales y otros (más restrictivos) a los que la organización se someta. En consecuencia, la organización dispondrá de una documentación, mantenida, con los objetivos y metas para cada función y nivel relevante. El resultado es un programa de actuación recogiendo responsabilidades, metas, medios y calendario de actuación, y que será coherente con la política medioambiental de la organización.

La implantación con éxito del sistema de gestión medioambiental dependerá del compromiso que adquiera cada empleado, ya que las responsabilidades ambientales afectan a toda la organización. Se designarán responsables en todos los departamentos y se distribuirán responsabilidades. El programa de actuación se mantendrá siempre actualizado y se revisará periódicamente.

El tercer paso es la puesta en práctica del sistema de gestión medioambiental. La organización debe crear y mantener viva la documentación para asegurar una correcta implantación y seguimiento del sistema de gestión medioambiental, estando siempre localizada, disponible y actualizada. Adicionalmente, se establecerán controles para las operaciones asociadas a aspectos ambientales significativos, a través de procedimientos que aseguren unas condiciones de trabajo controladas. Estos procedimientos también sirven para identificar y responder ante accidentes y situaciones de emergencia, previendo y mitigando posibles impactos medioambientales asociados.

El cuarto paso es la comprobación de los procedimientos. Para este fin existen registros del sistema específicos para cada procedimiento: de formación, incidentes, inspección, mantenimiento, impactos, auditorías, revisiones,... Es importante que la organización disponga de procedimientos de seguimiento y medición, así como de sus registros asociados. Las auditorías, tanto internas como externas por organismos oficiales, pretenden comprobar el grado de implantación y efectividad del sistema de gestión medioambiental.

Los objetivos de las auditorías energéticas en las empresas industriales son:

- Conocer el consumo energético de la empresa de forma fiable y real.
- Detectar factores de interés que afectan al consumo de energía.
- Identificar y evaluar oportunidades de ahorro en energía rentable y realizable.

- Formar y sensibilizar al consumidor de la importancia y el interés por un seguimiento continuo en la forma y manera del consumo energético.
  
- Contribuir a la consecución de la estrategia referida al sector industrial.

El quinto paso del sistema de gestión medioambiental es la revisión del propio sistema. Se revisan la política, los objetivos y los procedimientos, de forma periódica, y poder así conocer la adecuación y efectividad del sistema. Con las conclusiones obtenidas se vuelve a empezar un nuevo ciclo del sistema de gestión medioambiental.

En lo que respecta a este trabajo, la consecuencia más importante del Informe Brundtland (CMMAD, 1988) es la presentación de un vínculo inseparable entre sistemas de fabricación y medio ambiente, promoviendo la creación de una Política de Producto Integrada (PPI). La Política de Producto Integrada (PPI) se caracteriza por ser:

- Política:
  - Función de las autoridades públicas, más facilitando que interviniendo directamente (brindar a los consumidores la información necesaria para poder decidir).
  - Instrumentos legislativos, voluntarios u obligatorios (marco económico y jurídico adecuado).

En el ámbito de este trabajo se relaciona con todas las leyes, regulaciones, programas que han surgido desde la aparición del término desarrollo sostenible hasta los planes de actuación a nivel local.

- Producto:
  - Abarca a todos los productos y servicios (tecnologías más limpias, competencia, innovación tecnológica).
  - Colaboración en el mercado (promoción de productos y empresas, compras públicas verdes, exenciones fiscales y ayudas, premios de medio ambiente a las empresas).

En esta tesis doctoral se relaciona con la implantación de un sistema de gestión medioambiental de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 14001 (2004).

- Integrada:
  - Contempla el ciclo de vida completo.
  - Conciencia a los sectores interesados de sus responsabilidades (industria, consumidores, administración).

En el ámbito de este trabajo se relaciona con la implantación de un sistema de producción eficiente.

Evidentemente, la actuación política no se ha detenido aquí y en los próximos años se seguirán actualizando y generando nuevas leyes, regulaciones y programas a todos los niveles institucionales (piensa globalmente, actúa localmente).

Un ejemplo de aplicación de la Política de Producto Integrada (PPI) es la directiva ROHS (*“Restriction Of use of certain Hazardous Substances”*), Directiva Europea 2002/95/CE. Esta directiva restringe el uso de seis sustancias peligrosas en la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos:

- Metales pesados: Plomo, Mercurio, Cadmio.
- Anticorrosivos: Cromo hexavalente.
- Retardantes: Bifenilo polibromado, éteres de difenilo polibromado.

Más ejemplos de PPI, ya sean de obligado cumplimiento o voluntarias, tanto a nivel, regional, nacional o continental, son la directiva REACH, la ley de envases y embalajes, sistemas de gestión empresarial en calidad (UNE-EN ISO 9001, 2008), RAEE (Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, 2015), etc.

Es evidente que la PPI ha producido un cambio en los procesos productivos. El producto es ahora el punto de partida para alcanzar un desarrollo sostenible. Se trata de incrementar la calidad de vida apoyando el crecimiento económico, pero minimizando el impacto ambiental.

Las nuevas políticas ambientales propician la competitividad y hacen aparecer nuevos conceptos (Del Río et al., 2010), como por ejemplo:

- Producción limpia: establecer una estrategia ambiental continua en la empresa, para reducir los riesgos y aumentar la eficiencia de los procesos.
- Ecodiseño: considerar los aspectos ambientales en todas las etapas del proceso de desarrollo de productos, para conseguir reducir el impacto ambiental al mínimo posible.
- Ecoinnovación de la función del producto: usar nuevos medios para cubrir las necesidades proporcionadas por un producto tradicional.
- Ecoeficiencia del sistema: generar un cambio en los hábitos de producción y consumismo, introduciendo nuevos valores en el público.
- Diseño industrial: actividad humana de arte y técnica para crear objetos que puedan ser fabricados en serie por la industria. Es la referencia identificativa de cada empresa y un factor de competencia que permite a las compañías diferenciarse del resto.

Nuevos factores se incluyen en los sistemas de producción:

- Normas y estándares.
- Medio ambiente.
- Exigencias del cliente.
- Competitividad.
- Equipamiento e instalaciones.

- Volumen de producción.
- Rendimiento de la planta.
- Proceso de producción.
- Patentes.
- Riesgo del proyecto.
- Envasado y expedición.
- Capacidad de los proveedores.
- Materiales.
- Peso y tamaño.
- Documentación.
- Sostenibilidad.

Que se suman a los factores tradicionales:

- Valor / Coste.
- Estética.
- Ergonomía.
- Calidad.
- Seguridad.
- Utilidad / Funcionalidad.

Para definir una correcta estrategia de fabricación sostenible, abarcando todo el ciclo de vida, es necesario acotar los límites del sistema del producto comprobando una lista de control (Brezet y Van Hemel, 1997):

- Necesidad de análisis:

¿Cómo el producto actual cumple las necesidades sociales?

- ¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?
- ¿El producto cumple estas funciones efectiva y eficientemente?
- ¿Qué necesidad del usuario satisface el producto actualmente?
- ¿Pueden ser las funciones del producto aumentadas y/o optimizadas para cumplir mejor la necesidad del usuario?
- ¿Cambiará esta necesidad del usuario en un plazo de tiempo?
- ¿Se puede anticipar el producto a este cambio con una innovación del mismo?

- Producción y suministro de materiales y componentes:

¿Qué problemas pueden surgir en la producción y suministro de materiales y componentes?

- ¿Qué cantidad y tipo de plásticos se usan?
- ¿Qué cantidad y tipo de aditivos son usados?
- ¿Qué cantidad y tipo de metales se utilizan?
- ¿Qué cantidad y tipo de otros materiales son usados?
- ¿Qué cantidad y tipo de tratamientos superficiales se usan?
- ¿Cuál es el perfil ambiental de los componentes?
- ¿Qué cantidad de energía es necesaria para transportar los componentes y materiales?

- Fabricación en la empresa:

¿Qué problemas surgen durante el proceso de fabricación en la empresa?

- ¿Qué cantidad y tipo de procesos de fabricación existen?
- ¿Qué cantidad y tipo de materiales auxiliares son necesarios?
- ¿Cuál es el consumo de energía?
- ¿Cuánta chatarra se genera?
- ¿Cuántos productos no alcanzan las normas de calidad?

- Distribución:

¿Qué problemas surgen en la distribución del producto al cliente?

- ¿Qué tipo de embalajes son utilizados?
- ¿Qué medios de transporte son usados?
- ¿Está eficientemente organizado el transporte?

- Utilización:

¿Qué problemas surgen durante el uso, funcionamiento, servicio y reparación del producto?

- ¿Qué cantidad y tipo de energía es necesaria?
- ¿Qué cantidad y tipo de consumibles son necesarios?
- ¿Cuál es la expectativa técnica de vida?

- ¿Qué cantidad de reparaciones y tipo de mantenimiento son necesarios?
  - ¿Puede ser el producto desmontable por una persona que no lo conozca?
  - ¿Suele requerir el producto la sustitución de piezas separables?
  - ¿Cuál es la esperanza de vida estética del producto?
- Recuperación y eliminación:
- ¿Qué problemas pueden surgir en la recuperación y eliminación del producto?
- ¿Cómo es el producto actualmente eliminado?
  - ¿Están siendo reutilizados componentes o materiales?
  - ¿Qué componentes pueden ser reutilizados/reciclables?
  - ¿Pueden ser los componentes desmontables sin peligro?
  - ¿Son los materiales identificables?
  - ¿Pueden ser rápidamente separados?
  - ¿Existe algún componente peligroso fácilmente separable?
  - ¿Existe algún problema cuando se incineran partes del producto no re-utilizables?

De las respuestas a todas estas preguntas resultarán los aspectos ambientales del producto durante todo su ciclo de vida, y marcarán los límites del sistema de fabricación teniendo en cuenta sus impactos ambientales. A continuación se identifican claramente estos dos conceptos, aspecto e impacto ambiental, dando algunos ejemplos de ambos en la siguiente Tabla 2.2:

| <b>ASPECTOS AMBIENTALES</b>      |  |   | <b>IMPACTOS AMBIENTALES</b>              |
|----------------------------------|--|---|--|
| <i>Asociados al producto</i>     | <i>Consumo de materiales renovables</i>            | <i>Madera, vegetales, agua,...</i>              | <i>Agotamiento de recursos naturales</i> |
|                                  | <i>Consumo de materiales no renovables</i>         | <i>Metales, plásticos, minerales,...</i>        | <i>Efecto invernadero</i>                |
|                                  | <i>Consumo de materiales tóxicos</i>               | <i>Productos químicos peligrosos,...</i>        | <i>Reducción de la capa de ozono</i>     |
| <i>Asociados a los procesos:</i> | <i>Consumo de energía</i>                          | <i>Electricidad, gas, combustibles,...</i>      | <i>Lluvia ácida</i>                      |
|                                  | <i>Consumo de recursos</i>                         | <i>Agua, metales, minerales,...</i>             | <i>Contaminación del aire</i>            |
|                                  | <i>Consumo de productos químicos</i>               | <i>Pinturas, adhesivos, detergentes,...</i>     | <i>Contaminación del suelo</i>           |
|                                  | <i>Generación y emisión de residuos</i>            | <i>Cartón, chatarra, madera,...</i>             | <i>Contaminación del agua</i>            |
|                                  | <i>Generación y emisión de residuos peligrosos</i> | <i>Aceites, baterías,...</i>                    |  |
|                                  | <i>Generación de vertidos</i>                      | <i>Agua contaminada,...</i>                     |  |
|                                  | <i>Emisiones a la atmósfera</i>                    | <i>CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVs,...</i> |  |

Tabla 2.2: Aspectos versus Impactos ambientales.  
Fuente: Elaboración propia en base a Rupérez (2008).

Existen numerosos métodos, cuantitativos y cualitativos, para analizar el perfil ambiental y establecer prioridades ambientales durante todas las fases del ciclo de vida del producto. El Ecoindicador-99 es una herramienta cuantitativa que prioriza los principales aspectos ambientales del producto en su ciclo de vida. Como ventaja, aporta una mayor precisión para priorizar los principales aspectos medioambientales a tener en consideración.

A continuación se describe un caso consistente en envolver un regalo con plástico o con papel. En la Tabla 2.3 siguiente se utilizan los valores del Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) para dos materiales con un uso final comparable como envoltorio de un producto:

| <i>Material o Proceso</i>            | <i>Cantidad (kg)</i> | <i>Ecoindicador-99</i> | <i>Total (unidades)</i> |
|--------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| <i>Papel</i>                         | <i>2</i>             | <i>96</i>              | <i>192</i>              |
| <i>Plástico de polietileno (PET)</i> | <i>1</i>             | <i>380</i>             | <i>380</i>              |

Tabla 2.3: Ejemplo de cálculo de impacto ambiental.  
Fuente: Elaboración propia en base a IHOBE (2000).

La columna “Total” muestra el impacto ambiental en el caso de utilizar uno u otro material, en función del peso final del envoltorio y de la valoración asignada por el Ecoindicador-99. La conclusión es evidente, al utilizar el doble de papel que de plástico se obtiene un menor impacto ambiental, casi la mitad, por lo que será más sostenible la utilización del papel.

#### 2.4.2 Beneficios del sistema de fabricación sostenible.

Cada día se desarrollan nuevas normativas y legislaciones aplicables a los productos como respuesta a una mayor sensibilidad con respecto al medio ambiente. La consecuencia es la implantación en las empresas de sistemas de gestión medioambientales de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 14001 (2004). La Tabla 2.4 a continuación muestra la relación existente entre todos los agentes involucrados:

| <b>ETAPA</b>        | <b>OBJETIVO</b>                                     | <b>AGENTE</b>                             | <b>ACCIÓN</b>  | <b>HERRAMIENTA</b>                             | <b>SPONSOR</b>                                 |
|---------------------|---|---|--|--|--|
| <b>DISEÑO</b>       | <i>Reducir impacto en todo el ciclo de vida</i>     | <i>Diseñador</i>                          | <i>Mejora ambiental del ciclo de vida del producto</i> | <i>ECO-DISEÑO</i>                              | <i>Productor, administración</i>               |
| <b>PRODUCCIÓN</b>   | <i>Procesos más limpios</i>                         | <i>Departamento de producción</i>         | <i>Producción más limpia</i>                           | <i>Sistema de gestión ambiental, ISO 14000</i> | <i>Dirección empresa, administración</i>       |
|                     | <i>Productos más limpios</i>                        | <i>Departamentos de compras y calidad</i> | <i>Cumplimiento especificaciones de Eco-Diseño</i>     |  |  |
| <b>DISTRIBUCIÓN</b> | <i>Minimizar impacto transporte</i>                 | <i>Transportista</i>                      | <i>Gestión ambiental</i>                               | <i>Sistema de gestión ambiental, ISO 14000</i> | <i>Dirección empresa, administración</i>       |
|                     | <i>Información a vendedor</i>                       | <i>Departamento de Marketing</i>          | <i>Informar de aspectos ambientales del producto</i>   | <i>Comunicación, eco-etiquetas</i>             |  |
|                     | <i>Información a comprador</i>                      | <i>Vendedor</i>                           |  |  |  |
|                     | <i>Comprar productos de Eco-Diseño</i>              | <i>Comprador</i>                          | <i>Valorar aspectos ambientales</i>                    | <i>Sensibilización, ayudas económicas</i>      | <i>Productor, distribuidor, administración</i> |
| <b>USO</b>          | <i>Reducir impacto ambiental</i>                    | <i>Usuario</i>                            | <i>Uso eficiente responsable</i>                       | <i>Información</i>                             | <i>Productor, distribuidor, administración</i> |
| <b>FIN DE USO</b>   | <i>Recoger residuos en lugares adecuados</i>        | <i>Último poseedor del producto</i>       | <i>Entrega en lugares adecuados</i>                    | <i>Información</i>                             | <i>Productor, administración</i>               |
|                     | <i>Maximizar residuos bajo control</i>              | <i>Administración</i>                     | <i>Equipamientos y campañas de sensibilización</i>     | <i>Gestión sistemática de residuos</i>         |  |
|                     | <i>Tratar los residuos provenientes de procesos</i> | <i>Gestor del reciclaje</i>               | <i>Producción más limpia</i>                           | <i>Sistema de gestión ambiental, ISO 14000</i> | <i>Administración</i>                          |
|                     | <i>Maximizar el aprovechamiento de materiales</i>   | <i>Proveedor de materiales reciclados</i> | <i>Creación de mercados para materiales reciclados</i> | <i>Bolsas de subproductos</i>                  |  |

Tabla 2.4: Proceso de gestión de ciclo de vida.  
Fuente: Elaboración propia en base a Rupérez (2008).

Los beneficios de considerar los aspectos e impactos ambientales en los sistemas de fabricación, además de crear condiciones positivas de salud en el trabajo y ambientes sostenibles, son:

- Menores costes del ciclo de vida, principalmente reduciendo el uso de energía de funcionamiento y mantenimiento.
- Mayor productividad, las mejores condiciones y satisfacción laboral del trabajador contribuyen a una mayor eficiencia.
- Mejor imagen de marca, políticas ambientales en la empresa atraen el interés de los medios y del público en general, y es un atractivo para mantener en nómina a los mejores empleados.
- Reducir el impacto ambiental, objetivo principal, para preservar los recursos naturales.

A continuación se muestra un ejemplo con los beneficios que se pueden alcanzar utilizando un sistema de gestión medioambiental. En esta Tabla 2.5 se representa la evolución del consumo de agua (litros) y energía (kWh) en el mercado de los electrodomésticos de línea blanca, datos del grupo BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH (2014) comparando modelos de categoría similar producidos en 1998 y en 2013, y para un programa de uso estándar:

| Lavavajilla |      | Lavadora |      | Secadora | Refrigerador |
|-------------|------|----------|------|----------|--------------|
| Energía     | Agua | Energía  | Agua | Energía  | Energía      |
| -50%        | -60% | -63%     | -31% | -72%     | -75%         |

Tabla 2.5: Evolución consumo de agua y energía electrodomésticos línea blanca.  
Fuente: Elaboración propia en base a BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH (2014).

Los resultados que se pueden alcanzar como consecuencia de implantar un sistema de gestión medioambiental pueden sorprender, como por ejemplo descubrir que la utilización de algodón para reducir el impacto acústico puede

disparar el consumo de agua en materias primas, ya que 1 kilogramo de algodón equivale a 12 litros de agua por regadío.

## **2.5 Fabricación eficiente y sostenible.**

Ante la situación industrial del siglo XXI se abren paso nuevos pensamientos empresariales que persiguen el aumento del valor añadido de los productos, abarcando todo el ciclo de vida de los mismos. No son válidos los planteamientos basados en una producción estandarizada y masiva. Los sistemas tradicionales de fabricación en cadena (fordismo) no se adaptan a las necesidades actuales de los mercados.

Veleva y Ellenbecker (2001) identifican un problema en el sistema productivo existente. Si ya de por sí resulta difícil realizar una definición del término desarrollo sostenible, entonces todavía va a resultar más difícil medirlo, y las empresas necesitan medir para gestionar los resultados obtenidos. Destaca que existen numerosos indicadores ambientales, pero ninguno de ellos ayuda a entender los Indicadores de Producción Sostenible (ISP del inglés *Indicators of Sustainable Production*). Éstos deben incluir no sólo medidas productivas, sino también medidas que relacionen la producción con los sistemas ambientales, económicos y sociales, incluyendo así energía y materiales usados, medio ambiente, viabilidad económica, justicia social, desarrollo de los trabajadores y de la comunidad, y ciclo de vida del producto. Este tipo de indicadores sí pueden mostrar el camino que siguen las empresas hacia prácticas de producción más sostenibles.

Numerosos estudios revisan la evolución de nuevas metodologías para medir la producción sostenible en las empresas. Koltun (2010) reflexiona sobre las implicaciones del desarrollo sostenible. Entiende que es un concepto que entraña objetivos sociales, ecológicos y económicos, requerido para mantener la integridad de la explotación de recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y cambios institucionales. Reconoce también que existen dudas sobre el exacto significado de desarrollo sostenible,

aunque generalmente está aceptada su relación con la satisfacción de objetivos sociales, ambientales y económicos, y lo entiende como una guía u objetivo puesto por la Conferencia de las Naciones Unidas (1992a). Sin embargo, los problemas aparecen cuando se intentan poner en práctica los principios del desarrollo sostenible, destacando la dificultad de la necesidad de medir el nivel de sostenibilidad. Identifica las características que deberían tener dichos indicadores de sostenibilidad: simplicidad de cálculo, practicidad para la toma de decisiones e indicación robusta del progreso realizado hacia sostenibilidad.

En esta misma línea, Short et al. (2012) reconocen que las empresas perciben la sostenibilidad como algo bueno, pero también como peligroso y complicado que les hace tomar precauciones. Como consecuencia, la implementación de la sostenibilidad no ha arraigado ni en las empresas ni en las personas responsables de realizar los cambios necesarios.

Sin embargo, Despeisse et al. (2013) también destacan la creciente presión que tienen las empresas para reducir el impacto medioambiental de sus actividades, tanto por parte de los accionistas como por regulaciones más estrictas. La investigación en sostenibilidad en general, y particularmente de la fabricación sostenible, se desarrolla rápidamente, incluso cruzando distintas áreas disciplinarias. Pero no es suficiente. Los autores llaman la atención sobre la falta de conocimiento sobre cómo alcanzar el objetivo de sostenibilidad a nivel operacional. A pesar de que hay un aumento de ejemplos prácticos de fabricación sostenible, se carece de una explicación que aclare cómo estos ejemplos fueron concebidos y cómo se pueden reproducir las opciones de mejora tomadas.

Mención especial el estudio realizado por J. F. de Medeiros et al. (2014) que realizan una sistemática investigación académica, para guiar a las compañías a tener éxito en la innovación del producto sostenible medioambientalmente. En su opinión, los consumidores y las empresas están motivados en la búsqueda de alternativas, tanto para mitigar la presión de los requisitos medioambientales que resultan del continuo crecimiento económico y poblacional, como para

sobrevivir en un escenario competitivo donde la innovación se presenta necesaria en la mayoría de los mercados. El resultado identifica cuatro variables para satisfacer el objetivo de producto innovador sostenible medioambientalmente:

- Conocimiento del mercado, reglas y leyes.
- Colaboración inter-funcional.
- Aprendizaje orientado a la innovación.
- Inversión en investigación y desarrollo.

En los apartados siguientes se van a destacar una serie de propuestas de distintos investigadores, resaltando algunos de los puntos que han aportado a la medición de la producción eficiente y sostenible en las empresas, así como qué aspectos han identificado con un claro potencial de mejora.

#### 2.5.1 Producto y/o Servicio Desarrollado Sostenible (SPSD).

Maxwel y Vorst (2003) identifican el requisito de desarrollar productos sostenibles como un reto fundamental en la industria del siglo XXI. Presentan una iniciativa en Irlanda, denominada Productos Medioambientales Superiores (ESP del inglés *Environmentally Superior Products*) que ayuda a las empresas a incorporar un punto de vista más sostenible para desarrollar productos y servicios. A partir de esta experiencia y otras investigaciones, se desarrolla un nuevo método para un efectivo Desarrollo de Producto y/o Servicio Sostenible (SPSD del inglés *Sustainable Product and/or Service Development*). El objetivo de este método es proporcionar una guía pragmática a la industria para desarrollar productos y servicios sostenibles, a la vez que incorpora estrategias corporativas, procesos de producción limpia y sistemas de desarrollo de producto, ya existentes.

El método proporciona un marco para implementar SPSD a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto y/o servicio. Puede ser utilizado para identificar, evaluar e implementar las opciones para el óptimo desarrollo sostenible en el diseño y desarrollo de un producto y/o servicio. Para ello identifica nueve criterios para el desarrollo sostenible de productos y servicios:

1. Funcionalidad.
2. Impactos ambientales.
3. Impactos sociales.
4. Impactos económicos.
5. Calidad.
6. Demanda de mercado.
7. Requisitos del cliente.
8. Realización técnica.
9. Cumplimiento de la legislación y especificaciones técnicas.

Maxwel et al. (2006) profundizan en esta metodología, contribuyendo a solucionar el problema de que los productos, a lo largo de todo su ciclo de vida (materias primas, producción, consumo, fin de vida), pueden causar efectos ambientales e impactos sociales adversos. De esta forma, se podría considerar que los productos y su consumo son los mayores contribuyentes a la degradación ambiental.

Las etapas de implantación del SPSD están basadas en una modificación del típico proceso de desarrollo de producto y/o servicio Norma UNE-EN ISO/TR 14062 (2007). Es así para facilitar la integración de esta metodología con los procesos ya existentes en las empresas. Estas etapas pueden ser iterativas, y están concebidas para proporcionar un marco flexible de acciones para desarrollar productos y/o servicios de manera efectiva.

La metodología SPSD está dirigida a maximizar el rendimiento ambiental y social en el desarrollo de los productos y/o servicios en las empresas. Los conceptos y la funcionalidad se evalúan críticamente para determinar las acciones apropiadas, con el fin de maximizar el potencial de beneficio

sostenible. Los impactos ambientales positivos y negativos a lo largo del ciclo de vida del producto se evalúan, junto a requisitos tradicionales, para determinar cuál es la manera más sostenible de cumplir con la funcionalidad necesaria.

Gmelin y Seuring (2014) publican un artículo para enfatizar la interconexión entre la sostenibilidad y el desarrollo de nuevos productos, con el ciclo de vida y su orientación hacia el producto. Los autores proponen una nueva estructura organizativa, orientada a la gestión del ciclo de vida del producto. La vinculación de departamentos, procesos, datos y personas lleva a colaboraciones cruzadas dentro de la organización, basadas en una reducción de la complejidad y en la armonización de procesos.

### 2.5.2 Valor Añadido Sostenible (SVA).

Los investigadores Figge y Hahn (2004) proponen un nuevo enfoque para medir las contribuciones de las empresas a la sostenibilidad, denominado Valor Añadido Sostenible (SVA del inglés *Sustainable Value Added*). De acuerdo a su definición, el valor se crea cuando los beneficios superan los costes. Frente a otros planteamientos actuales, optan por medidas basadas en costes de oportunidad, cuantificadas a través del valor añadido sostenible. Este método de medida demuestra, según los recursos que se asignan, cuánto más valor se crea por una empresa, o lo que es lo mismo, cuánto más eficiente es respecto a otra empresa de referencia.

El SVA se inspira en el concepto de sostenibilidad fuerte, entendiendo que cada tipo de recurso se mantiene constante, por lo que mide si una empresa crea valor adicional al tiempo que garantiza que el impacto ambiental y social permanece constante. De esta forma, tiene en cuenta tanto la ecoeficiencia social de la empresa como su nivel de efectividad en el consumo de recursos ambientales y sociales. El resultado es una valoración de la sostenibilidad en las empresas desde tres aspectos simultáneamente: ambiental, económico y social.

Para clarificar el término de ecoeficiencia, Klang et al. (2003) indican que al relacionar los indicadores de aspectos diferentes entre sí, se obtienen diferentes tipos de indicadores de relación, que facilitan un estudio comparativo de diferentes actividades dentro de un mismo proyecto. Así, los indicadores de ecoeficiencia se obtienen cuando se relacionan aspectos ambientales con aspectos económicos. Asimismo, Sinkin et al. (2008) definen ecoeficiencia como un proceso de gestión para reducir el impacto ambiental aumentando la productividad ambiental, mientras que también se reducen los costes y se aumenta la creación de valor.

Una forma de evaluar las contribuciones corporativas a la sostenibilidad es restar los costes a los beneficios creados por una empresa. Para ello deben considerarse los costes internos y externos. Siguiendo este enfoque, una empresa contribuye a la sostenibilidad si los beneficios superan la suma de los costes internos y externos. El resultado puede ser Valor Añadido Verde (*Green Value Added*) definido también por Atkinson (2000) como Producto Doméstico Neto verde (gNDP del inglés *green Net Domestic Product*). El coste ambiental externo, causado por la actividad económica de la empresa, se ajusta al desempeño económico de la empresa en términos de Valor Añadido (VA del inglés *Value Added*). Costes y beneficios son comparables porque se miden en la misma unidad. Es por ello que se propone que los daños ambientales (y sociales) sean monitorizados por estos conceptos.

Los mismos autores Figge y Hahn (2004) también están de acuerdo en una serie de limitaciones. En primer lugar, que las medidas relativas no dan cualquier información sobre eficacia. En segundo lugar, que los avances en el desempeño ambiental debido a la mejora de la ecoeficiencia se pueden recompensar, por lo que una mayor ecoeficiencia no garantiza una mayor efectividad. Y en tercer lugar, la ecoeficiencia no cubre aspectos sociales.

Timo y Natalia Kuosmanen (2009) reflexionan sobre la sostenibilidad, llegando a la conclusión de que es un concepto complejo y multidimensional que implica aspectos ambientales, económicos y sociales. Así como que el método SVA

desarrollado por Figge y Hahn (2004) es uno de los intentos más prometedores para medir el desempeño de sostenibilidad de las empresas, apreciando la idea de valoración de recursos basados en su oportunidad de coste. Sin embargo, las pruebas de simulaciones de Monte Carlo muestran que el estimador propuesto funciona incorrectamente, incluso en condiciones ideales. Concluyen con dos consideraciones para desarrollar un método de este tipo:

- Tener cuidado con los supuestos implícitos.
- Verificar cualquier nuevo método en primer lugar en el ambiente controlado de simulaciones de Monte Carlo, antes de aplicarlo en situaciones del mundo real.

Ang y Passel (2010) sostienen que el debate sobre esta metodología es muy confuso, porque el enfoque original de valor sostenible presenta dos objetivos en gran parte incompatibles. Si uno tiene la intención de presentar la eficiencia global de recursos de la empresa desde el punto de vista del inversor, recomiendan la metodología original de comparativa contra otra de referencia. Si por el contrario uno aspira a crear una herramienta preceptiva a establecer algún tipo de esquema de reasignación, abogan por la aplicación de la teoría de la eficiencia productiva. Sin embargo, mantienen que ambas formas de entenderla podrían proporcionar conocimientos útiles a las empresas. Finalmente ven tres retos a la hora plantear este tipo de metodología y aumentar su poder interpretativo:

1. Una selección de recursos más sistemática.
2. La inclusión de la cadena de valor.
3. Análisis adicionales relacionados con la gestión en las empresas.

Estos investigadores inciden que es sencillo de realizar el cálculo de SVA, ya que es la diferencia entre la producción económica de una empresa y la que

hubiese sido creada por otra empresa de referencia, con la misma cantidad de recursos.

Unos años más tarde, Figge y Hahn (2012) retoman esta propuesta dado el debate creado, y plantean dos alternativas sobre las estrategias ambientales en las empresas. Deben tener como objetivo la creación de valor ambiental junto con valor económico, o por el contrario, la creación de valor económico a través de la gestión ambiental. Los autores argumentan que estrategias corporativas adecuadas, en el contexto del desarrollo sostenible, son necesarias para abordar las preocupaciones ambientales a la par de los resultados financieros, y no subordinadas a éstos. Afirman que si las empresas aplican la noción de oportunidad de costes de recursos ambientales, pueden identificar estrategias para crear valor ambiental junto con valor económico.

### 2.5.3 Fabricación Medioambientalmente Responsable (ECM).

La Fabricación Medioambientalmente Responsable (ECM del inglés *Environmentally Conscious Manufacturing*) está relacionada, según Gungor y Gupta (1999), con el desarrollo de métodos para la fabricación de nuevos productos desde la fase conceptual de diseño, hasta la entrega final y fin de vida, de tal forma que los estándares y requisitos medioambientales se cumplan. Basándose en dos elementos claves:

- Entender el ciclo de vida del producto y su impacto en el medioambiente en cada una de sus etapas de vida.
- Realizar mejores decisiones durante el diseño y la fabricación del producto, de tal forma que los impactos ambientales del producto se mantienen en los niveles deseados.

De acuerdo a los mismos autores, la Recuperación de Producto (PRO del inglés *PROduct recovery*) tiene como objetivo reducir la cantidad de residuos

generados, a través de la recuperación de material y componentes de otros productos antiguos o caducados, es decir, reciclando o re-operando.

El primer paso que identifican es determinar desde la fase conceptual cómo el producto va a evolucionar y cómo va a afectar al medioambiente a través de sus distintas etapas de vida. Distingue dos etapas:

1. Diseño medioambientalmente consciente. El objetivo es reducir el tiempo y el coste hasta llegar al mercado, y aumentar la calidad del producto.
2. Producción medioambientalmente consciente.

La inclusión de datos sobre la producción del producto en el análisis permite completar el concepto de fabricación medioambientalmente responsable. El autor propone distintos tipos de herramientas para combinar procesos y materiales, con valores financieros y mejoras medioambientales. Como alternativa, la utilización de un registro con los residuos generados puede servir como un indicador ambiental de los procesos de producción.

Más recientemente, Ilgin y Gupta (2010) presentaron un estudio sobre la Fabricación Medioambientalmente Responsable y Recuperación de Producto (ECMPRO del inglés *Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery*), centrándose en cuatro categorías principales: diseño de producto, cadena de suministro, re-fabricación y desmontaje. Destacándose las siguientes conclusiones:

- Los temas ambientales tienen una creciente popularidad entre los investigadores. Por lo tanto, en los últimos años, hay un aumento significativo en el número de estudios en ECMPRO.
- La investigación de diseño de producto se centra principalmente en técnicas de criterios múltiples, que permiten la consideración simultánea de aspectos ambientales, económicos, de consumo y de requerimientos

sobre los materiales. Sin embargo, el impacto ambiental de los procesos productivos se omite en la mayoría de estos estudios. Por lo tanto, hay una necesidad de metodologías de diseño de producto ambientalmente consciente, que integren el diseño de productos y procesos.

- Los sistemas de fabricación se analizan frecuentemente considerando solamente la gestión de operaciones específicas (por ejemplo, gestión de inventario o planificación de la producción). Para tener un análisis más realista de estos sistemas, se deben desarrollar metodologías integradas.
- Existe un alto grado de incertidumbre. Los enfoques más populares para enfrentar esta incertidumbre se basan en la simulación y análisis de diferentes escenarios. Se necesitan más estudios para controlar mejor los efectos de la incertidumbre.

Finalmente Gupta y Kumar (2013) complementan esta propuesta, vinculando iniciativas verdes con nombres de marca para crear oportunidades de marketing, de gestión y de organización. En su opinión, el reciclaje de productos apoyado por un nombre de marca relevante contribuye a que los distribuidores puedan vender más fácilmente el producto, ya que el nivel de confianza del consumidor en el reciclaje es mayor.

#### 2.5.4 Matriz de Opción Verde (GOM).

Dangelico y Pontrandolfo (2010) se preguntan por qué diferentes productos pueden ser verde, qué deben realizar las empresas para implementar productos verdes y cómo las empresas pueden comunicar a los interesados las características ambientales de sus productos ecológicos. En respuesta proponen una Matriz de Opción Verde (GOM del inglés *Green Option Matrix*), que caracteriza los productos y prácticas verdes a lo largo de diferentes aspectos. Esta matriz se utiliza para analizar las diferentes características de productos verdes, a partir de una muestra de empresas pertenecientes al

Índice Mundial de Sostenibilidad Dow Jones (DJSWI del inglés *Dow Jones Sustainability World Index*). Los datos recopilados sobre los productos y prácticas verdes desarrollados por cada empresa se colocan en la matriz, y se presentan para cada sector industrial. La matriz propuesta puede utilizarse por las empresas como una herramienta de mercado para analizar las prácticas y productos verdes de la competencia, y como una herramienta de comunicación para informar eficazmente a los interesados sobre las características específicas del “verde” de sus productos y prácticas.

La valoración que realizan, es que puede ser una herramienta útil para las empresas que quieran desarrollar productos verdes, ya que les aporta un plus de conocimiento de dos maneras:

- Como una herramienta de análisis de mercado, analizando a la competencia y proporcionando indicaciones para potenciales áreas de desarrollo no cubiertas (celdas vacías en la matriz).
- Como una herramienta de comunicación, ayudando a las empresas en sus estrategias de imagen de sus productos verdes.

Igualmente, los autores reconocen las limitaciones que tiene el GOM, ya que no se propone como una herramienta para evaluar el impacto ambiental de los productos, que requeriría según apuntan, la utilización de herramientas cuantitativas de evaluación de ciclo de vida, así como la valoración de las condiciones de uso del producto y de factores externos (como el estado del ecosistema) que puedan influir. Por el contrario, el enfoque del GOM es cualitativo en cuanto al cálculo del impacto ambiental.

#### 2.5.5 Paradigma de la nueva fabricación verde.

Deif (2011) relaciona la evolución actual de los sistemas de fabricación con la conciencia global de los riesgos ambientales y con las necesidades urgentes para competir a través de la eficiencia. Es una evolución hacia un nuevo

paradigma. De esta forma, se presenta un modelo de sistema para este nuevo paradigma de producción verde. El modelo recoge diferentes actividades de planificación para evolucionar a una más verde y más eco-eficiente fabricación.

Igualmente, presenta diversas herramientas de trabajo y de control para dichas distintas etapas de planificación. Según el autor, este modelo es una respuesta cualitativa integral para la cuestión de cómo diseñar o mejorar los sistemas de fabricación verde, así como una hoja de ruta para futuras investigaciones cuantitativas, que permite evaluar mejor este nuevo paradigma.

El término fabricación verde, según Deif (2011), tiene su razón por reflejar el nuevo paradigma de fabricación que utiliza diversas estrategias verdes (objetivos y principios) y técnicas (tecnologías e innovaciones) con el objetivo de convertirse en más ecoeficientes. Así se incluye la creación de productos y sistemas que consumen menos energía, la sustitución de materiales (no tóxicos, renovables,...), la reducción de emisiones no deseadas y el reciclaje.

La palabra “verde” se utiliza para reflejar la conciencia ambiental amigable, y, cuando se une a fabricación, se utiliza para describir el método de fabricación que es consciente del impacto de su producción/producto sobre el medio ambiente y los recursos, e incluyen tal impacto en la planificación general de la eficiencia y control.

El autor presenta un modelo de sistema para realizar la fabricación verde. Para ello desarrolla una estructura para el diseño, planificación y control de las actividades manufactureras verdes. Dicha estructura se basa en una escala de colores para determinar el nivel en ese momento del sistema de fabricación, respondiendo así a la pregunta ¿cuál es su color? El objetivo es alcanzar, lógicamente, el color verde a través del desarrollo de un plan óptimo de actuación verde (preparar el pincel), su implantación (pintarlo verde) y mantener dichas mejoras (conservarlo verde).

Amores-Salvadó et al. (2014) contrastan en su investigación el efecto de desarrollar estrategias medioambientalmente proactivas con un mejor resultado

empresarial. Analizando el desempeño de distintas empresas del sector del metal en España, proponen que la innovación ambiental del producto y campañas de marketing pueden interactuar y alcanzar resultados positivos, siendo necesario cambiar la orientación de los procesos a los productos. El resultado que alcanzan muestra la importancia de gestionar correctamente la imagen verde de la empresa.

#### 2.5.6 Ecoeficiencia.

En este capítulo se ha hecho ya mención al término ecoeficiencia y cómo es entendido por distintos investigadores (Jansen, 2003; Klang et al., 2003; Sinkin et al., 2008;...). Asimismo, en este apartado se destacan dos métodos de aplicación vinculados a dicho término. Como denominador común, cabe indicar que estas metodologías están orientadas a una mejora del rendimiento empresarial (económico) teniendo en cuenta el posicionamiento ambiental de la empresa, dejándose sin consideración otros aspectos importantes que se han resaltado, como pueden ser la responsabilidad social y la aplicación de políticas públicas de las empresas (Fernández-Viñé et al., 2013).

##### a) Retorno de Coste (RCR).

La propuesta de Hahn et al. (2010) utiliza el indicador de Retorno de Coste (RCR del inglés *Return to Cost Ratio*). Es una alternativa al análisis práctico de ecoeficiencia y se basa en el concepto de la oportunidad de coste. Los autores identifican dos dificultades para que el indicador de ecoeficiencia sea incorporado en las decisiones de las empresas. La primera, que el término ecoeficiencia se expresa como un indicador que es difícil de ser interpretado por gestores que no son expertos en medio ambiente. La segunda, que no son evidentes las razones detrás de una decisión empresarial basada en ecoeficiencia, ya que ésta representa una combinación de mediciones económicas y ambientales.

Según los autores, el RCR ayuda a resolver estas dos problemáticas. Por un lado traduce el término de ecoeficiencia a términos de gestión empresarial, gracias a relacionar conceptos conocidos de oportunidad de coste al análisis de ecoeficiencia. Por el otro lado, RCR permite identificar y cuantificar los motivos que dirigen los cambios basados en ecoeficiencia. En definitiva, se pretende aumentar el grado de aceptación y el número de decisiones empresariales basadas en ecoeficiencia, al separar las oportunidades de coste relacionadas con la ecoeficiencia en tres factores que influyen en las empresas a lo largo del tiempo.

El RCR de una empresa está determinado por tres factores: (a) los ingresos de la compañía, (b) el impacto ambiental de la empresa y (c) la eficiencia de la referencia comparada. Según estos tres factores se pueden distinguir tres efectos separados en un análisis detallado de ecoeficiencia en las empresas.

El factor relacionado a los ingresos de la compañía describe cómo varía la oportunidad de coste basada en ecoeficiencia debido a la variación de los ingresos. El factor de impacto ambiental muestra cuánto se modifica la ecoeficiencia debido a cambios en la efectividad ambiental. El factor de la eficiencia de la referencia representa el cambio en el valor de la oportunidad de coste en función de la variación de la ecoeficiencia respecto a la referencia tomada.

El análisis del efecto de los tres factores combinados se utiliza para identificar y cuantificar los principales impulsores de la tendencia en rendimiento de ecoeficiencia en las empresas. El producto de los tres factores refleja el cambio en el indicador de Retorno de Coste (RCR). Una empresa tiene que mantenerse por lo menos igual que la referencia tomada, para conservar su nivel de RCR. El análisis de los tres efectos ayuda a identificar el punto de partida para el desarrollo de estrategias y de objetivos de ecoeficiencia en las empresas.

En un análisis conjunto de los tres efectos se identifica la fuente principal de una mejora de la ecoeficiencia en las empresas. Si una mejora en ecoeficiencia es debida principalmente a (a) una mayor o más rentable la actividad económica, debido a (b) mejoras en la eficacia ambiental, o (c) sólo al efecto de una tendencia a la baja en el rendimiento de la referencia. Resulta evidente, por lo tanto, que un RCR sin cambios no significa necesariamente que no existan cambios en los impactos económicos de retorno o ambientales. El estudio del efecto puede utilizarse para identificar diferentes estrategias para alcanzar los niveles específicos de ecoeficiencia, evitando el aumento de los impactos ambientales.

El retorno de oportunidad de coste basado en ecoeficiencia proporciona un mayor nivel de comprensión para los responsables de tomar decisiones de negocio, facilitando la interpretación de los resultados. El desglose en los factores de ecoeficiencia explica si la ventaja competitiva de una empresa en términos de ecoeficiencia se basa en su éxito económico, en un mejor desempeño ambiental o en una mala actuación de la referencia. De esta forma, el RCR se convierte en una herramienta útil para desarrollar estrategias de ecoeficiencia y objetivos en las empresas, sin aumentar los impactos ambientales, fomentando la aplicación de estrategias corporativas efectivas hacia la sostenibilidad ambiental.

b) Económicamente más eficiente y limpio.

Ecoeficiencia vincula la eficiencia económica con eficiencia ambiental. El propósito principal del concepto, según Wursthorn et al. (2011), es identificar e implementar actividades para habilitar la producción que es económicamente más eficiente y más limpia. Esta enunciación implica la utilización de parámetros con un alto valor indicativo.

Puesto que tanto el medio ambiente y el desempeño económico de las industrias deben describirse concurrentemente, intensidad del medio ambiente parece ser un buen indicador de ecoeficiencia. La intensidad del medio ambiente se define según Wursthorn et al. (2011) como el impacto

ambiental por unidad de rendimiento económico. En el estudio presentado por los mismos autores, el impacto ambiental de los distintos tipos de industria se deriva de los datos de emisión, de acuerdo al Registro Europeo de Emisión de Contaminación (EPER), y evaluados mediante Ecoindicador-99. El resultado así calculado es una descripción exacta del estado ambiental para los distintos tipos de industria.

Los autores Wursthorn et al. (2011) presentan una propuesta para analizar el desempeño de rendimiento económico ambiental a nivel de sectores desagregados, es decir, a nivel de los distintos tipos de industria. Los datos generados en el impacto ambiental se combinan con los datos estadísticos sobre el desempeño económico. El enfoque presentado se basa en el concepto de intensidad del medio ambiente. Para implementar este indicador, la base de datos tiene que representar el desempeño económico y el impacto ambiental de las actividades económicas según los distintos tipos de industria. Asimismo, la base de datos debe actualizarse regularmente con el fin de investigar el patrón de tiempo de ecoeficiencia. La base de datos seleccionada cumple con estos requisitos.

El indicador intensidad del medio ambiente es el impacto medio ambiental inducido por las actividades económicas según los distintos tipos de industria, comprobada en puntos ecoindicador, y por volumen de ventas de un tipo de industria, determinado en euros.

Los resultados presentados por los autores demuestran que la intensidad del medio ambiente puede servir como un instrumento para el análisis de las estructuras de funcionamiento de una economía medioambiental. Estos indicadores son suficientes para preparar un resumen de la actuación de la economía ambiental de los distintos tipos de industria dentro de una economía. También son significativas para comparar los tipos de industria en general, así como en la cadena de valor, por ejemplo en industrias básicas o dentro de las industrias manufactureras (más lejos). Además, estos indicadores permiten también comparación de los tipos de industria en sectores.

### 2.5.7 Sostenibilidad verde, herramientas y oportunidad de negocio.

Pujari et al. (2003) realizan un estudio en el que intentan integrar el Desarrollo de Nuevos Productos (NPD del inglés *New Product Development*) y filosofías de gestión ambiental, con el fin de desarrollar y probar empíricamente un método teórico para el Desarrollo de Nuevos Productos Medioambientales (ENPD del inglés *Environmental New Product Development*). Contribuyendo de esta forma al debate sobre las posibilidades verde y competitivo, a través de un examen de las relaciones entre las actividades ENPD, el mercado y el ecorendimiento de los nuevos productos ambientales. Los resultados sugieren que existe una sinergia entre los paradigmas de desarrollo de productos convencionales y ambientales.

Los autores indican dos hechos importantes. Por un lado, un aceleramiento en las tasas de cambio en los gustos del consumidor provocando un acortamiento de los ciclos de vida y, por tanto, concediendo una importancia mayor al desarrollo de nuevos productos (NPD) para el éxito empresarial. Por otro lado, el desafío de responder adecuadamente a la preocupación por el medio ambiente condiciona muchos aspectos de las empresas, convirtiéndose en una parte fundamental de la estrategia corporativa.

Posteriormente, Pujari (2006) identifica una carencia en la literatura existente que requiere un estudio empírico para explorar cómo hacer productos más ecológicos y exitosos en el mercado. Asimismo explica en mayor detalle el proceso ENPD, que define como un análisis de ciclo de vida incluyendo nuevas actividades, como el diseño para el medio ambiente y la participación de los proveedores para la sensibilidad ambiental. Utiliza una regresión jerárquica, para buscar los impactos relativos e incrementales de las actividades de innovación ecológica en proyectos ENPD y su desempeño en el mercado. Así, los factores que influyen en el mercado de productos más ecológicos, se encuentran en coordinación inter-funcional entre profesionales del desarrollo de

nuevos productos y especialistas ambientales, teniendo en consideración los proveedores, el enfoque de mercado y el análisis del ciclo de vida.

Bergmiller y McCright (2009) realizan un estudio, entre las fábricas visitadas por el premio Shingo (2003), para relacionar las prácticas “verdes” sostenibles con *lean*. Llegando a dos conclusiones:

1. Entre las fábricas visitadas, las *lean* son más sostenibles que la media.
2. Una mayor investigación en las sinergias de la relación entre *lean* y sistemas sostenibles ofrece un mayor potencial para mejorar la efectividad de ambas.

Yang et al. (2011) exploran las relaciones entre las prácticas de fabricación *lean*, la gestión medioambiental y el rendimiento empresarial. Según sus investigaciones, los resultados sugieren que experiencias de fabricación *lean* están positivamente relacionadas con prácticas de gestión medioambiental. Sin embargo, éstas por si solas tienen una relación negativa con el mercado y el desempeño financiero. El estudio proporciona evidencias empíricas (con un amplio tamaño de muestra) de que las prácticas de gestión medioambiental se convierten en una importante herramienta para resolver los conflictos entre fabricación *lean* y el desempeño ambiental. Así, para la aplicación efectiva de la gestión medioambiental, las empresas necesitan medir el desempeño ambiental, a través del cual se examina el impacto de la gestión medioambiental en otros resultados del rendimiento de negocio.

Los autores destacan una serie de informaciones que se desprenden de los resultados empíricos obtenidos:

- Fabricación *lean* y prácticas de gestión medioambiental son dos planteamientos diferentes y tienen distinta repercusión en los resultados de rendimiento de negocio.

- Desde una perspectiva gerencial, fabricación *lean* y prácticas de gestión medioambiental son sinérgicas en cuanto a su enfoque en la reducción del despilfarro y la ineficiencia. Sin embargo, la fabricación *lean* por sí misma no mejora el desempeño ambiental porque hay un potencial conflicto entre sus principios y los objetivos de desempeño ambiental.
  - El enfoque conjunto de fabricación *lean* y la reducción de residuos con el objetivo de aumentar la eficiencia, debería hacerse extensivo a un enfoque para reducir los residuos ambientales, aumentando la eficiencia ambiental mediante la implementación de acciones de gestión medioambiental, aunque éstas requieren inversiones de recursos adicionales.
  - Por consiguiente, es importante que las empresas implementen la fabricación *lean* y las prácticas de gestión medioambiental de tal forma que puedan disfrutar de las ventajas de ser eco a través de mejoras en el desempeño ambiental. De esta forma, las empresas podrán alcanzar también mejores objetivos de negocio.
- Es fundamental para las empresas entender las consecuencias de las acciones de gestión medioambiental, dado el debate existente entre los objetivos ambientales y económicos.
- Las prácticas de gestión medioambiental tienen un impacto directo negativo en el mercado y en el desempeño financiero. Las mejoras medioambientales afectan positivamente el desempeño financiero y en el mercado.

Gunasekaran y Spalanzani (2012) sostienen que el Desarrollo Empresarial Sostenible (*Sustainable Business Development* - SBD) en fabricación y servicios se ha convertido en un tema crucial en los últimos años, debido a una mayor conciencia global. Se ha puesto en evidencia que el futuro de la tierra está en riesgo, y por lo tanto, también el de las generaciones venideras. Por

este motivo, aseguran que para tener éxito en los negocios resulta imprescindible salvaguardar el medio ambiente, la seguridad y el bienestar de los seres vivos de hoy y prepararse para los aún por venir. Según los autores, la sostenibilidad se centra en proteger los recursos naturales contra la explotación, en nombre de la productividad y la competitividad. La presión en la promoción de prácticas empresariales sostenibles es tanto externa (organizaciones sin ánimo de lucro y políticas públicas) como interna (objetivos estratégicos, visión de la alta dirección, la seguridad del empleado y su bienestar, ahorro de costes, productividad y calidad). Muchas empresas alrededor del mundo ya han incorporado responsabilidades corporativas, económicas, sociales y ambientales en su plan estratégico.

Smith y Ball (2012) también son de la opinión que una sociedad sostenible no puede realizarse sin más enfoques y tecnologías eficientes, y que éstos deben ser proporcionados por la fabricación. Indican que la literatura disponible cubre los principios de la fabricación sostenible, pero que hay poca o ninguna bibliografía para mostrar cómo aplicar estos principios. Directrices de niveles inferiores están obligadas a proporcionar orientación sobre cómo analizar sistemáticamente las instalaciones de fabricación, y así ayudar en la identificación y selección de oportunidades de mejora. Nuevas metodologías deben proporcionar orientación detallada sobre cómo analizar sistemáticamente los procesos de fabricación, y asistencia con la identificación y selección de oportunidades de mejora.

Los autores persiguen en su estudio la elaboración de directrices orientadas a la definición de flujos de procesos de Material, Energía y Residuos (MEW del inglés *Material, Energy and Waste*), apoyando así la búsqueda de una producción sostenible. Su propuesta se basa en la utilización de mapas de flujos de procesos MEW cualitativas en una instalación de caso. A partir de los datos recogidos se construye un modelo de hoja de cálculo alineado a cada uno de los flujos de proceso MEW dentro del sistema. De esta forma se ayuda a la identificación y selección de mejoras en la eficiencia ambiental. Los puntos clave, al realizar este denominado análisis de aprendizaje, generan un conjunto de directrices para el análisis del sistema.

Dües et al. (2013) presentan un trabajo que se centra en la relación entre *lean* y verde. El análisis aplicado de la literatura identifica que *lean* no sólo sirve como un catalizador, sino que también es sinérgica para el verde. Esto significa que *lean* es beneficioso para las prácticas verdes, y la aplicación de las prácticas verdes a su vez también tiene influencia positiva sobre las prácticas comerciales existentes.

Asimismo, los mismo autores Dües et al. (2013) resaltan la dificultad de encontrar investigaciones relacionando los aspectos *lean* y verde. Indican que existe una carencia en la documentación actual que explique cómo integrar metodologías verdes en las prácticas actuales *lean*. Y la demanda existe, ya que se pretende responder a preguntas tipo:

- ¿Cómo prácticas *lean* pueden ser un catalizador para convertir en más ecológica la cadena de suministro?
- ¿Cómo se pueden generar beneficios de manera amigable (verde) con el medio ambiente, sin grandes inversiones en la cadena de suministro?

Kurdve et al. (2014) investigan la integración de la gestión del medioambiente, de la seguridad y de la calidad, en distintos modelos de sistemas de producción. El resultado muestra que a pesar de los pasos realizados desde la introducción de la Norma UNE-EN ISO 14001 (2004) para integrar la gestión medioambiental en las operaciones diarias, todavía existentes obstáculos a superar. Una vía sería asumir las características sostenibles del sistema mejorado, sin embargo la carencia de indicadores de sostenibilidad impide adaptar y mejorar los procesos de funcionamiento en las empresas.

## **2.6 Consideraciones finales a la revisión de la literatura.**

En este capítulo se ha presentado el interés creciente por la eficiencia y por la sostenibilidad desde cuatro aspectos capitales: el medioambiente, la economía,

la sociedad y las políticas públicas, en base a la documentación existente desde el origen de los términos eficiente y sostenible de forma separada, hasta la actualidad de forma conjunta.

La revisión bibliográfica permite contrastar la evolución individual que ha tenido cada uno de estos dos términos, eficiencia y sostenibilidad, así como valorar distintas propuestas, con sus éxitos y fracasos, con sus potenciales y dificultades, al aplicar dichos dos términos en los sistemas productivos de forma separada y complementaria.

Si hay un hecho, reiteradamente destacado por los distintos investigadores, es la carencia de una metodología clara, estructurada y reproducible que permita la implementación de una cultura eficiente y sostenible en la fabricación de productos.

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.**

### **3.1 Introducción a la metodología.**

Las empresas han optado en el siglo XX principalmente bien por un camino hacia la eficiencia (Womack et al., 1991) o bien hacia la sostenibilidad (Keijzers, 2002), tal y como se expone en el apartado 2.2. Sin embargo, la aplicación conjunta a nivel micro de ambos conceptos, eficiencia y sostenibilidad, carece de una metodología clara en la literatura existente, tal y como reconocen diversos autores (Smith y Ball, 2012; Dües et al., 2013; Kurdve et al., 2014).

En esta tesis doctoral se propone y se desarrolla un modelo de mejora basado en la integración de la eficiencia y de la sostenibilidad en el sistema de producción, gracias a la innovación ambiental. Este capítulo explica los pasos que se han seguido para la definición de este modelo, así como para su contraste a través de un caso de estudio.

### **3.2 Evolución e integración de la fabricación eficiente y sostenible.**

El doctorando sigue la sistemática investigación-acción propuesta por Lewin (1946), habiendo sido ésta ya verificada en diferentes estudios, también relacionados con el medio ambiente (Farrely y Tucker, 2014). La investigación-acción se caracteriza porque el investigador, de forma presencial, participa en el desarrollo y en la implementación de los procesos de mejora (McNiff y Whitehead, 2002) en la organización bajo análisis.

Los datos que se presentan en esta tesis doctoral, desde la situación inicial hasta la revisión final, proceden de auditorías realizadas en cada uno de los

puestos de trabajo, así como en la organización de forma general. El doctorando organiza asimismo entrevistas y reuniones, en las que se analiza la información disponible y se deciden los siguientes pasos a realizar.

El modelo de mejora eficiente y sostenible se basa en el análisis conjunto de los factores valorados por el cliente, representados a través de cuatro criterios de evaluación:

- Medio ambiente (sostenibilidad). El análisis medioambiental a través de un indicador permite cuantificar el impacto ambiental, así como relacionar la sostenibilidad con otros términos de evaluación (Klang, 2003; Dangelico y Pontrandolfo, 2010; Yang et al., 2011).
- Desarrollo económico (competitividad). El precio del producto se ajusta en términos de sostenibilidad y eficiencia. La empresa se orienta hacia una posición de privilegio frente a sus rivales en el mercado global del siglo XXI (Gunasekaran y Spalanzani, 2012).
- Responsabilidad social (sociedad). El progreso que se alcanza a nivel personal y laboral de los trabajadores, se refleja en las condiciones de vida de la región, propiciando la aparición de nuevas empresas sociales y la garantía de los recursos para las generaciones venideras (CMMAD, 1988).
- Políticas públicas (normativas). Nuevo criterio de evaluación, que por un lado no aparece en un enfoque más clásico de análisis (Brezet, H. y van Hemel, 1997), y por el otro lado es un motivo de aumento de competitividad empresarial (Porter, 1995a; Del Río et al., 2010).

Estos cuatro criterios se valoran a través de una serie de cuestiones distribuidas en seis campos: necesidad social; suministro de materiales; fabricación; distribución; producción; recuperación y eliminación. Estas preguntas, presentadas en el apartado 4.3, se complementan con el análisis de

valor de cada uno de los puestos de trabajo, con el formulario aportado en el apartado 4.5.4.

Este formulario incluye tres nuevas herramientas, que relacionan el indicador ambiental seleccionado con otros parámetros. Esta tesis doctoral propone el Ecoindicador-99 (Goedkoop y Spriensma, 1999) como referencia de cálculo para cuantificar el impacto ambiental del ciclo de vida del producto. El valor así obtenido se denomina análisis medioambiental (apartado 4.5.1), entendido como la traducción de aspectos a impactos medioambientales en función del indicador seleccionado, siendo en éste caso milipuntos (IHOBE, 2000).

Otros indicadores ambientales pueden también ser una referencia válida, como por ejemplo el calentamiento global o la acidificación, medidos respectivamente como kg CO<sub>2</sub> eq. o g SO<sub>2</sub> eq.

Las tres herramientas originales que se presentan son:

- Análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos – OEEE (apartado 4.5.2). Siendo éste el resultado conjunto de disponibilidad, rendimiento, calidad e innovación ambiental en una unidad funcional. El término de innovación ambiental se refiere al porcentaje de milipuntos actual respecto al total inicial.
- Análisis del ratio medioambiental (apartado 4.5.3). Ecoindicador que relaciona el peso en milipuntos total con el coste en cada una de las etapas del producto.
- Análisis del flujo de valor de innovación ambiental (apartado 4.5.4). Evolución del *Value Stream Costing* propuesto por Baggaley y Maskell (2003), en el que se incluyen los resultados de los parámetros y nuevas herramientas propuestas en esta tesis doctoral (milipuntos, innovación ambiental, OEEE, ratio medioambiental).

La evaluación conjunta de los datos obtenidos en las cuestiones y formularios, indicados previamente, sirven tanto para plantear una meta hacia la que está orientada toda la organización, como para confrontar la situación inicial de la empresa frente a una perspectiva de innovación ambiental. El resultado es un plan de acción orientado a la consecución del objetivo planteado.

### **3.3 Estudio de caso del modelo de mejora eficiente y sostenible.**

El modelo propuesto se aplica a una empresa de conformado de tubos. El doctorando colabora con miembros del equipo directivo de la empresa (Gerente, Responsable de Desarrollo, Responsable de Calidad y Responsable de Compras), y se presentan en esta tesis doctoral una parte de los resultados alcanzados, manteniéndose la confidencialidad acordada.

La innovación ambiental realizada se basa en el tipo de tubo utilizado en el proceso productivo. El material manejado pasa de ser un acero galvanizado DX53D+Z275 a otro denominado DX51D+Z120 (UNE-EN 10346, 2010). Asimismo, se implementan otras medidas, relacionadas con los procesos y con la distribución en planta de las etapas productivas.

El resultado cuantificable de dicha innovación ambiental, de forma resumida, es una reducción del impacto ambiental (menor cantidad de milipuntos por unidad de producto), una mejora social (condiciones laborales más verdes), una mayor competitividad (mayor margen de beneficios a la vez que un menor coste del producto), y una más fácil aplicación de políticas públicas (como por ejemplo, una mejor documentación de la recuperación de residuos).

### **3.4 Consideraciones de la Metodología.**

El modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental, está orientado a

alcanzar una meta definida al principio del proyecto de implantación. La definición de la situación de la empresa se realiza en función de cuatro criterios (medio ambiente; desarrollo económico; responsabilidad social; políticas públicas), y éstos se desglosan a su vez en 6 campos (necesidad social; suministro de materiales; fabricación; distribución; producción; recuperación y eliminación). Esta definición se complementa con un formulario que incluye tres herramientas de análisis medioambiental (análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos – OEEE, ratio medioambiental, flujo de valor de innovación ambiental).

La revisión conjunta de los datos obtenidos de los 6 campos y del formulario permite implantar el modelo propuesto de forma global en la empresa, tanto a nivel organizativo gracias a las cuestiones planteadas, como a nivel práctico en la producción a través del formulario.

Asimismo, el impacto ambiental se puede calcular utilizando distintos programas existentes, de mayor o menor complejidad, ya sean con un enfoque genérico o más específico a sectores económicos. En aras de una mayor comprensión y facilidad de implantación de la metodología que se propone, el doctorando utiliza las tablas propuestas por IHOBE (2000) en relación al Ecoindicador-99, que además no requieren de una licencia de uso.

De acuerdo al caso de estudio presentado, el modelo que se propone está orientado a un tipo de empresa que tenga una fabricación flexible, para una demanda tendiendo a estable en el tiempo, y con una distribución homogénea en el tiempo de los recursos.

## **CAPÍTULO 4. MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE.**

### **4.1 Introducción al modelo de mejora eficiente y sostenible.**

El capítulo comienza con una recopilación del análisis realizado por distintos autores sobre la situación actual de la fabricación eficiente y sostenible en las empresas. El resumen de dichas aportaciones apunta a la necesidad de disponer de una nueva metodología, basada en el producto a través de indicadores aprovechando la sinergia de una fabricación eficiente y sostenible, y responder así a la presión externa e interna existente en las empresas para garantizar el futuro de las generaciones venideras.

A continuación se definen los principios y fundamentos del modelo propuesto en esta tesis doctoral (criterios y campos), para posteriormente desarrollar y explicar las herramientas específicas (análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos – OEEE; ratio medioambiental; flujo de valor medioambiental) que se utilizan, como apoyo a la identificación y utilización de indicadores eficientes y sostenibles.

Finalmente, se expone la metodología a seguir, a través de cada una de sus etapas, haciendo hincapié en cada uno de los aspectos relevantes de cada paso, incluyéndose explicaciones sobre los documentos auxiliares que ayudarán a implantar la metodología propuesta.

### **4.2 Pre-requisitos del modelo de mejora eficiente y sostenible.**

En el segundo capítulo de esta tesis doctoral se han explicado los conceptos de eficiencia y sostenibilidad en un sistema de fabricación, prestando especial atención a su evolución histórica paralela, desde sus orígenes hasta su

aplicación local, revelando sus conceptos, características y definiciones. También se han recogido los estudios realizados por diferentes investigadores relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia en las empresas. A través de dichos trabajos de investigación se identifican las carencias existentes en la literatura actual, pero asimismo, se señalan algunas características que se deben cumplir, para disponer de una metodología que permita a las empresas convertirse en verdes, obteniendo beneficios al mismo tiempo.

A continuación se destacan algunas recomendaciones y/o comentarios que intentan ayudar a hacer realidad esta necesidad en las empresas, como son, por ejemplo:

- Entender el ciclo de vida del producto y su impacto en el medioambiente en cada una de sus etapas de vida (Gungor y Gupta, 1999).
- Concepto de valor añadido verde (Atkinson, 2000) y de sostenibilidad fuerte (Figge y Hahn, 2004).
- Criterios para el desarrollo sostenible de productos y servicios (Maxwel y Vorst, 2003).
- Al relacionar los indicadores de aspectos diferentes entre sí, se obtienen diferentes tipos de indicadores de relación, que facilitan un estudio comparativo de diferentes actividades dentro de un mismo proyecto. Los indicadores de ecoeficiencia se obtienen cuando se relacionan aspectos ambientales con aspectos económicos (Klang, 2003).
- Existe una sinergia entre los paradigmas de desarrollo de productos convencionales y ambientales (Pujari et al. 2003).
- Carencia en la literatura existente que requiere un estudio empírico para explorar cómo hacer productos más ecológicos y exitosos en el mercado (Pujari, 2006).

- La verificación de los métodos en ambientes controlados con simulaciones de Monte Carlo (Kuosmanen y Kuosmanen, 2009).
- Las fábricas *lean* conocidas presentan mayores índices de sostenibilidad que la media, siendo necesaria una mayor investigación en las sinergias de la relación entre *lean* y sistemas sostenibles, para mejorar la efectividad de ambas (Bergmiller y McCright, 2009).
- La evaluación del impacto ambiental de los productos requiere la utilización de herramientas cuantitativas de evaluación del ciclo de vida, así como la valoración de las condiciones de uso del producto, junto a factores externos que puedan afectar a su impacto (Dangelico y Pontrandolfo, 2010).
- La evolución actual de los sistemas de fabricación con la conciencia global de los riesgos ambientales, así como con las necesidades urgentes para competir a través de la eficiencia (Deif, 2011).
- Experiencias de fabricación *lean* están positivamente relacionadas con prácticas de gestión ambiental (Yang et al., 2011).
- Para la aplicación efectiva de la gestión ambiental, las empresas necesitan medir el desempeño ambiental, a través del cual se examina el impacto de la gestión ambiental en otros resultados del rendimiento de negocio (Yang et al., 2011).
- Un prerrequisito para monitorear la ecoeficiencia es la disponibilidad de indicadores adecuados (Wursthon et al. 2011).
- La presión en la promoción de prácticas empresariales sostenibles es tanto externa: organizaciones sin ánimo de lucro, los beneficios y regulaciones gubernamentales; como interna: objetivos estratégicos, visión de la alta dirección, la seguridad y el bienestar del empleado,

ahorro de costes, productividad y calidad (Gunasekaran y Spalanzani, 2012).

- La literatura disponible cubre los principios de la fabricación sostenible, pero hay poca bibliografía para mostrar cómo aplicar estos principios (Smith y Ball, 2012).
- *Lean* es beneficioso para las prácticas verdes y la aplicación de las prácticas verdes a su vez también tiene influencia positiva sobre las prácticas comerciales existentes (Dües et al., 2013).
- Carencia en la documentación actual que explique cómo integrar metodologías verdes en las prácticas actuales *lean* (Dües et al., 2013).
- Hay una carencia en la literatura existente sobre cómo aplicar los principios de la fabricación sostenible (Kurdve et al., 2014).
- Los consumidores y las empresas están motivados en la búsqueda de alternativas, tanto para mitigar la presión de los requisitos medioambientales que resultan del continuo crecimiento económico y poblacional, como para sobrevivir en un escenario competitivo donde la innovación se presenta necesaria en la mayoría de los mercados (de Medeiros et al., 2014).

Las aportaciones de estos estudios se resumen en los cuatro puntos siguientes:

1. Existe una sinergia entre los paradigmas del desarrollo de productos convencional y medioambiental, así como entre verde (sostenible) y *lean* (eficiente).
2. El reto de responder adecuadamente a los efectos medioambientales afecta a distintos áreas en las empresas, siendo un aspecto importante de la estrategia corporativa. Las empresas necesitan medir su

rendimiento medioambiental con indicadores de la gestión del impacto ambiental frente a otros resultados empresariales.

3. La literatura existente dispone de escasos estudios empíricos para explotar la realización de productos más verdes y exitosos en el mercado. A pesar de que los principios de la fabricación sostenible están cubiertos, la documentación sobre cómo aplicarlos es reducida. Nuevas técnicas deben proveer de una detallada metodología sobre cómo analizar sistemáticamente los procesos de fabricación, y ayudar en la identificación y selección de las oportunidades de mejora, basadas en la eficiencia y en la sostenibilidad conjuntamente.
4. El futuro de la tierra está en peligro, y por tanto también el futuro de las generaciones venideras. La sostenibilidad está centrada en la protección de recursos naturales, orientada hacia la productividad y la competitividad. La presión en la promoción de prácticas sostenibles en las empresas es tanto externo como interna: medio ambiente, responsabilidad social, desarrollo económico y políticas públicas.

Es evidente que la nueva metodología de esta tesis doctoral tiene como condicionante dar respuesta a estos cuatro puntos indicados. A continuación una breve reflexión de cómo se integran estos comentarios en el modelo propuesto.

La aplicación de ambos conceptos eficiente y sostenible tiene el mismo objetivo final, aumentar los beneficios de la empresa en un contexto mundial en el que se hace cada día más y más difícil destacar frente a la competencia. Las dos nociones priorizan el producto frente a otros aspectos, y desde el producto se promueven una serie de acciones que en algunos casos se complementan, y en otros no. El producto se destaca como el elemento que promueve los cambios en la fábrica, por encima de otros elementos privilegiados en los sistemas tradicionales, como podían ser la gestión/logística y la calidad.

La fabricación sostenible en un sistema de producción incluye nuevos factores a considerar en el diseño del producto, que van a tener relevancia durante todo el ciclo de vida de éste, como pueden ser el volumen de producción o el rendimiento de la fábrica. Los impactos ambientales en los procesos de producción sostenible no suenan distantes a los diferentes tipos de muda de la producción *lean* (pérdidas en los procesos, defectos,...). Ambos conceptos, desde puntos de partida diferentes, persiguen generar menos chatarra y la utilización justa de materiales y recursos.

Parece evidente, por tanto, que los dos términos, producción sostenible y producción eficiente, se apoyan entre sí. Sin embargo, la producción eficiente propone un cambio completo en el sistema de fabricación. No se conforma con establecer una serie de medidas aisladas e implementarlas para mejorar la gestión medioambiental en una empresa, sino que persigue un salto cualitativo mayor en el conjunto de las actividades operacionales de la empresa.

La fabricación eficiente pone en duda el mismo sistema de producción. Se cuestiona que se puedan alcanzar los retos que plantea una economía globalizada en el siglo XXI, si se mantiene el sistema de fabricación tradicional. Es por este motivo que promueve un cambio radical, basado en revoluciones en la forma de pensar, para poder adaptarse a las nuevas circunstancias del siglo XXI.

Se comprueba, con los documentos indicados en la bibliografía, que es en momentos de crisis cuando existe una mayor disponibilidad para este cambio eficiente. El origen del Sistema de Producción Toyota se gesta en el período que transcurre tras la segunda guerra mundial, en un Japón que se encuentra muy debilitado en todos los aspectos: sociales, económicos, materiales, industria,...

El mejor momento para adoptar estos conceptos y aplicarlos a los sistemas de fabricación es cuando la empresa debe reaccionar ante una situación de futuro que no sea halagüeña, debilitando la posición de fuerza de los sistemas tradicionales ya implantados. Por otro lado, estas mismas circunstancias van a

hacer que la obtención de beneficios también sea apremiante, y que no se tenga la suficiente paciencia para completar la implantación de ninguno de estos dos conceptos (eficiente y sostenible) ante la falta de resultados rápidos. Ambos sistemas necesitan tiempo para establecerse sólidamente en las empresas y poder así estandarizarse a lo largo de toda la estructura organizativa.

Asimismo, la creación de equipos de trabajo interdepartamentales es la vía que se debe utilizar, para que estos pensamientos puedan progresar dentro de la empresa. Equipos que tengan responsabilidad a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Este aspecto también choca con el tipo de organizaciones tradicionales, con estructuras separadas por departamentos, con objetivos, procedimientos y procesos propios.

Teniendo en cuenta lo exigente y profundo que son los cambios que se deben producir en la empresa, resulta fundamental la participación activa de la gerencia, para que estos pensamientos de eficiencia y sostenibilidad se puedan estandarizar en la organización completa de la empresa. Durante el proceso de implantación, las reuniones entre la gerencia y el equipo de trabajo deben ser frecuentes. Las reuniones entre la gerencia y el conjunto de trabajadores también deben tener lugar, para hacer partícipes de los éxitos al conjunto de la empresa, reconociendo así la importancia de todos los trabajadores en las labores desempeñadas.

Otro punto que no se puede olvidar es la participación de consultores externos, que sean expertos en la aplicación de las metodologías explicadas en esta tesis doctoral. Es importante poder disponer del consejo de personas que ya han realizado estos cambios en otras empresas previamente, y que son capaces de responder a todas las dudas que puedan surgir, desarrollando además un vínculo entre la gerencia y el equipo específico de trabajo. Este papel, que a veces no se tiene en cuenta, puede resultar determinante para una implantación exitosa de un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

Desde la definición del desarrollo sostenible a finales de los 80, pasando por los aspectos que se recogen en la humanización de la vida en el trabajo, relacionados con el mundo *lean* a principio de la década de los 90, y llegando a nuestros días, se identifica claramente la necesidad de compaginar sostenibilidad y eficiencia en las empresas, como vía de garantizar el porvenir de las generaciones futuras y los beneficios presentes de las empresas.

### **4.3 El modelo de mejora eficiente y sostenible.**

Esta tesis doctoral propone una nueva metodología denominada modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

El desafío de este nuevo modelo consiste en combinar la competitividad de una empresa con el desarrollo económico de la región, con la sostenibilidad ambiental y social, y con las políticas públicas existentes. Para lograr este objetivo, la existencia de una regulación exigente desde el punto de vista del medio ambiente puede ser el origen de la innovación y de ventajas competitivas para una empresa (Porter y Linde, 1995a). Cada uno de estos términos, sostenibilidad y eficiencia, evidentemente tiene un efecto de refuerzo en el otro.

Este estudio desarrolla una metodología que se basa en destacar los aspectos comunes de dos enfoques, basados cada uno de ellos en la sostenibilidad y en la eficiencia respectivamente, y muestra cómo una empresa puede alcanzar mayores beneficios mediante el empleo de esta interrelación en lugar de un enfoque individual (Shah y Ward, 2003, 2007). Para lograrlo, se identifican las sinergias entre un enfoque de fabricación sostenible y otro eficiente, y el resultado es el modelo propuesto. La innovación consiste en la nueva definición de los criterios desarrollados para definir el análisis del valor, lo que verdaderamente es apreciado por el cliente. Ahora, el valor final del producto depende de cuatro criterios: el medio ambiente, el desarrollo económico, la responsabilidad social y las políticas públicas.

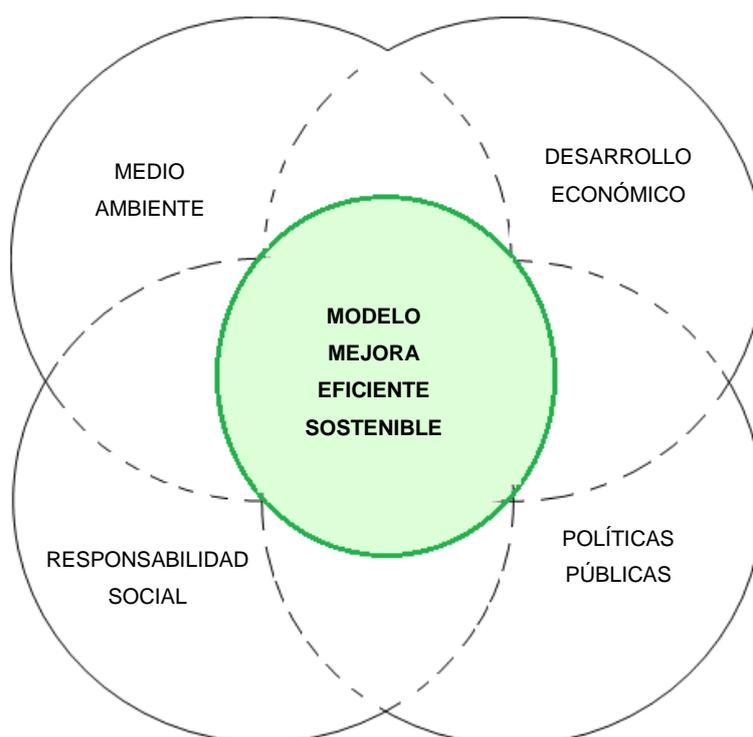


Figura 4.1: Identificación criterios modelo de mejora eficiente y sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta metodología utiliza una aplicación basada en el Ecoindicador-99 (Goedkoop y Spriensma, 1999), y así cuantifica las mejoras sostenibles de un sistema de producción ajustada (reducción de la incertidumbre). Posteriormente, ayudándose de los resultados de dicha aplicación, explica cómo utilizar la información obtenida para implementar un proceso estandarizado, que conducirá a un nuevo modelo de mejoras eficientes y sostenibles en un sistema de producción ajustada a través de procesos de innovación ambiental.

Unos primeros pasos ayudan a definir la visión de futuro de la empresa. Esta visión se entiende como la posición que quiere alcanzar en el mercado dicha empresa, en término de los cuatro criterios anteriormente identificados: la sostenibilidad (medio ambiente), la competitividad (desarrollo económico), la responsabilidad social (sociedad) y las normativas (políticas públicas).

El proceso de transformación es posible porque se señalan y se cuantifican las mejoras en el impacto ambiental (sostenibilidad) y en la productividad (eficiencia). Partiendo de unos valores iniciales, marcando unos valores objetivos y revisando los valores finales obtenidos.

Finalmente, el estudio de caso demuestra que este enfoque puede ser fácilmente adaptado a la mayoría de las empresas orientadas a la producción.

Otro punto interesante que se desprende de este estudio, es que la innovación ambiental es un buen aliado para conseguir alcanzar los objetivos de eficiencia y de sostenibilidad, ya que va a ser el motor para alcanzar los valores objetivos marcados.

Para ayudar a cuantificar la mejora realizada en los cuatro criterios identificados, el modelo propuesto se apoya en seis campos. Dichos campos son, de acuerdo al análisis completo del ciclo de vida propuesto por Brezet y Hemel (1997):

1. Necesidad de análisis: ¿Cómo el producto actual cumple las necesidades sociales?
2. Producción y suministro de materiales y componentes: ¿Qué problemas pueden surgir en la producción y suministro de materiales y componentes?
3. Fabricación en la empresa: ¿Qué problemas surgen durante el proceso de fabricación en la empresa?
4. Distribución: ¿Qué problemas surgen en la distribución del producto al cliente?
5. Utilización: ¿Qué problemas surgen durante el uso, funcionamiento, servicio y reparación del producto?

## 6. Recuperación/eliminación: ¿Qué problemas pueden surgir en la recuperación y eliminación del producto?

Gracias a estos campos, se pueden cubrir las distintas cualidades que asignan valor al producto, valor reconocido por el cliente/consumidor porque están orientados a los cuatro parámetros de control previamente marcados como capitales. Para ayudar a la cuantificación de estos campos, se utiliza una plantilla en la que se desglosan una serie de preguntas que ayudan a analizar la situación de la empresa en un momento determinado, y se relacionan cada una de estas preguntas a un primer y segundo nivel con dos de los cuatro criterios indicados. En la plantilla de trabajo se incluyen ejemplos que representan cada una de las posibles puntuaciones a cada una de las preguntas, para facilitar la comprensión y respuesta. Siendo el mejor valor 0 y el peor valor 3. Al criterio relacionado a primer nivel le afecta este valor completo, y al criterio situado a segundo nivel sólo la mitad. Esta forma de calcular a través de la plantilla permite caracterizar, de una forma clara y sencilla, la situación de la empresa en cada una de las etapas del ciclo de vida del producto, así como su integración en el modelo propuesto a través de los cuatro criterios marcados.

El objetivo es poder medir la situación inicial de la empresa, y contrastarla así a posteriori con el objetivo planteado y con las mejoras realizadas, a través del mismo fichero de trabajo, comparando las respuestas antes y después. Nuevas preguntas se pueden incluir en la plantilla, si ayudan a representar mejor la situación de la empresa y a alcanzar el objetivo planteado.

| CAMPO                           | CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA   |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|--|
| <b>1. NECESIDADES SOCIALES</b>  | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?   |
|                                 | SOCIAL               | ECONÓMICO          | ¿El producto cumple estas funciones efectiva y eficientemente?   |
|                                 | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué necesidad del usuario satisface el producto actualmente?  |
|                                 | SOCIAL               | ECONÓMICO          | ¿Pueden ser las funciones del producto aumentadas y/o optimizadas para cumplir mejor la necesidad del usuario? |
|                                 | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cambiará esta necesidad del usuario en un plazo de tiempo?  |
|                                 | SOCIAL               | ECONÓMICO          | ¿Se puede anticipar el producto a este cambio con una innovación del mismo?                                    |
|                                 | <b>TOTAL CAMPO 1</b> |                    |  |
| <b>2. SUMINISTRO MATERIALES</b> | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de plásticos se usan?   |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de aditivos son usados?   |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de metales se utilizan?   |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de otros materiales (cristales, cerámicos,...) son usados?                                |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de tratamientos superficiales se usan?  |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es el perfil ambiental de los componentes?   |
|                                 | MEDIOAMBIENTE        | ECONÓMICO          | ¿Qué cantidad de energía es necesaria para transportar los componentes y materiales?                           |
|                                 | <b>TOTAL CAMPO 2</b> |                    |  |

Figura 4.2: Campos 1 y 2 del modelo de fabricación eficiente y sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO                  | CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA  |
|------------------------|----------------------|--------------------|---|
| <b>3. FABRICACIÓN</b>  | ECONÓMICO            | SOCIAL             | ¿Qué cantidad y tipo de procesos de fabricación existen?      |
|                        | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de materiales auxiliares son necesarios? |
|                        | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuál es el consumo de energía?                               |
|                        | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuánta chatarra se genera?                                   |
|                        | ECONÓMICO            | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuántos productos no alcanzan las normas de calidad?         |
|                        | <b>TOTAL CAMPO 3</b> |                    |   |
| <b>4. DISTRIBUCIÓN</b> | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué tipo de embalajes son utilizados?                        |
|                        | MEDIOAMBIENTE        | ECONÓMICO          | ¿Qué medios de transporte son usados?                         |
|                        | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Está eficientemente organizado el transporte?                |
|                        | <b>TOTAL CAMPO 4</b> |                    |   |

Figura 4.3: Campos 3 y 4 del modelo de fabricación eficiente y sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO                                | CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA   |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------|--|
| <b>5. UTILIZACIÓN</b>                | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de energía es necesaria?                                    |
|                                      | ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de consumibles son necesarios?                              |
|                                      | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es la expectativa técnica de vida?   |
|                                      | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad de reparaciones y tipo de mantenimiento son necesarios?            |
|                                      | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Puede ser el producto desmontable por una persona que no lo conozca?            |
|                                      | SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Suele requerir el producto la sustitución de piezas separables?                 |
|                                      | ECONÓMICO            | SOCIAL             | ¿Cuál es la esperanza de vida estética del producto?                             |
|                                      | <b>TOTAL CAMPO 5</b> |                    |  |
| <b>6. RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN</b> | POLÍTICAS PÚBLICAS   | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cómo es el producto actualmente eliminado?                                      |
|                                      | POLÍTICAS PÚBLICAS   | MEDIOAMBIENTE      | ¿Están siendo reutilizados componentes o materiales?                             |
|                                      | SOCIAL               | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué componentes pueden ser reutilizados/reciclables?                            |
|                                      | POLÍTICAS PÚBLICAS   | SOCIAL             | ¿Pueden ser los componentes desmontables sin peligro?                            |
|                                      | POLÍTICAS PÚBLICAS   | SOCIAL             | ¿Son los materiales identificables?  |
|                                      | ECONÓMICO            | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Pueden ser rápidamente separados?   |
|                                      | POLÍTICAS PÚBLICAS   | SOCIAL             | ¿Existe algún componente peligroso fácilmente separable?                         |
|                                      | POLÍTICAS PÚBLICAS   | MEDIOAMBIENTE      | ¿Existe algún problema cuando se incineran partes del producto no reutilizables? |
|                                      | <b>TOTAL CAMPO 6</b> |                    |  |

Figura 4.4: Campos 5 y 6 del modelo de fabricación eficiente y sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente Figura 4.5 muestra cómo los dos caminos de fabricación identificados anteriormente, ajustado y mejora ambiental, se complementan para alcanzar una fabricación flexible ante una demanda estable en el tiempo, con una distribución homogénea de recursos.

Este modelo propone cuatro parámetros de control, denominados criterios, e identificados como sostenibilidad, competitividad, responsabilidad social y normativas. Estos criterios se miden a través de seis campos: necesidades sociales, suministro material, fabricación, distribución, utilización, recuperación/eliminación. El resultado final alcanzado permite medir el valor del producto, que será así reconocido por el cliente/consumidor.

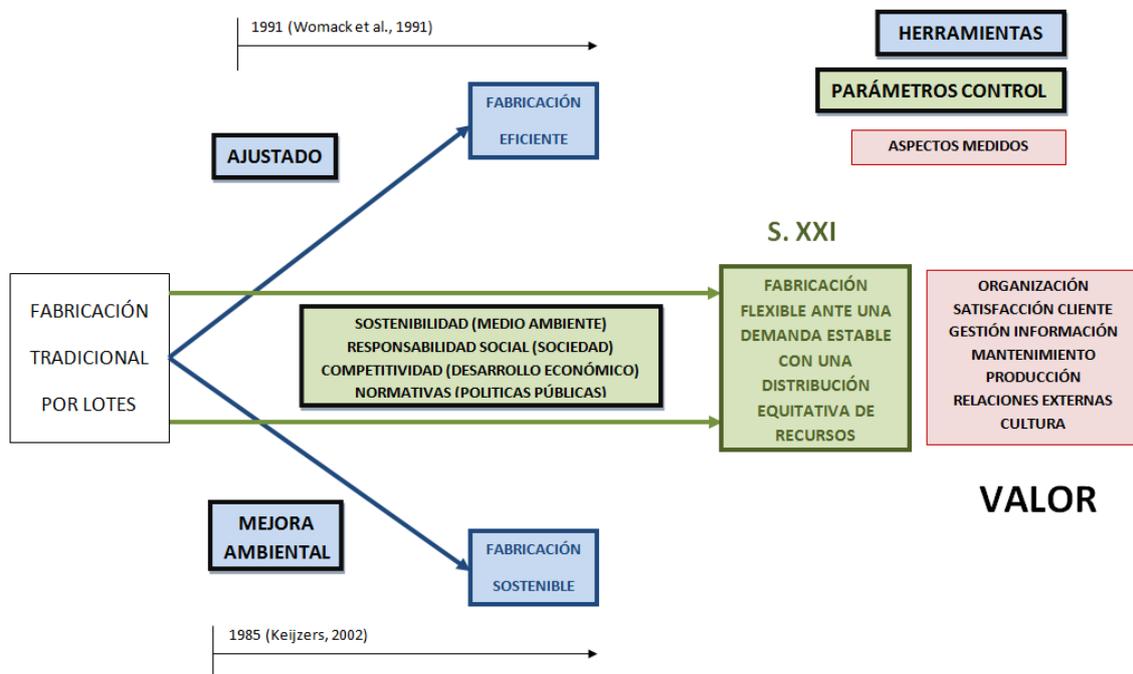


Figura 4.5: Evolución a un sistema de fabricación eficiente y sostenible.  
Fuente: Elaboración propia.

El modelo de mejora eficiente y sostenible, de acuerdo al gráfico anterior, se basa en una complementación de las herramientas orientadas a una producción ajustada y a una producción con mejoras ambientales, gracias a un primer nivel de parámetros de control (cuatro criterios) y a un segundo nivel de campos (seis). El grado de implementación de la nueva metodología propuesta se analiza continuamente valorando estos campos, ya que simplifican la

comprensión y aplicación de los cuatro parámetros de control (criterios) a todos los niveles dentro de la empresa.

#### 4.4 Fundamentos del modelo de mejora eficiente y sostenible.

Sucesivos ciclos de consolidación del modelo propuesto se realizan para la implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

Para un correcto desarrollo del proyecto es importante definir el equipo de personas que van a participar, asignando claras responsabilidades y funciones a cada uno.

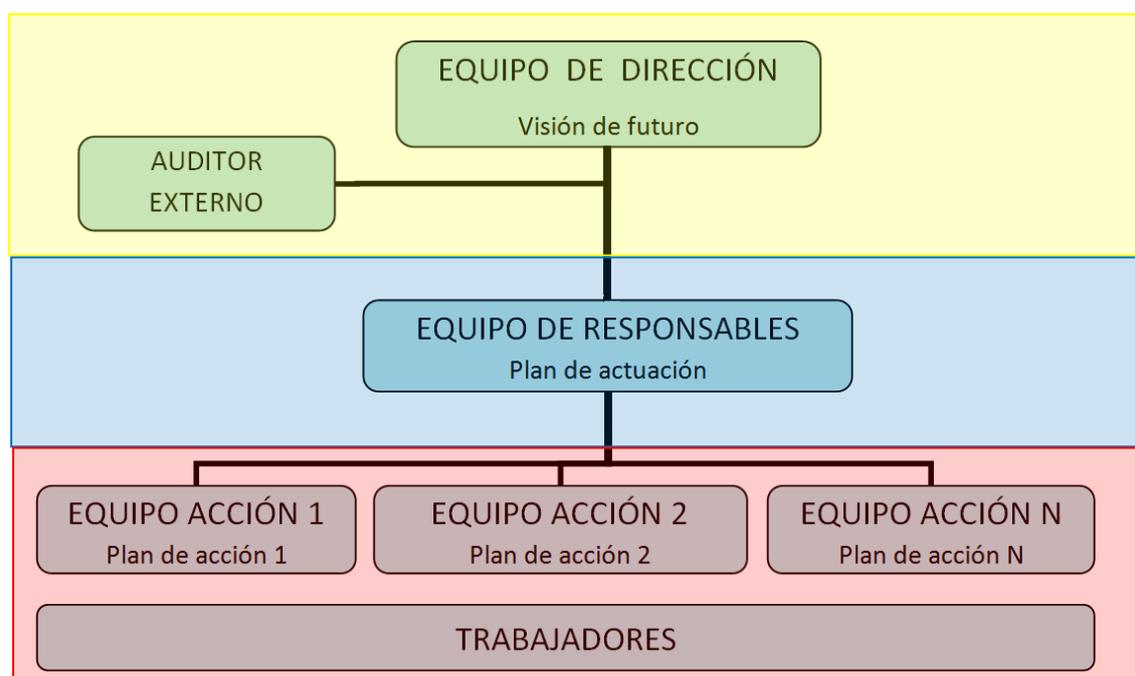


Figura 4.6: Esquema estructura equipo.  
Fuente: Elaboración propia.

Se distinguen tres niveles jerárquicos. El primer nivel, marcado con fondo amarillo, está formado por el equipo directivo junto con un auditor externo.

Los otros niveles se concretarán durante el desarrollo del proyecto, estando marcado en fondo azul el segundo nivel formado por el equipo de

responsables, y en fondo rojo el tercer nivel formado por los equipos de acción y el conjunto de los trabajadores.

Otro dato interesante que se debe tener en cuenta es el soporte de personas externas a la organización que puedan guiar a la empresa durante todo el proceso de cambio. En determinados momentos también pueden ejercer como jueces neutrales y desbloquear posibles enfrentamientos entre distintas partes internas de la organización. Asimismo, aportarán una experiencia en la metodología de la que, normalmente, se carece dentro de la empresa.

Tal y como ya se ha indicado previamente, la situación en la que se encuentre la empresa es clave para iniciar el proceso de cambio y hacer frente a las posibles oposiciones que puedan surgir. Una situación de crisis fuerza a las empresas a adoptar cambios profundos que garanticen su competitividad y supervivencia. Adicionalmente, los valores reflejados en la responsabilidad social y la sostenibilidad ambiental deberán ser respetados por las empresas que quieran seguir operando. La gerencia empresarial debe interiorizar estos cambios y difundirlos por el conjunto de la organización, de manera que pasen a formar parte de la cultura de la empresa.

El mensaje desde la gerencia debe ser claro y firme, para motivar e inculcar el nuevo sistema de producción *lean* entre los trabajadores. La información debe fluir dentro de la empresa para que toda la estructura conozca los cambios que se están realizando y que se sientan así partícipes del mismo. Es fundamental la implicación y la creencia de todo el equipo humano en el nuevo sistema, porque si no, el éxito no se alcanzará.

El punto de partida es la toma de decisión de iniciar el proceso de transformación a una fabricación eficiente y sostenible, por parte del equipo directivo.

El equipo de responsables debe ser operativo, por lo que se cumplen los siguientes requisitos: reducido, organizado, con capacidad de decisión (independiente) y multidisciplinar. Es recomendable que participen personas de

los departamentos de compras (detectan la existencia de materiales y tecnologías alternativas), calidad (conocen la normativa aplicable), medio ambiente (asesoran sobre las distintas posibilidades realizables), marketing (detectan la demanda), producción (expertos en procesos de fabricación), desarrollo (especialistas en el producto) y recursos humanos (analizan la motivación de los empleados). Todos ellos, desde sus respectivas áreas, pueden aportar puntos de vista necesarios para el correcto desenlace del proyecto. En función del tipo de empresa, otros departamentos, que también puedan aportar valor al proceso de cambio, deben ser considerados como posibles participantes.

Una vez más, la motivación es un requisito importante para formar el equipo de responsables, ya que estas personas van a transmitir su ilusión al resto de los trabajadores. Para conseguir una mejor comprensión de los principios que se quieren implantar, este equipo también recibe una formación específica en las nuevas herramientas y conceptos de eficiencia y sostenibilidad, y trabajan conjuntamente para alcanzar la visión objetivo.

Esta formación puede consistir en presentaciones, manuales generales y específicos, talleres, foros,... Una vez más, la participación de agentes externos, expertos en las distintas materias que abarca el nuevo modelo sostenible y eficiente, puede ser conveniente.

La estructura de la empresa deja de funcionar como pequeños islotes departamentales, que buscan maximizar sus propios resultados, y se activa una relación entre departamentos, facilitándose la comunicación y cooperación inter-funcional. Los miembros del equipo de responsables se convierten así en verdaderos directores de sus proyectos, ya que tienen autoridad sobre todos los miembros de sus respectivos equipos de proyecto, independientemente del departamento del que proceda cada persona.

Esta colaboración no difiere en gran medida de las formas de trabajo para la realización de proyectos, aunque sí cabe destacar que el sentido con que se aplica es específico del modelo propuesto, ya que es un equipo de trabajo

multifuncional motivado para implantar una forma estandarizada de trabajo eficiente y sostenible, ayudándose de herramientas nuevas específicas para esta tarea, basadas en la innovación ambiental. Asimismo, toda la estructura de la empresa cuenta con un sistema común de actuación: procesos y procedimientos, que también están basados en los conceptos de eficiencia y sostenibilidad.

| ETAPA  | ESTRATEGIA DE MEJORA                   | TIPOS DE MEDIDA ASOCIADAS  | COMENTARIOS  |
|--|--|--|--|
| <b>OBTENCIÓN Y CONSUMO DE MATERIALES Y COMPONENTES</b> | Seleccionar materiales de bajo impacto | Materiales:<br>- Reciclados<br>- Reciclables<br>- Renovables   | Mantener o mejorar las prestaciones reduciendo el impacto ambiental.                           |
|  | Reducir el uso de material             | Reducir:<br>- Peso<br>- Volumen  | Obtener una reducción de costes indirectamente.  |
| <b>PRODUCCIÓN EN FÁBRICA</b>                           | Producir eficientemente                | - Métodos alternativos<br>- Menos etapas de fabricación<br>- Menor consumo de energía<br>- Consumibles más limpios | Producir limpiamente mejorando las técnicas utilizadas.  |
| <b>DISTRIBUCIÓN</b>                                    | Transportar eficientemente             | Envases:<br>- Limpios<br>- Reutilizables<br>Medios de transporte   | Mejorar el transporte, embalaje y logística de los productos.                                  |
| <b>UTILIZACIÓN</b>                                     | Usar eficientemente                    | - Energías limpias<br>- Reducir consumibles  | Optimizar el diseño del producto para su funcionamiento, mantenimiento, limpieza y reparación. |
| <b>ELIMINACIÓN FINAL</b>                               | Mejorar el ciclo de vida               | - Fiabilidad<br>- Durabilidad  | Prolongar e igualar los ciclos de vida técnico y estético del producto.                        |
|  | Optimizar el fin del vida              | - Reutilización<br>- Reciclado<br>- Incineración   | Reutilizar los componentes aprovechables y asegurar la gestión de los residuos del producto.   |
| <b>NUEVAS IDEAS</b>                                    | Revisar la funcionalidad               | - Integrar funciones<br>- Compartir producto<br>- Añadir Prestaciones  | Satisfacer nuevas necesidades de los usuarios  |

Tabla 4.1: Estrategias y medidas asociadas para mejorar en el diseño del producto.  
Fuente: Elaboración propia en base a IHOBE (2000).

El objetivo de los equipos de acción es cazar los desperdicios generados por el producto durante todo su ciclo de vida, con la idea clara de que el producto sea eficiente y sostenible.

Eficiente (ajustado) porque se reducen los mudas buscando el beneficio económico:

- Cero pérdidas de sobreproducción.
- Cero pérdidas de tiempo.
- Cero pérdidas de transporte.
- Cero pérdidas de procesos.
- Cero pérdidas de inventarios.
- Cero pérdidas de movimiento.
- Cero pérdidas de productos defectuosos

Sostenible (mejora ambiental) porque se contabiliza la responsabilidad social, políticas públicas y el medio ambiente:

- Cero impactos ambientales.
- Cero insatisfacciones de clientes.
- Cero exclusiones sociales.
- Cero irresponsabilidades legales (obligatorias y/o voluntarias).

Muchos de los métodos y herramientas que hacen posible alcanzar estos principios nos son nuevos, tal y como ya se ha visto, pero la implantación en armonía (cómo y cuándo) de todos y cada uno de ellos, en función del tipo de empresa, hace posible establecer la estructura de la empresa hacia un modelo de mejora eficiente sostenible en un sistema de producción ajustado.

Asimismo, las herramientas específicas de esta metodología (explicadas en el apartado siguiente) ayudan a que esta armonía se alcance de forma fluida. Esta implantación conjunta de métodos y herramientas no es una simple sucesión de etapas administrativas, sino que requiere también un cambio en la mentalidad de la organización para poder asimilarla, a la vez que convence a los escépticos. La clave es implantar sólo procesos que sean estables (seguros) y estándar (buenas prácticas).

## 4.5 Herramientas del modelo de mejora eficiente y sostenible.

Las principales herramientas que se utilizan en este nuevo modelo propuesto proceden del Sistema Productivo Toyota (Jayaram, 2010), de la metodología 6 sigma (Kwak y Anbari, 2006) y de aplicaciones informáticas que ayudan a identificar y calcular de forma más intuitiva los parámetros de control, en base a ecoindicadores.

Los siguientes apartados desarrollan otros instrumentos específicos que van a ayudar a la hora de identificar y cuantificar las mejoras y los objetivos alcanzados, en el modelo de mejora propuesto.

### 4.5.1 Análisis del valor medioambiental. Milipunto.

Existe una amplia documentación relacionada con diferentes métodos que se pueden utilizar para calcular el impacto ambiental, ya que es necesario realizar una “traducción” de aspectos a impactos ambientales (Noteboom, 2007). Ejemplos de aplicaciones informáticas con sus pros y contras son evaluadas por Hertin et al. (2009), como por ejemplo Ecotax (Finnveden et al., 2006), Ecovalue08 (Ahlroth y Finnveden, 2011) y el Ecoindicator-99 (Goedkoop y Spriensma, 1999).

Un ejemplo es el manual de PRé Consultants (Goedkoop et al., 2010), donde se identifican, clasifican y explican de forma resumida distintas metodologías disponibles:

1. Europa:
  - a. CML 2001
  - b. Ecoindicator-99
  - c. Ecological scarcity 2006
  - d. EDIP 2003
  - e. EPD (2008)
  - f. EPS 2000 Impact 2002+

g. ReCiPe (Goedkoop et al., 2009)

2. Norteamérica:

- a. BEES
- b. TRACI 2

3. Uso específico:

- a. *Cumulative Energy Demand*
- b. *Cumulative Exergy Demand*
- c. Ecological Footprint
- d. Ecosystem Damage Potential
- e. Greenhouse Gas Protocol
- f. IPCC 2007
- g. Selected LCI results
- h. USEtox

4. Otros:

- a. CML 1992
- b. Ecoindicator-95
- c. Ecopoints 97
- d. EDIP/UMIP 97
- e. IPCC 2001 GWP

La estructura básica que se utiliza para el cálculo del impacto ambiental se basa en cuatro puntos, aunque los tres últimos no son siempre disponibles para cada metodología (Goedkoop et al., 2010):

1. Caracterización. A través de este parámetro se contabiliza la contribución relativa de cada sustancia para cada tipo de impacto.
2. Evaluación de daño. El objetivo de esta etapa es combinar el resultado de distintos indicadores de impacto ambiental medidos con la misma unidad, creando distintas categorías de daño. Goedkoop et al. (2010) hacen una referencia al cálculo de impacto ambiental realizado con

Ecoindicador-99, donde todos los impactos ambientales que están relacionados con la salud humana se expresan en DALYs (*Disability Adjusted Life Years*, o lo que es lo mismo: años de vida ajustada de discapacidad). Con una evaluación de daños, se podrían unificar los DALY causados por sustancias cancerígenas como por el cambio climático.

3. Normalización. Es posible utilizar un valor de referencia para cada categoría de impacto ambiental. Es decir, dividiendo cualquier valor obtenido por el de referencia, se equiparan todos los resultados obtenidos para cada categoría y resulta más fácil su comparación y comprensión. Goedkoop et al. (2010) proponen distintos valores de referencia, destacándose, por su uso común aceptado, la carga media anual de impacto ambiental en un país o continente dividido por el número total de habitantes.
4. Peso. Este punto permite la comparación entre categorías de evaluación de daños o de impactos, con distintas unidades de medida, y de esta forma permitir obtener un valor total.

Goedkoop et al. (2010) aprovechan su estudio de investigación para agrupar estos conceptos en una aplicación informática, que sirve para calcular resultados de impacto ambiental. Esta aplicación (Tool Simapro 7, 2015) es una referencia para el cálculo de impactos ambientales, estando así identificado por el Instituto de Medio Ambiente y Sostenibilidad (IES, *The Institute for Environment and Sustainability*), que es uno de los siete institutos del Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea (JRC, *the European Commission's Joint Research Centre*).

Para facilitar el cálculo del impacto ambiental dentro del modelo de mejora eficiente y sostenible, en esta tesis doctoral se propone la utilización del Ecoindicador-99, como un método de cálculo válido a nivel europeo.

El Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) permite a través de un ponderación (peso) calcular un solo valor para el impacto ambiental total, denominándose este valor milipunto.

La forma tradicional de contabilizar los impactos ambientales, según Goedkoop et al. (2010), es a través de distintas categorías como por ejemplo acidificación, destrucción de la capa de ozono, consumo de recursos, toxicidad,... En este caso, el Ecoindicador-99 está orientado a calcular los diferentes tipos de daños que son causados por las diferentes categorías de impacto ambiental, definiéndose tres campos de daños:

- Daños a la salud humana, expresado como el número de años de vida perdidos y el número de años discapacitados (DALYs).
- Daños a la calidad del ecosistema, expresado como el número de especies perdidas en una determinada región, durante un determinado período de tiempo.
- Daños a los recursos, expresado como la necesidad de energía extra necesaria para la extracción futura de minerales y combustibles fósiles.

Para poder ponderar estas tres categorías de daños, se desarrolla un específico complejo modelo de combinación de daños (Goedkoop et al., 1999).

En relación a la caracterización de las sustancias, el cálculo a nivel de evaluación de daños incluye un análisis de exposición y efectos, teniéndose en cuenta las tres categorías previamente indicadas para cada tipo de daño:

1. Salud humana:

- a) Efectos cancerígenos debido a la emisión de sustancias cancerígenas en el aire, agua y tierra, expresado en unidades DALY / kg de emisión.

- b) Efectos en la respiración debido a nubes tóxicas, como consecuencia de emisiones de partículas orgánicas en el aire, expresado en unidades DALY / kg de emisión.
  - c) Efectos en el cambio climático resultando en un incremento de enfermedades y muertes, expresado en DALY / kg emisión.
  - d) Efectos en la atmósfera como consecuencia de emisiones radioactivas, expresado en DALY / kg emisión.
  - e) Efectos en la capa de ozono debido a la emisión de partículas en el aire dañina para la capa de ozono, y como consecuencia se produce un incremento de radiación UV, expresado en DALY / kg de emisión.
2. Ecosistema:
- a) Efectos en la calidad del ecosistema como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas en el aire, el agua y la tierra, expresado como potencial de fracción afectada (PAF, del inglés *Potentially Affected Fraction*), siendo  $PAF * m^2 * año / kg$  de emisión.
  - b) Efectos en la calidad del ecosistema como consecuencia de la emisión de sustancias ácidas en el aire, expresado como  $PAF * m^2 * año / kg$  de emisión.
  - c) Efectos en el uso del suelo como consecuencia del cambio de tipo de uso,  $PAF * m^2 * año / m^2$  de terreno.
3. Recursos:
- a) Extra de energía necesaria para la obtención de minerales como consecuencia del agotamiento de los recursos disponibles, expresado como energía por kg de recurso.
  - b) Extra de energía necesaria para obtener MJ, kg o  $m^3$  de combustible fósil como consecuencia de una menor calidad de los recursos disponibles, expresado energía por unidad de combustible fósil.

La normalización es de acuerdo a los niveles de daño de cada categoría, a nivel europeo, de forma general basada en el año 1993 con alguna actualización para las emisiones más importantes.

Un método simplificado y válido de cálculo es la utilización de una hoja de cálculo (IHOBE, 2000) que permite de una forma intuitiva obtener un valor de referencia, y así mostrar a una empresa la compatibilidad de sus productos con el medio ambiente. El manual de IHOBE (2000) explica una serie de pasos para cumplimentar esta hoja de cálculo.

En rasgos generales, a la hora de identificar los inputs, se van a distinguir cinco valores estándar:

- Materiales.
- Procesos de producción.
- Procesos de transporte.
- Procesos de generación de energía.
- Recuperación/eliminación.

Para cada una de las cinco etapas del ciclo de vida del producto:

- Producción.
- Uso.
- Transporte producto final.
- Embalaje producto final.
- Fin de vida útil.

La introducción de los datos correctos para cada uno de los valores estándar y etapa de ciclo de vida del producto analizado va a permitir obtener el valor de ecoindicador del producto en milipuntos. La variación de alguno de los inputs va a resultar en un nuevo valor de milipuntos, siendo posible así comparar la puntuación final con la inicial, y poder así analizar la compatibilidad mayor o menor del producto con el medio ambiente, de una forma cuantificada y fácil de comprender.

Evidentemente el modelo de cálculo de combinación de daños tiene inherentes incertidumbres, como son las desviaciones del propio modelo utilizado, así como la incertidumbre de la base de datos utilizada. Goedkoop et al. (2010) intentan mejorar la exactitud de esta metodología a través de tres posibles

versiones de cálculo, y sus consecuencias en función de la característica determinada para cada versión:

- Perspectiva igualitaria (periodo de consecuencias en plazo de tiempo extremadamente largo).
- Perspectiva jerarquizada (periodo de consecuencias en plazo de tiempo largo).
- Perspectiva individualizada (periodo de consecuencias en plazo corto, menos 100 años).

La utilización de la metodología simplificada de Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) no dispone de estas versiones alternativas de cálculo, pero sigue siendo válida para cumplir con su objetivo de hacer productos más compatibles con el medio ambiente, de una manera sencilla de calcular.

#### 4.5.2 Análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos (OEEE).

El parámetro Eficiencia Medioambiental General de los Equipos (OEEE del inglés *Overall Environmental Equipment Effectiveness*) representa de forma intuitiva la sinergia entre eficiencia (*lean*) y sostenibilidad (verde), permitiendo seguir la evolución realizada en cada situación analizada. El hecho de que se pueda entender de forma sencilla, permite asimismo que personas no expertas en eficiencia y sostenibilidad puedan también comprender el resultado obtenido.

Primeramente, se deben fijar los parámetros que se aplicarán y mantendrán en los análisis a realizar, para mantener así el mismo criterio de análisis, y por tanto, la reproducibilidad de los valores obtenidos. Este hecho permite garantizar la correcta comparación entre la situación de partida y los progresos realizados. Todo cambio que se considere en los criterios utilizados, obliga a re-evaluar la situación de partida.

El nuevo parámetro de ayuda OEEE propuesto, se basa en el concepto de la Eficiencia General de los Equipos, OEE del inglés *Overall Equipment Effectiveness* (Nakajima, 1988; Nakajima, 1989; Hansen, 2001). El resultado del OEEE es un indicador porcentual de la capacidad de una unidad de trabajo en términos de disponibilidad, rendimiento, calidad e innovación ambiental.

El objetivo de OEEE es identificar las pérdidas originadas en una estación de trabajo debido también a la sostenibilidad, además de a la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, éstas tres últimas ya incluidas en el término OEE. Como consecuencia de este análisis, las medidas correctivas están orientadas a estos cuatro términos identificados.

De forma matemática se representa por la siguiente fórmula:

$$\text{OEEE} = \text{OEE} * \text{innovación ambiental}$$

Siendo:

$$\text{OEE} = \text{disponibilidad} * \text{rendimiento} * \text{calidad}$$

Por disponibilidad se entiende el porcentaje de la relación de tiempo real que una unidad de trabajo está operativa, produciendo material de forma activa, frente al tiempo de preparación del puesto (Puvanasvaran et al., 2013).

Se tienen en cuenta pérdidas de tiempo tanto por paradas, como por ajustes de máquina y configuración del puesto de trabajo. El tiempo planificado de producción no incluye las paradas planificadas, ni periodos de tiempo en los que el puesto de trabajo no está en funcionamiento, como pueden ser las pausas de los trabajadores.

Disponibilidad = tiempo operativo / tiempo planificado de producción

Tiempo planificado producción = tiempo total – tiempo paradas planificadas

El rendimiento considera las pérdidas de productividad, considerando las piezas fabricadas reales, frente a las que se deberían haber obtenido de forma teórica. El porcentaje de rendimiento es igual al total de piezas producidas por el tiempo de ciclo ideal dividido por el tiempo operativo (Puvanasvaran et al., 2013). Siendo el tiempo de ciclo ideal el mínimo período de producción esperado en circunstancias de trabajo óptimas. El término rendimiento engloba pérdidas de velocidad tanto por pequeñas paradas como por otras causas que puedan afectar a la producción efectiva en la unidad de trabajo. Si existe un valor *takt time* predefinido, éste es el que se debe usar como referencia de tiempo de ciclo ideal.

Rendimiento = total piezas \* tiempo de ciclo ideal / tiempo operación

La calidad identifica las piezas rechazadas durante el arranque de producción y la fase estable productiva de la unidad de trabajo (Puvanasvaran et al., 2013). El porcentaje de calidad representa la relación de piezas buenas fabricadas, frente al total de piezas que se han producido.

En este caso se destacan las pérdidas de calidad causadas por piezas defectuosas, así como el tiempo productivo perdido por fabricar dichas piezas malas.

Calidad = piezas buenas / número total de piezas

Adicionalmente a los parámetros utilizados por Hansen (2001), en esta tesis se propone la utilización de un cuarto parámetro denominado innovación ambiental, que en conjunto con los tres anteriores define el nuevo indicador eficiencia medioambiental general de los equipos, propuesto como una herramienta novedosa en esta tesis doctoral.

El porcentaje de innovación ambiental está relacionado con el porcentaje de milipuntos actual respecto al total inicial.

$$\text{Innovación ambiental} = 1 - (\text{milipuntos} / \text{total milipuntos inicial})$$

Para mantener la misma unidad que los otros parámetros considerados en el OEEE, es necesario utilizar el complementario respecto a la unidad, del valor obtenido del cálculo del porcentaje de milipuntos. Este porcentaje en milipuntos es respecto al total de milipuntos que le correspondería en función del total inicial considerado. Se toma como referencia el total en milipuntos de la situación inicial, así se resalta la innovación ambiental realizada. De esta forma, el término específico de esta tesis doctoral, designado como innovación ambiental, permite considerar la innovación ambiental realizada en cada una de las etapas analizadas.

Importante reseñar que el término de unidad elegido es milipunto en referencia al programa de cálculo de impacto ambiental utilizado (Ecoindicador-99). Mismo resultado sería alcanzable (porcentaje) si se utilizase otro programa de cálculo de impacto ambiental con distintas unidades de medida en base a otro indicador ambiental. Este hecho permite flexibilizar el cálculo de la innovación ambiental en función del objetivo medioambiental relevante a mejorar, por ejemplo huella de carbono u otro diferente. El criterio inicial indicado es el que debe prevalecer: las condiciones/parámetros de análisis deben ser los mismos tanto en la situación inicial como en la situación a comparar.

Interesante también el hecho de que se compara el total de milipuntos en la situación final en una unidad de trabajo, respecto al total de milipuntos en la situación inicial, como consecuencia:

- Se identifica la mejora realizada en cada unidad de trabajo respecto al total inicial, y no la mejora propia de cada unidad de trabajo frente a su estado inicial.
- La estación con peor relación respecto a la situación inicial se destaca, siendo fácilmente identificable la unidad de trabajo en la que se deben centrar los esfuerzos por mejorar la innovación ambiental.

El tercer comentario sobre el nuevo parámetro de innovación ambiental está relacionado con el máximo valor alcanzable. Por definición no es posible alcanzar un valor de 100%, como puede ser el hecho de los otros tres parámetros del OEE. El efecto es que los rangos óptimos también van a estar condicionados y no va a ser posible que unidad de trabajo alcance un valor de 100% OEEE. Se podría considerar que la competitividad empieza dentro de la empresa entre las distintas unidades funcionales.

A juicio del doctorando, el valor obtenido de OEEE permite clasificar el grado de optimización de cada unidad funcional, siendo el objetivo estar por encima del 85%, ya que implicaría una excelente funcionalidad competitiva. Entre 85% y 70% seguiría estando dentro de unos valores considerados buenos, entre 70% y 60% ya estaría considerado un proceso de fabricación sólo aceptable con ligeras pérdidas económicas y baja competitividad. Este valor de 60% debería ser el mínimo admisible para una unidad funcional en una empresa que quiera permanecer en el mercado a largo plazo. Estos valores están representados en la Tabla 4.2 siguiente:

| OEEE               | Resultado | Status              |
|--------------------|-----------|---------------------|
| OEEE < 60 %        | Malo      | Baja competitividad |
| 60 % < OEEE < 70 % | Aceptable |                     |
| 70 % < OEEE < 85 % | Bueno     |                     |
| 85 % < OEEE        | Excelente | Alta competitividad |

Tabla 4.2: Representación de valores objetivos OEEE.  
Fuente: Elaboración propia en base.

La definición de estos porcentajes, se basa en los rangos definidos por Hansen (2001) para el OEE con un coeficiente, para incluir el efecto de la innovación ambiental. Debido a la bisoñez del parámetro incluido de innovación ambiental, la escala propuesta del valor OEEE carece de un análisis profundo para contrastarla, quedando abierta para discusiones futuras una definición más concreta de la escala.

Al analizar conjuntamente la innovación ambiental, disponibilidad, eficiencia y calidad de una unidad funcional, de una forma rápida y fácil de entender, se visualiza el rendimiento efectivo y sostenible de una unidad funcional. La observación en detenimiento del valor OEEE permite identificar en cuál de los cuatro parámetros se puede mejorar la capacidad de dicha unidad funcional.

La herramienta OEEE permite a las empresas orientar y cuantificar los procesos de mejora, ya que destaca dónde se producen las pérdidas. Éstas pueden ser debidas a problemas de mejora ambiental (milipuntos), paradas (preparación de máquina), capacidad (cuellos de botella) y/o defectos (chatarras), etc., permitiendo por tanto tomar las acciones necesarias para corregir y mejorar la situación.

La OEEE está orientada a cazar “mudas” producidas por milipuntos, paradas, averías, preparación de máquinas, pérdidas de productividad y rechazos, siendo por tanto un complemento perfecto al modelo de mejora eficiente y sostenible.

#### 4.5.3 Análisis del coste del producto frente a la innovación ambiental. Ratio medioambiental.

En el mercado globalizado al que se deben enfrentar las empresas, comprender los costes que se producen se convierte en una tarea fundamental, porque al final, para que una empresa perdure debe tener beneficios.

En el marco de esta tesis doctoral se han definido cuatro criterios que definen el valor del producto: el medioambiente, el desarrollo económico (beneficio empresas), la sociedad, y las políticas públicas. La cuestión es cómo la empresa del siglo XXI es capaz de contabilizar el valor del producto, teniendo en cuenta estos cuatro criterios indicados.

La correlación entre el sistema de fabricación y el cálculo económico debe desarrollarse en concordancia, tal y como se ha indicado anteriormente. Las explicaciones siguientes ayudan a entender el modelo empírico, que se presenta posteriormente, ya que se resalta la influencia de la innovación ambiental en los beneficios de la empresa.

Baggaley y Maskell (2003) desarrollan una herramienta para calcular el coste del producto en un sistema de fabricación *lean*, permitiendo a la organización medir los recursos utilizados calculando el coste del producto a través de Flujos de Valor (del inglés VSC, *Value Stream Costing*), es decir, se cambia de una contabilidad marcada por los sistemas de fabricación en grandes lotes (líneas de montaje rígidas para un producto determinado) a una contabilidad caracterizada por el sistema de producción eficiente (células flexibles). Esto es debido a que el cambio en el sistema de fabricación se debe ver reflejado en la forma de analizar el coste del producto.

El sistema de fabricación por lotes determina el coste de cada producto individualmente, sin embargo el nuevo sistema de fabricación *lean* (flexible, ajustado,...) calcula un flujo de valor del todo. El valor del todo se obtiene a

través de la cadena de valor que avanza al ritmo *takt* marcado por el mercado, tal y como se representa en la ilustración siguiente:

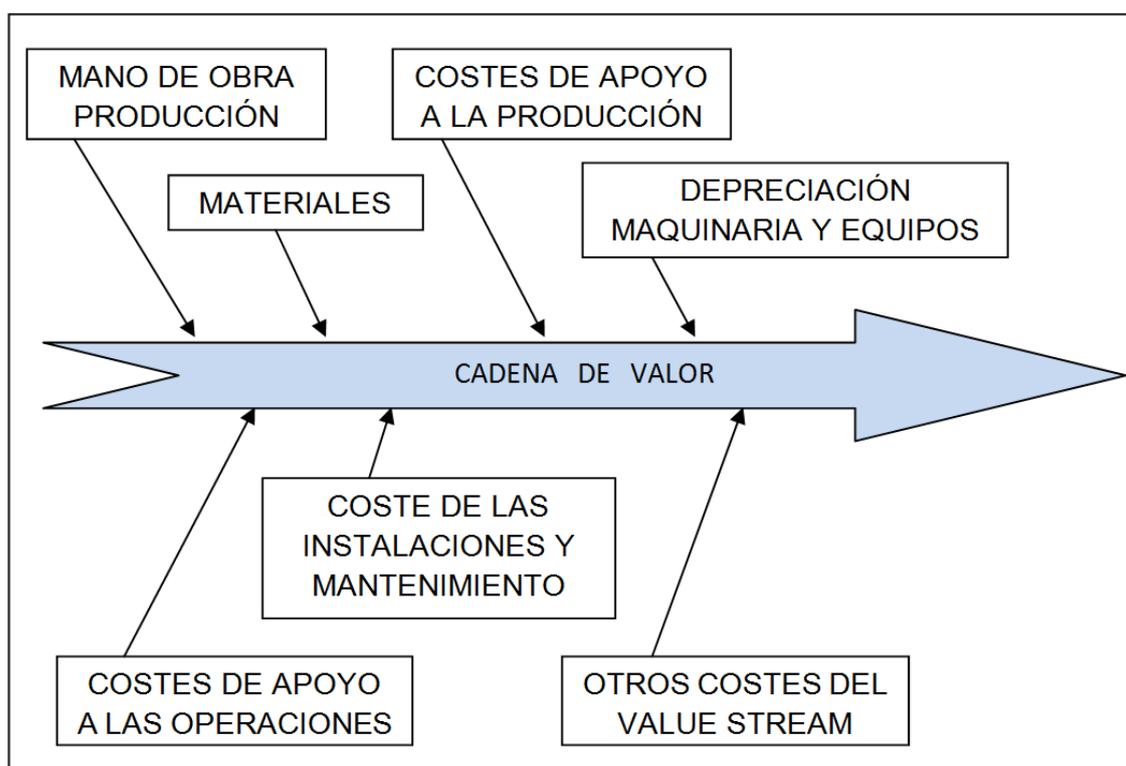


Figura 4.7: Costes incluidos en el *Value Stream Costing*.  
Fuente: Elaboración propia en base a Ruiz de Arbulo (2007).

En este flujo de valor (cadena de valor) se incluye todo el coste de personal, tanto directo como indirecto, todo el coste de materiales utilizados durante el período considerado (cuanto menor sea el stock más preciso será el cálculo), todos los consumibles y otros costes, como por ejemplo la superficie ocupada. Como se puede ver fácilmente, todos estos elementos ya han sido identificados como posibles lugares/elementos de despilfarros en un sistema de producción *lean*, por lo que la relación entre el sistema de producción *lean* y el sistema de costes VSC es directa. Los centros de costes y sus sub-divisiones desaparecen como tal y se imputan por cadenas de valor, que contienen muy pocos sub-elementos. Estos costes se pueden resumir en función del período de tiempo deseado (semana, mes,...), proporcionando la información necesaria cuando se requiere, y ayudando a mejorar continuamente.

La interpretación correcta, del concepto de fabricación sostenible en la organización, se realiza a través de indicadores medibles, que sí sirven para

que las empresas puedan tomar decisiones sostenibles, y que estén incluidos dentro del flujo de valor.

Para ello se tendrán en cuenta los siguientes apartados, distribuidos entre costes fijos y costes variables (Ruiz de Arbulo, 2007), para realizar el análisis de coste del producto eficiente y sostenible:

- Costes fijos
  - Materias primas
  - Materiales comprados
  - Herramientas
    - Productivas
    - Software / Hardware
    - Licencias / Patentes
  - Embalaje
  - Transporte
    - Movimientos internos / externos
    - Aduanas
  - Amortizaciones
  - Beneficios
  - Impactos ambientales
  
- Costes variables
  - Producción
  - Mantenimiento
  - Garantías
  - Mano de obra

De acuerdo a esta clasificación el coste total será la suma de los costes fijos más los costes variables. Una vez obtenido el coste total, se puede calcular el coste medio por unidad, que es igual al coste total entre el volumen total de producción. El coste marginal es la diferencia que se produce en el coste total cuando se incrementa la producción total en una unidad.

Continuando el desarrollo de este concepto, en teoría, al incrementar el número de unidades manteniendo constante el coste fijo resulta en una disminución del coste medio por unidad. En la práctica hay que analizar que el sistema productivo soporte el nuevo volumen de producción planteado para que se pueda cumplir la teoría.

Teniendo en cuenta la teoría y la práctica, estamos definiendo cuál es el punto de rotura en la empresa, entendido como aquel en el que los costes totales de la empresa son igual a los ingresos que tiene. Por encima de este punto la empresa tiene beneficios y puede perdurar en el tiempo, por debajo del mismo no resulta rentable continuar con ese negocio.

Para ayudar a entender este fenómeno hay una serie de premisas que se deben tener en cuenta:

- Evolución de costes variables, de acuerdo a la clasificación anterior, se presupone que se incrementan al aumentar la producción.
- Evolución de costes fijos, de acuerdo a la clasificación anterior, se presupone que disminuyen al aumentar la producción.

Una vez obtenido el coste unitario, se relaciona con la mejora en la innovación ambiental realizada. El objetivo es relacionar el peso en milipuntos total con el coste en cada una de las etapas del producto. De esta forma, se identifica en qué puestos el impacto ambiental es superior respecto al coste de dicha unidad productiva, identificando así una posibilidad de mejora ambiental respecto al coste del producto.

A este parámetro específico del modelo propuesto se le va a designar como ratio medioambiental, estando representado por la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Ratio medioambiental} = \text{milipunto} / \text{milipunto}^*$$

$$\text{Milipunto}^* = \text{milipunto total} \times \text{coste teórico} / 100$$

$$\text{Coste teórico} = \text{coste unidad funcional} * 100 / \text{coste total producto}$$

Todo valor por encima de 1 implica que el ratio medioambiental de la unidad funcional es mayor que el impacto total respecto al valor económico producido en cada etapa productiva. Cuanto mayor sea el valor obtenido, mayor será la divergencia y más evidente la necesidad de tomar medidas, para reducir la diferencia entre el coste y el impacto ambiental, en cada unidad productiva analizada. Cuanto menor sea el valor respecto a 1, implica que el ratio medioambiental es inferior al coste económico en dicha etapa productiva.

#### 4.5.4 Análisis del flujo de valor de innovación ambiental.

La herramienta de análisis de Flujo de Valor explicada anteriormente (VSC - Baggaley y Maskell, 2003) se vincula, en el ámbito de esta tesis doctoral, a las innovaciones ambientales que propician las mejoras eficientes y sostenibles en el modelo propuesto. Con este fin se incluyen parámetros de innovación ambiental (identificados con el fondo en color verde y naranja) que sirven para identificar y cuantificar los progresos realizados. De esta forma, esta nueva herramienta se denomina análisis del flujo de valor de innovación ambiental.

Los parámetros que se utilizan en el análisis del flujo de valor de innovación ambiental vienen representados en la Tabla 4.3 siguiente, de acuerdo a la ficha que se rellena para cada una de las etapas productivas:

| <b>PROCESO:</b>               | --                  |
|-------------------------------|---------------------|
| Espacio                       | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   |                     |
| Horas trabajo                 | hora/turno          |
| Número turnos                 | turno/día           |
| Pausas                        | minuto/turno        |
| Paradas                       | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | minuto              |
| Tiempo operativo              | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | %                   |
| Rendimiento                   | %                   |
| Calidad                       | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>%</b>            |
| <b>Comentarios:</b>           |                     |

Tabla 4.3: Parámetros análisis flujo de valor de innovación ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

Resultando el siguiente diagrama de análisis de flujo de valor de innovación ambiental, que se representa a continuación en la Figura 4.8:

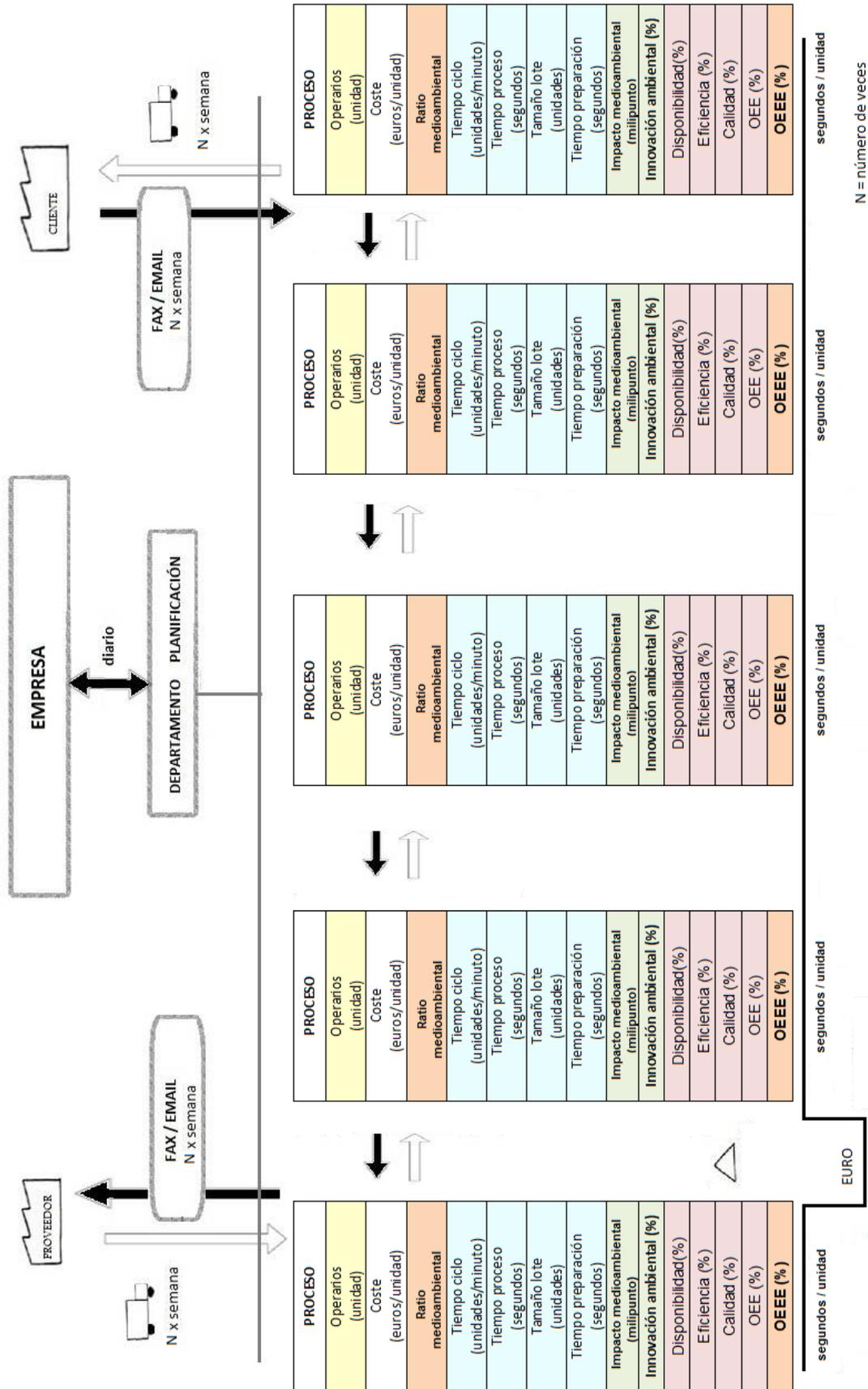


Figura 4.8: Ejemplo esquema de análisis de flujo de valor de innovación ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 4.9, se explican los símbolos utilizados previamente:

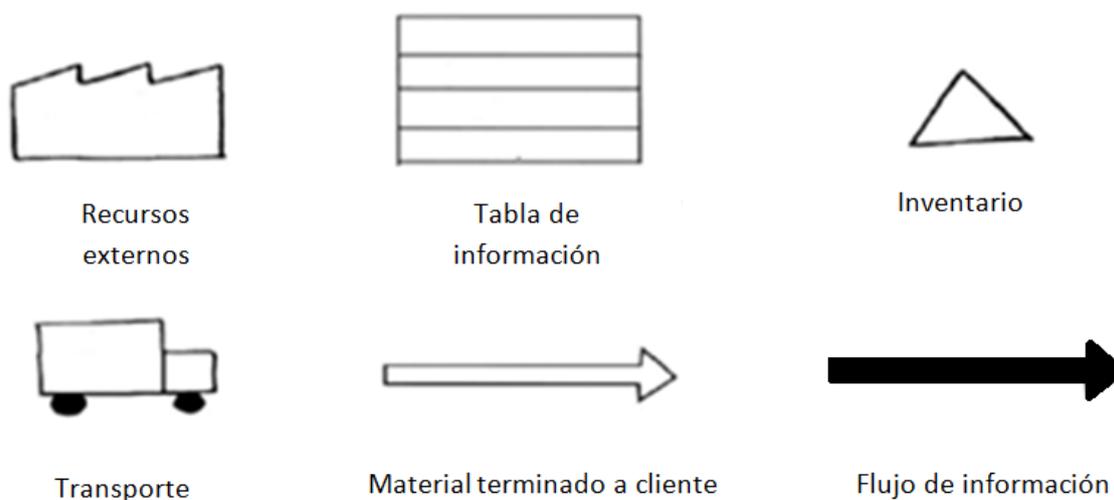


Figura 4.9: Símbolos del esquema de análisis de flujo de valor de innovación ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

Una revisión de esta Figura 4.8 permite de una forma rápida y eficaz controlar los parámetros determinantes de cada puesto de trabajo, y el efecto en el conjunto de la empresa.

El valor de milipuntos representa el peso del impacto ambiental de cada etapa del proceso productivo, incluyendo los materiales utilizados, a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Este parámetro es el que se contabiliza usando los Ecoindicadores-99.

Asimismo se incluyen parámetros de innovación ambiental, disponibilidad, rendimiento y calidad. La finalidad de estos parámetros es identificar de una manera rápida y evidente, y porqué, los mudas que se generan en cada etapa del proceso productivo. En base a estos cuatro parámetros se indica el valor de la eficiencia medioambiental general de los equipos.

También se incluyen indicaciones económicas para recordar que, detrás de todos los símbolos que aparecen, está el beneficio de la empresa, que es el que garantiza la competitividad de la empresa y por ende, el futuro de los puestos de trabajo.

## 4.6 Método del modelo de mejora eficiente y sostenible.

En este apartado se explican los pasos que se deben dar en una empresa para implantar el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

### 4.6.1 Definición de la visión de futuro.

Estos ciclos de consolidación se inician a partir de un objetivo/visión de futuro (proceso de renovación) que sirve como dirección de la empresa a medio/largo plazo y como referencia para las metas a corto plazo. En este análisis se destacan los puntos fuertes y débiles de la situación inicial/actual, concluyendo en unas posibilidades de mejora que se contrastan con la situación de la competencia y con las necesidades de los clientes. Los criterios que se utilizan en esta primera etapa son aspectos relacionados con el medio ambiente, económicos, sociales y políticas públicas. Este primer ejercicio es el motor de arranque *pull* para el resto de etapas del nuevo modelo propuesto.

El objetivo de esta primera fase de aproximación es definir la visión de futuro, que va a marcar las siguientes etapas de implantación de este modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Partiendo de un conocimiento profundo de la situación concreta de la empresa bajo análisis, se dispone de la capacidad de decisión para hacer frente a un mercado global, en el que la demanda es superior a la oferta y donde el valor del producto debe destacar. Para ello, la visión objetivo está interrelacionada con los cuatro campos identificados anteriormente como capitales: el medio ambiente, el desarrollo económico, la sociedad y las administraciones públicas.

La siguiente Tabla 4.4 es una plantilla que recoge los datos identificativos de la empresa que se está analizando, así como el conjunto de personas con

responsabilidad en la misma. Toda la información se actualiza en función de los cambios que puedan ocurrir, y siempre de acuerdo al estado más reciente de la empresa disponible.

| ANÁLISIS POTENCIAL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN |  |                          |                         |
|--|--|--------------------------|-------------------------|
| Colaborador:   |  | Valoración futura        | Versión:                |
| Fecha situación actual:  |  |                          | Fecha situación futura: |
| INFORMACIÓN GENERAL  |  |                          |                         |
| Empresa:   |  | Año fundación:           | NIF / VAT:              |
| Fecha:   |  | Dirección:               | Productos:              |
| Contacto:  |  | Ciudad:                  | Segmento:               |
| Teléfono   |  | Código Postal:           | Standards calidad:      |
| Fax  |  | País:                    | Cientes:                |
| e-mail   |  |                          |                         |
| Cargo  |  |                          |                         |
| INFORMACIÓN GESTIÓN  |  |                          |                         |
| Director general:  |  | Empleados:               |                         |
| Responsable producción:  |  | Directos:                |                         |
| Responsable desarrollo:  |  | Indirectos:              |                         |
| Responsable compras:   |  | Certificados de calidad: |                         |
| Responsable logística:   |  | Sistema de gestión:      |                         |
| Responsable personal:  |  | Ambientales:             |                         |
| Responsable calidad:   |  | Seguridad y salud:       |                         |
| Descripción negocio:   |  | Principales clientes:    | Campo de aplicación     |
| Tipos de producto:   |  | Nacionales:              |                         |
| Producción anual:  |  | Internacionales:         |                         |
| Volumen ventas:  |  | Otros:                   |                         |
| Flujo de valor:  |  |                          |                         |
| COMENTARIOS  |  |                          |                         |
|  |  |                          |                         |

Tabla 4.4: Plantilla datos identificativos inicio de proyecto.  
Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes informaciones se recogen en esta ficha: ubicación, número de empleados (directos e indirectos), producción, cartera de clientes, tipo de producto, ventas, certificados,... También se incluye la visión de futuro de la empresa, la fecha de inicio del proyecto, la fecha prevista de terminación y la fecha real de conclusión del proyecto.

Primeramente se debe fijar un objetivo realista y alcanzable, que pueda ser compartido por todos los integrantes de la empresa. Un primer objetivo que es revisado, según se avanza en esta definición de intenciones. La definición debe ser clara, ambiciosa, realizable y positiva. Esta visión de futuro se convierte en la dirección estratégica para la empresa, es decir, en la prioridad para toda la organización unificando a todo el personal en torno a esta idea.

Realizada esta primera declaración de intenciones, quizás el paso más difícil de esta metodología, el equipo de la gerencia debe crear un equipo de responsables formado por colaboradores motivados e implicados con la empresa, a los que presenta las nuevas intenciones de la organización, asignándoles tareas y responsabilidades para alcanzar dicha meta.

#### 4.6.2 Análisis de la situación inicial.

Conocer el estado inicial de la empresa es necesario para poder implantar la visión de futuro, y así medir y contrastar los progresos que se realicen. Un primer análisis proporciona la información suficiente para poder identificar los puntos fuertes y débiles de la empresa. Se propone la utilización de la plantilla de recogida de datos, en un fichero *Excel* tal y como muestran las Tablas que se incluyen a continuación, de 4.5 a 4.10, donde se registra la situación inicial. El equipo de responsable son los encargados de recopilar y anotar esta información.

En este desarrollo teórico se propone un fichero de trabajo general que integra las principales variables para cualquier tipo de empresa, pero siempre es posible añadir algún punto concreto en el que se tenga especial atención en función de las circunstancias de cada caso.

| CAMPO 1: NECESIDADES SOCIALES  |                   |                          |   |                        |                    |   |                 |                     |                  |
|--|-------------------|--------------------------|---|------------------------|--------------------|---|-----------------|---------------------|------------------|
| PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIO               | 0 (++)  | 1 (+)                  | 2 (-)              | 3 (--)  | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| ¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?   |                   | Análisis del producto    | Existen registros de función del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de función del producto.                |                 |                     |                  |
| ¿El producto cumple estas funciones efectiva y eficientemente?   |                   | Análisis del producto    | Existen registros de análisis de la función del producto en todos los departamentos de la fábrica. Publicados y accesibles.   | Análisis detallado.    | Análisis básico.   | No existe ningún registro de análisis de función del producto.    |                 |                     |                  |
| ¿Qué necesidad del usuario satisface el producto actualmente?  |                   | Análisis del consumidor  | Existe un registro accesible para todos los trabajadores con la descripción de las necesidades del usuario.   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de las necesidades del usuario.         |                 |                     |                  |
| ¿Pueden ser las funciones del producto aumentadas y/o optimizadas para cumplir mejor la necesidad del usuario? |                   | Mejora continua producto | Existe un registro accesible para cada trabajador en el que puede saber siempre cuáles son las mejoras previstas del producto, para mejor satisfacer las necesidades del usuario. | Definición detallada.  | Definición breve.  | No existe una definición de objetivos de mejora.                  |                 |                     |                  |
| ¿Cambiará esta necesidad del usuario en un plazo de tiempo?  |                   | Análisis del mercado     | Existen registros de análisis de la perspectiva del producto en el mercado. Publicados y accesibles.  | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de las perspectivas del mercado.        |                 |                     |                  |
| ¿Se puede anticipar el producto a este cambio con una innovación del mismo?                                    |                   | Objetivo de futuro       | Existe un registro claro y accesible de los objetivos económicos de la empresa: ventas, inversiones, tesorería...   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe un registro con los objetivos económicos de la empresa. |                 |                     |                  |

Tabla 4.5: Campo 1 – Necesidades sociales.  
Fuente: Elaboración propia

| CAMPO 2: SUMINISTRO DE MATERIALES |                    |  |                   |                       |  |                        |                    |   |                 |                     |                  |
|-----------------------------------|--------------------|--|-------------------|-----------------------|--|------------------------|--------------------|---|-----------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1                        | CRITERIO 2         | PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS           | 0 (++)   | 1 (+)                  | 2 (-)              | 3 (-)   | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de plásticos se usan?   |                   | Análisis del producto | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.                   |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de aditivos son usados?   |                   | Análisis del producto | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.                   |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de metales se utilizan?   |                   | Análisis del producto | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.                   |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de otros materiales (cristales, cerámicos,...) son usados?      |                   | Análisis del producto | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.                   |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de tratamientos superficiales se usan?                          |                   | Análisis del producto | Existen registros de tratamientos superficiales del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de tratamientos superficiales del producto. |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es el perfil ambiental de los componentes?                                     |                   | Análisis del producto | Existen registros de gestión ambiental y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                       | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión ambiental de los materiales.     |                 |                     |                  |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>              | ECONÓMICO          | ¿Qué cantidad de energía es necesaria para transportar los componentes y materiales? |                   | Análisis del producto | Existen registros de utilización energética y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                  | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de utilización energética.                  |                 |                     |                  |

Tabla 4.6: Campo 2 – Suministro de materiales.  
Fuente: Elaboración propia

| CAMPO 3: FABRICACIÓN |                    |   |                   |                          |  |                        |                    |  |                 |                     |                  |
|----------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------|--|-----------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA  | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | 0 (+)  | 1 (+)                  | 2 (-)              | 3 (-)  | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| ECONÓMICO            | SOCIAL             | ¿Qué cantidad y tipo de procesos de fabricación existen?      |                   | Mejora continua producto | Existen registros de los procesos de fabricación y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                                       | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los procesos de fabricación del producto.                         |                 |                     |                  |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de materiales auxiliares son necesarios? |                   | Análisis del producto    | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.  |                 |                     |                  |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuál es el consumo de energía?                               |                   | Análisis del producto    | Existen registros de utilización energética y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.  | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de utilización energética.   |                 |                     |                  |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuánta chatarra se genera?                                   |                   | Análisis del producto    | Existen registros de gestión de materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de gestión de materiales.  |                 |                     |                  |
| ECONÓMICO            | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuántos productos no alcanzan las normas de calidad?         |                   | Análisis del producto    | Existen registros relacionando el cumplimiento de las normas de calidad y el producto, y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro relacionando el cumplimiento de las normas de calidad y el producto. |                 |                     |                  |

Tabla 4.7: Campo 3 – Fabricación.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 4: DISTRIBUCIÓN |            |  |                   |                       |  |                        |                    |  |                 |                     |                  |
|-----------------------|------------|--|-------------------|-----------------------|--|------------------------|--------------------|--|-----------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1            | CRITERIO 2 | PREGUNTA                                       | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS           | 0 (++)   | 1 (+)                  | 2 (-)              | 3 (-)  | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Qué tipo de embalajes son utilizados?         |                   | Análisis del producto | Existen registros de los materiales de embalaje y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                                    | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los materiales de embalaje.           |                 |                     |                  |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Qué medios de transporte son usados?          |                   | Análisis del mercado  | Existen registros de los medios de transporte utilizados y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                           | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los medios de transporte.             |                 |                     |                  |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Está eficientemente organizado el transporte? |                   | Análisis del mercado  | Existen registros de distintas alternativas de transporte en función de variables, y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de distintas alternativas de transporte. |                 |                     |                  |

Tabla 4.8: Campo 4 – Distribución.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 5: UTILIZACIÓN |                    |   |                   |                          |   |                        |                    |   |                 |                     |                  |
|----------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------------|---|------------------------|--------------------|---|-----------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA  | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | 0 (+)   | 1 (+)                  | 2 (-)              | 3 (-)   | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| <b>ECONÓMICO</b>     | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de energía es necesaria?                         |                   | Análisis del producto    | Existen registros de utilización energética y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                       | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de utilización energética.                                    |                 |                     |                  |
| <b>ECONÓMICO</b>     | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de consumibles son necesarios?                   |                   | Mejora continua producto | Existen registros de los consumibles necesarios y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los consumibles necesarios.                                |                 |                     |                  |
| <b>SOCIAL</b>        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es la expectativa técnica de vida?                              |                   | Análisis del consumidor  | Existen registros de las expectativas de vida del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.        | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de las expectativas de vida del producto.                     |                 |                     |                  |
| <b>SOCIAL</b>        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad de reparaciones y tipo de mantenimiento son necesarios? |                   | Análisis del consumidor  | Existen registros de las reparaciones y mantenimiento necesarios, y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de las reparaciones y mantenimientos necesarios del producto. |                 |                     |                  |
| <b>SOCIAL</b>        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Puede ser el producto desmontable por una persona que no lo conozca? |                   | Análisis del consumidor  | Existen registros de la desmontabilidad del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.              | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la desmontabilidad del producto.                           |                 |                     |                  |
| <b>SOCIAL</b>        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Suele requerir el producto la sustitución de piezas separables?      |                   | Análisis del consumidor  | Existen registros de la sustitución de piezas del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.        | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la sustitución de piezas del producto.                     |                 |                     |                  |
| <b>SOCIAL</b>        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es la esperanza de vida estética del producto?                  |                   | Análisis del consumidor  | Existen registros de la esperanza de vida estética del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la esperanza de vida estética del producto.                |                 |                     |                  |

Tabla 4.9: Campo 5 – Utilización.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 6: RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN |               |  |                   |                          |  |                        |                    |  |                 |                     |                  |
|-------------------------------------|---------------|--|-------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------|--|-----------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1                          | CRITERIO 2    | PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | 0 (++)   | 1 (+)                  | 2 (+)              | 3 (-)  | ACCIONES MEJORA | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Cómo es el producto actualmente eliminado?                                      |                   | Análisis del producto    | Existen registros de la eliminación del producto y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                         | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de utilización energética.                         |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Están siendo reutilizados componentes o materiales?                             |                   | Mejora continua producto | Existen registros de los componentes y materiales reutilizables, y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.         | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los componentes y materiales reutilizables.     |                 |                     |                  |
| SOCIAL                              | MEDIOAMBIENTE | ¿Qué componentes pueden ser reutilizados/reciclables?                            |                   | Mejora continua producto | Existen registros de los componentes reciclables y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                         | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de los componentes reciclables.                    |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Pueden ser los componentes desmontables sin peligro?                            |                   | Análisis del mercado     | Existen registros de la desmontabilidad de componentes y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                   | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la desmontabilidad de componentes.              |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Son los materiales identificables?  |                   | Análisis del mercado     | Existen registros con la identificación de los materiales (trazabilidad) y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la identificación de los materiales.            |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Pueden ser rápidamente separados?   |                   | Análisis del mercado     | Existen registros con la separación de los materiales y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.                    | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la separación de los materiales.                |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Existe algún componente peligroso fácilmente separable?                         |                   | Análisis del mercado     | Existen registros con la separación de los materiales peligrosos y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos.         | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la separación de los materiales peligrosos.     |                 |                     |                  |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Existe algún problema cuando se incineran partes del producto no reutilizables? |                   | Análisis del mercado     | Existen registros con la incineración de los materiales no reutilizables y están disponibles a todos los niveles, desde global de fábrica hasta los departamentos. | Descripción detallada. | Breve descripción. | No existe ningún registro de la incineración de materiales no reutilizables. |                 |                     |                  |

Tabla 4.10: Campo 6 – Recuperación/eliminación. Fuente: Elaboración propia.

Los valores de cada uno de los campos quedan registrados automáticamente en la portada del proyecto, tal y como se representa en la ilustración siguiente:

| ANÁLISIS POTENCIAL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN |                      |            |                |                           |                     |                  |             |
|--|----------------------|------------|----------------|---------------------------|---------------------|------------------|-------------|
| Colaborador:   |                      |            |                | Versión: 2                |                     |                  |             |
| INFORMACIÓN GENERAL  |                      |            |                |                           |                     |                  |             |
| Empresa:   |                      |            | Año fundación: |                           | NIF / VAT:          |                  |             |
| Fecha:   |                      |            | Dirección:     |                           | Productos:          |                  |             |
| Contacto:  |                      |            | Ciudad:        |                           | Segmento:           |                  |             |
|  | Teléfono:            |            | Código Postal: |                           | Standards calidad:  |                  |             |
|  | Fax:                 |            | País:          |                           | Clientes:           |                  |             |
|  | e-mail:              |            |                |                           |                     |                  |             |
|  | Cargo:               |            |                |                           |                     |                  |             |
| Fecha situación INICIAL  |                      |            |                | Fecha valoración prevista |                     |                  |             |
|  |                      |            |                | Fecha situación ACTUAL    |                     |                  |             |
| INFORME RESULTADOS   |                      |            |                |                           |                     |                  |             |
| CAMPO  | CRITERIO 1           | CRITERIO 2 | PREGUNTA       | SITUACIÓN INICIAL         | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL | COMENTARIOS |
| <b>1. NECESIDADES SOCIALES</b>   | <b>TOTAL CAMPO 1</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |
| <b>2. SUMINISTRO MATERIALES</b>  | <b>TOTAL CAMPO 2</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |
| <b>3. FABRICACIÓN</b>  | <b>TOTAL CAMPO 3</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |
| <b>4. DISTRIBUCIÓN</b>   | <b>TOTAL CAMPO 4</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |
| <b>5. UTILIZACIÓN</b>  | <b>TOTAL CAMPO 5</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |
| <b>6. RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN</b>   | <b>TOTAL CAMPO 6</b> |            |                | <b>0,00</b>               | <b>0,00</b>         |                  |             |

|   |   |
|---|---|
| <p><b>SITUACIÓN ACTUAL</b></p> <p>TOTAL CAMPO 1<br/>TOTAL CAMPO 2<br/>TOTAL CAMPO 3<br/>TOTAL CAMPO 4<br/>TOTAL CAMPO 5<br/>TOTAL CAMPO 6</p> | <p><b>SITUACIÓN PREVISTA</b></p> <p>TOTAL CAMPO 1<br/>TOTAL CAMPO 2<br/>TOTAL CAMPO 3<br/>TOTAL CAMPO 4<br/>TOTAL CAMPO 5<br/>TOTAL CAMPO 6</p> |
| <p><b>SITUACIÓN ACTUAL</b></p> <p>MEDIOAMBIENTE<br/>POLÍTICAS PÚBLICAS<br/>ECONÓMICO<br/>SOCIAL</p>   | <p><b>SITUACIÓN PREVISTA</b></p> <p>MEDIOAMBIENTE<br/>POLÍTICAS PÚBLICAS<br/>ECONÓMICO<br/>SOCIAL</p>   |

Tabla 4.11: Ficha portada de proyecto.  
Fuente: Elaboración propia.

Ahora comienza la recogida de datos relacionados con cada etapa del proceso productivo.

Esta fase se realiza a través de un análisis por todas las áreas de la empresa. Todos los datos recogidos, impresiones e incluso fotografías, sirven para completar un análisis del flujo de valor de innovación ambiental inicial, que es la referencia para futuras revisiones del proceso de fabricación. De acuerdo a la metodología propuesta, se sigue un sentido *pull* en este análisis de valor de innovación ambiental, es decir, se comienza en el almacén de producto terminado (salidas) y se termina en el almacén de materias primas (recepción), pasando por todos los puestos de trabajo intermedios.

Es el momento de empezar a definir el análisis del flujo de valor ambiental respecto a la situación inicial de la empresa. El flujo de valor ambiental incluye todos los indicadores, identificados y explicados anteriormente, relacionados con el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado a través de procesos de innovación ambiental.

Las acciones de mejora a través de la cadena de producción, siguiendo un sentido *pull*, se concretan a partir de la definición de intenciones realizada (visión objetivo) y del análisis del flujo de valor ambiental. Es decir, a partir del *takt* del cliente que marca el ritmo de producción, y por ende, el ritmo de salida de productos del almacén de materias terminadas, el equipo de proyecto identifica las acciones de mejora que se deben llevar a cabo.

La relación de las acciones de mejora de acuerdo a los cuatro criterios (medioambientales, económicos, sociales y políticas públicas) valorados por el cliente se realiza a través de los seis campos (necesidades sociales, suministro de materiales, fabricación, distribución, utilización y recuperación/eliminación), ya que éstos reflejan las herramientas (en función de registros) disponibles para realizar el análisis. De esta forma se asegura que todas las medidas van a estar de acuerdo a los principios que se presentan en esta tesis doctoral de eficiencia y sostenibilidad, y valorados por el cliente en el producto.

La conclusión de esta etapa de análisis es una comunicación directa desde la gerencia al conjunto total de trabajadores. De esta forma se consigue transmitir dos informaciones muy importantes para la continuidad del proyecto:

- Comunicar la nueva visión de futuro de la empresa.
- Presentar a los responsables de alcanzar la meta planteada, quienes gozan así del respaldo público de la gerencia, para impulsar los métodos y herramientas que sean necesarios.

Toda la plantilla es informada por la gerencia directamente de los nuevos cambios que se van a producir, en un acto que refleje la importancia de la información que se transmite. Es fundamental conseguir que toda la plantilla se sienta partícipe en el nuevo modelo eficiente y sostenible.

La explicación clara del objetivo, de los principios, de los proyectos a corto plazo y del resultado final que se va a alcanzar, recogidos en un plan de actuación, es capital para que el cambio no se quede en un nuevo proyecto más que empieza la empresa. Los trabajadores deben entender la situación en la que se encuentra la organización, involucrarse y estar convencidos de lo que hacen y porqué.

Como resumen de esta etapa destacan varios puntos. El primero y más importante es la decisión y convencimiento de la gerencia por el cambio, de un sistema de fabricación tradicional a un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Otra característica importante a resaltar es la necesidad de motivación, formación, convicción y participación de todas las personas involucradas en el cambio. En resumen, se debe querer hacer el cambio para alcanzar los beneficios esperados.

#### 4.6.3 Definición de los planes de acción.

La oportunidad de mejora en esta fase se obtiene de la caza de los desperdicios. Se debe evitar cualquier muda que se genere y que esté vinculada al plan de actuación asignado. Detectados los desperdicios se pueden identificar cuáles son las mejoras realizables.

Cada desperdicio identificado debe ser medible, para que así el equipo de trabajo pueda realizar un análisis de la situación en cada momento, su seguimiento y su revisión final, cumpliendo con las metas globales marcadas por la visión objetivo.

El equipo de trabajo recoge, analiza y evalúa los datos de la situación en ese momento concreto, determina los puntos críticos de actuación y define un plan de acción. El contraste de la situación de partida con la planificada final, junto a los beneficios esperados, también se identifica en el plan de acción. Se crean tantos equipos de trabajo como planes de acción sean necesarios.

Este plan de acción es revisado por el equipo de responsables, para coordinar la integración de los distintos equipos de trabajo. La búsqueda de sinergias que ayuden a alcanzar la meta global es importante a la hora de optimizar los recursos limitados de la organización.

En resumen, en esta fase los equipos de trabajo definen los objetivos parciales, de sus respectivos planes de acción, que llevan a la consecución de los objetivos globales, determinados a través de los principios estratégicos que surgieron de la visión de futuro de la organización. Finalmente se crea un documento en el que se recogen todos los puntos acordados entre todas las partes, y que sirve como base de trabajo para la siguiente fase. Este documento, denominado plan de actuación, se revisa por el equipo de dirección como punto final de esta fase.

#### 4.6.4 Ejecución de los planes de acción.

La implantación de las acciones de mejora comienza, una vez que se han fijado los objetivos tanto globales en el plan de actuación, como específicos de los planes de acción.

El proceso de implantación arranca desde el almacén de producto terminado. Poco a poco, las acciones de mejora tiran (*pull*) de las etapas anteriores de producción completando el cambio en todas las etapas productivas. Aquí radica uno de los puntos fuertes de este modelo, ya que la transformación es de forma natural: la necesidad de cambio viene impuesta por las nuevas circunstancias del cliente de cada etapa productiva. Pero la transformación no acaba en el almacén de materias primas, dado que estas necesidades también tiran de los proveedores de la empresa, que igualmente tienen que adaptarse a este nuevo modelo, donde destaca el valor del producto. De esta forma, los criterios inicialmente marcados se cumplen:

- Medioambientales: Se reducen los mudas.
- Económicos: La cuenta de resultados de la empresa mejora.
- Sociales: El cliente siente el incremento del valor eficiente y sostenible del producto.
- Políticas públicas: El contorno de la empresa se beneficia de las acciones emprendidas.

Durante esta fase, mientras se implantan los planes de acción, el equipo de trabajo emite los informes que reflejan el progreso alcanzado, crean sistemas de información visual y apoyan el aprendizaje continuo en los lugares de trabajo.

Como ya se ha indicado en la fase anterior, la comunicación de la información entre los trabajadores es vital para mantener activos los sucesivos ciclos de mejora. Los cambios en los lugares de trabajo se suceden rápidamente, por lo que es importante mantener actualizado un sistema de información visual, por ejemplo utilizando tableros de control. La idea es transmitir la información correcta, de una forma fácilmente comprensible, a quien la debe recibir y en el momento oportuno.

Como consecuencia de esta labor de los equipos de trabajo, los trabajadores se integran en los cambios que se producen y participan en ellos a través de sus propias ideas. Estas ideas, más las conclusiones de los informes de los equipos de trabajo, permiten realizar mini ciclos de mejora continua dentro de esta fase de implantación, dejándose para otros círculos de mejora continua posteriores las acciones, que debido a su complejidad, no se pueden acometer en este momento.

#### 4.6.5 Revisión de la situación futura alcanzada.

Una vez terminada la implantación de los planes de acción, comienza la revisión de los objetivos alcanzados. Para ello, se vuelve a utilizar el fichero *Excel* utilizado al principio del proyecto de implantación, pero ahora es el momento de rellenar sólo las celdas marcadas con fondo gris y letras azules: columna situación actual.

El objetivo es valorar el cumplimiento de los requisitos marcados y analizar el efecto en los factores que han motivado las distintas acciones emprendidas. El equipo de trabajo, junto a los responsables y la dirección revisa los resultados finales alcanzados, así como los incidentes que hayan podido aparecer.

Esta información se registra como resultado del proceso de implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado.

La repetición de este proceso de implantación se corresponde con sucesivos ciclos de innovación ambiental.

El equipo de trabajo suministra toda la información necesaria para la revisión del plan de acción. En esta información se recogen los desfases y logros respecto a los resultados planificados, así como las nuevas posibilidades que hayan podido aparecer. Se analiza la información recopilada y se define un nuevo plan de acción a medio y largo plazo:

- A nivel de producto, para posibilitar la implantación futura de las ideas generadas que han recibido una consideración positiva pero que no se han podido introducir, ya sea por el estado de la técnica, los costes u otros motivos.
- A nivel de empresa, para que se adapten los modos de trabajo, manuales de procedimiento para conseguir una buena asimilación interna del proceso de cambio y se perpetúe así la metodología de mejora continua.

El objetivo de esta fase es transmitir a los trabajadores el resultado de las acciones realizadas. El proceso para afianzar en la organización el nuevo modelo propuesto es la estandarización. Estandarización significa ajustar los procedimientos existentes en la empresa al modelo propuesto, que va a conectar y orientar todas las actividades hacia la meta global planteada.

La dirección de la empresa realiza una nueva presentación al conjunto de los trabajadores. En esta presentación se revisa el estado financiero de la empresa y de sus desafíos estratégicos. Así se da paso a los distintos equipos de trabajo, que presentan a su vez los proyectos que cada uno ha implantado, los cambios que ya han supuesto, los nuevos procedimientos y procesos, y, finalmente, las metas alcanzadas. De esta forma, concluye un primer ciclo de innovación ambiental, comunicando al conjunto de los trabajadores la situación

común actualizada de la empresa, como resultado de la implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible.

Llegados a este punto, se pueden continuar otros ciclos de innovación ambiental hasta alcanzar plenamente la visión de futuro inicial, o pasar directamente a revisar esta visión de futuro, y plantear así el comienzo de un nuevo volver a empezar, siempre mejorando continuamente de una forma eficiente y sostenible.

El modelo de mejora eficiente y sostenible se caracteriza por estar vivo, es decir, por estar siempre en continua mejora a través de ciclos sucesivos de innovación ambiental.

#### **4.7 Consideraciones finales al modelo de fabricación eficiente y sostenible.**

En este capítulo se ha justificado la necesidad de una nueva metodología que aproveche las sinergias entre eficiencia y sostenibilidad, basada en indicadores que contrastan una situación inicial con los logros obtenidos, para responder a la creciente presión en las empresas provenientes por motivos medioambientales, económicos, sociales y políticas públicas.

La propuesta presentada en esta tesis doctoral a esta necesidad es un nuevo modelo de fabricación eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado a través de procesos de innovación ambiental.

Los indicadores utilizados se distribuyen en cuatro criterios (medio ambiente, desarrollo económico, sociedad y políticas públicas) relacionados con seis campos (necesidades sociales, suministro de materiales, fabricación, distribución, producción, recuperación/eliminación), y un plan de actuación en el que se han incluido cuatro nuevas herramientas para aprovechar la sinergia entre eficiencia y sostenibilidad:

- Milipuntos para el análisis del valor medioambiental.
- OEEE para el análisis de la eficiencia medioambiental general de los equipos.
- Ratio medioambiental para el análisis del coste del producto frente a la innovación ambiental.
- Flujo de valor de innovación ambiental para el análisis completo del proceso de cambio.

Finalmente, se ha explicado detalladamente de forma teórica todos y cada uno de los pasos a realizar, y los participantes con sus roles, para la implantación del nuevo modelo propuesto. Asimismo se han presentado los documentos y herramientas auxiliares que ayudan a seguir la nueva metodología.

## **CAPÍTULO 5. RESULTADOS DEL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE.**

### **5.1 Introducción a los resultados del modelo de mejora eficiente y sostenible.**

Este capítulo describe el estudio de un caso práctico de cómo una empresa de conformado de tubos vuelve a empezar. El proceso de renovación se desarrolla a través de los pasos descritos en el modelo propuesto, paso a paso, desde la identificación del proyecto hasta la revisión de la situación futura alcanzada, pasando por todas las etapas intermedias: la definición del proyecto, el análisis del potencial de progreso, la organización del plan de acciones y su implantación. Así se completa un primer ciclo de innovación ambiental. Los procedimientos y herramientas, explicadas en la parte teórica de esta tesis doctoral, se utilizan de una forma práctica.

Los valores utilizados son representativos de la práctica realizada, pero han sido adaptados para mantener la confidencialidad de los datos de la empresa, manteniéndose la validez y consistencia de los resultados obtenidos.

Para la realización del estudio de caso se presuponen los siguientes principios, tal y como se explicarán en los sucesivos apartados:

- Una referencia de producto es representativa de toda la fabricación.
- Sólo la referencia identificada se fabrica.
- Cinco ajustes de máquinas por turno, estimados de acuerdo al histórico del año anterior.

- El análisis de milipuntos incluye la consideración del material reutilizado y/o recuperado.
- Los marcadores de la situación final se definen en función del *takt time* de mercado considerado.

## 5.2 Empresa de fabricación de tubos conformados.

El estudio empírico de esta tesis doctoral se desarrolla en una empresa de ámbito familiar, con más de 45 años de experiencia en el sector de conformado de tubos. Especializada en el tratamiento y manipulación de tubos para usos industriales, en distintos materiales (cobre, aluminio, latón, acero galvanizado,...), y con fines tales como conducción de gas y agua, circuitos hidráulicos, estructuras soldadas, accesorios para máquinas... Pertenece al segmento de las pequeñas empresas con 38 trabajadores y un volumen de ventas anual de 3 millones de euros (situación inicial). Asimismo, dispone del certificado ISO 9001. Su cartera de clientes está distribuida entre distintas empresas, siendo el 50% de la producción orientada principalmente a tres de ellas. La empresa está localizada en un pabellón dentro de un polígono industrial, con una superficie total de 2.000 metros cuadrados.

Se fabrican distintos tipos de piezas, como por ejemplo asas, tiradores y tubos. Centrándonos en los tubos, éstos se producen para distintos fines: de conducción, bandejeros, para sillas y mesas, intercambiadores, calefacción, cafeteras, salpicaderos, automoción... En consecuencia, la empresa dispone de procesos específicos de fabricación de tubos: conformados, pre-tratados con anticorrosivos, soldaduras estancas, comprobaciones unitarias de estanqueidad y soldaduras especiales (cobre, aluminio, acero galvanizado,...)

Describiendo en mayor profundidad el *layout* de la empresa, la planta baja (representada en la siguiente Figura 5.1) dispone de una entrada de

mercancías por un lado, y por otro la zona de salida de los productos terminados. Desde la entrada hasta la salida se disponen distintas máquinas, que se utilizan en función de la pieza a realizar. En el primer piso, cubriendo una parte mínima de la superficie de producción, se localizan las oficinas, desde las que se tiene una visión directa de lo que ocurre en el taller, que no se representa en la Figura 5.1.

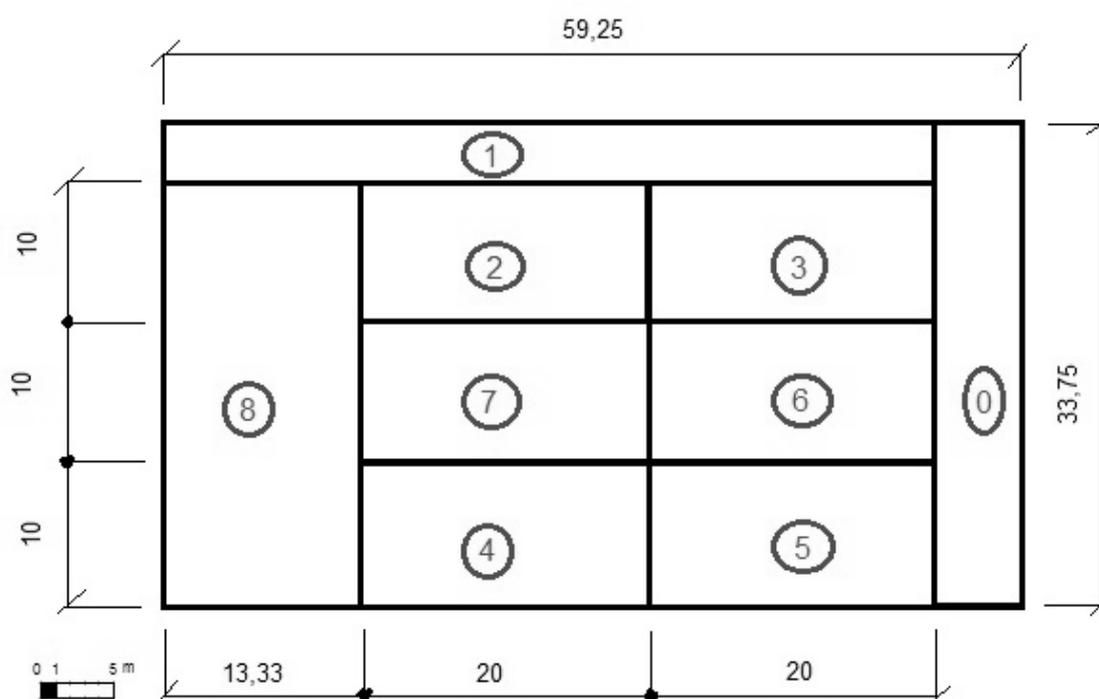


Figura 5.1: Distribución inicial fábrica conformado de tubos.  
Fuente: Elaboración propia.

Los puestos de trabajo se distribuyen de la siguiente manera: (0) recepción materia prima – 200 m<sup>2</sup>, (1) corte – 200 m<sup>2</sup>, (2) abocardado – 200 m<sup>2</sup>, (3) soldadura – 200 m<sup>2</sup>, (4) punzonado – 200 m<sup>2</sup>, (5) doblado – 200 m<sup>2</sup>, (6) control – 200 m<sup>2</sup>, (7) marcado – 200 m<sup>2</sup> y (8) salida de mercancías – 400 m<sup>2</sup>.

El número asignado a cada zona de trabajo se corresponde con la disposición que se sigue durante la producción del colector de referencia.

La recepción de los tubos (0) se realiza en el primer puesto de trabajo y éstos se ubican a lo largo del mismo. En función de la orden de fabricación se coloca

un tipo de tubo u otro en la máquina de corte del primer puesto (1). Los tubos cortados, de acuerdo a la longitud definida, se deslizan por una rampa hasta una cubeta con agua y otros productos químicos, una especie de aguarrás, que limpian el material de impurezas. Los tubos, una vez secados al aire, y seleccionados en función de las características de su material, reciben un segundo proceso de transformación (2): el abocardado (ensanchar la boca de un tubo) de uno de los dos extremos. El tercer proceso es el cierre del otro extremo del tubo, soldando (3) una chapa.

En el cuarto puesto de trabajo se punzona el tubo (4). El quinto proceso es el doblado de los tubos (5). La complejidad de la fabricación radica en la cantidad de variantes de tubos conformados que la empresa debe fabricar, ya que, además de los distintos materiales utilizables, existen diferentes número de agujeros y doblados, siendo todos y cada uno de ellos en función de los requisitos de los clientes. No todos los tubos conformados pasan por estas dos etapas productivas.

A continuación, en el sexto puesto (6), se controla que todos los trabajos han sido correctamente realizados. Finalmente, si la prueba ha sido satisfactoria, se procede a su etiquetado (7) para una correcta trazabilidad (código de cliente, referencia de producto y fecha de fabricación), y a su ubicación (8) para su envío a destino.

Se puede considerar que la forma de trabajo de la empresa es una fabricación flexible, para una demanda tendiendo a estable en el tiempo, con una distribución homogénea de recursos. Estando, por tanto, dentro del tipo de empresa objetivo para el modelo planteado en esta tesis doctoral.

A continuación, se plantean una serie de condiciones de contorno para empezar la implantación. El criterio inicial es: seleccionar un producto en concreto como referencia, que sea representativo por su alto volumen de producción e impacto en ventas: un colector para sujetar los grifos que regulan el caudal de gas en una encimera de gas, o también llamada placa de cocción

de gas. En este caso concreto, dicha referencia escogida representa el 5% de la producción, y alcanza hasta el 50% si se consideran incluidas sus variantes (diferentes longitudes y formas). Este hecho permite inicialmente simplificar los cálculos de trabajo y, posteriormente, la generalización de los resultados que se obtengan.

En el contexto de esta tesis doctoral, por colector se entiende un tubo de acero galvanizado, con un cordón de soldadura estanco a lo largo del mismo, con un cierre en uno de sus extremos (por ejemplo una chapa soldada) y un abocardado en el otro. En el lado del abocardado se utiliza una tuerca o un racor (en función del modo de uso final del colector) para poder realizar la conexión de gas. El colector suele estar normalmente doblado (con forma de “L”, de “U” u otra geometría específica), a veces con chapas soldadas sobre la superficie del tubo, y siempre con agujeros donde posicionar las válvulas reguladoras del paso de gas, ya que su uso está destinado a encimeras de cocción y/o cocinas de gas.

### **5.3 Proyecto de implantación de un modelo de mejora eficiente y sostenible en una empresa de conformado de tubos, a través de procesos de innovación ambiental.**

El siguiente paso a dar es la definición del proyecto, marcando cuál será el alcance del mismo. Para ello, se realiza un estudio de la situación inicial de la empresa. Utilizando los correspondientes ficheros de trabajo, propuestos en la parte teórica, se anotan los primeros datos.

La siguiente Tabla 5.1 muestra los resultados de este análisis inicial:

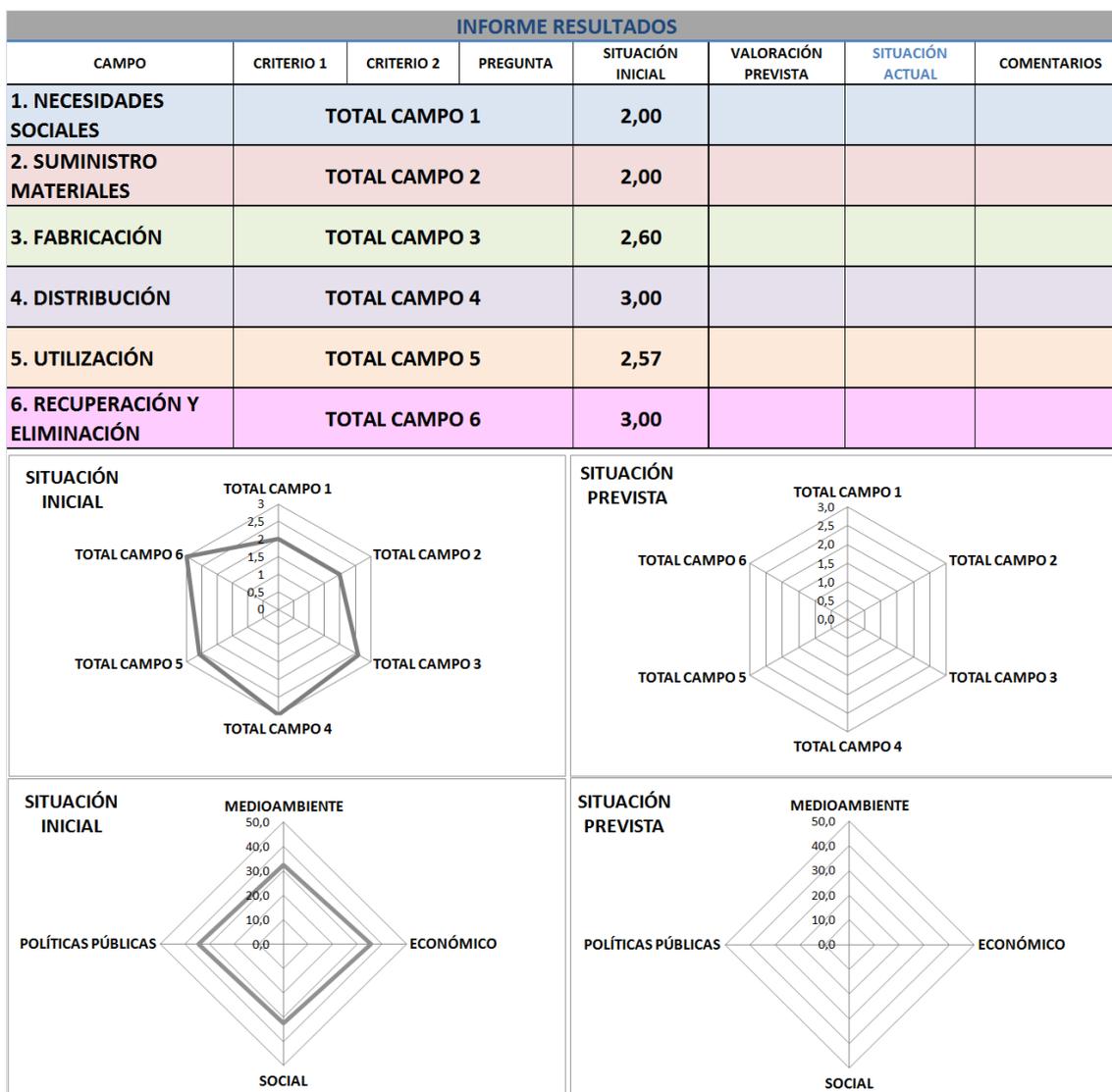


Tabla 5.1: Informe situación inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

El resultado de cada uno de los cuatro aspectos (medioambiental, económico, social y políticas públicas,) viene dado a partir de la siguiente Tabla 5.2, calculado tal y como se ha explicado en el apartado 4.3 de esta tesis doctoral:

|                    | EFECTO 1 - 1      |                  | EFECTO 1 - 1/2    |                  | TOTAL             |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|                    | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN FUTURA | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN FUTURA | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN FUTURA |
| MEDIOAMBIENTE      | 17                | 0                | 15,5              | 0                | 32,5              | 0,0              |
| ECONÓMICO          | 30                | 0                | 5,5               | 0                | 35,5              | 0,0              |
| SOCIAL             | 25                | 0                | 7,5               | 0                | 32,5              | 0,0              |
| POLÍTICAS PÚBLICAS | 18                | 0                | 16,5              | 0                | 34,5              | 0,0              |

Tabla 5.2: Valoración aspectos situación inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

En este caso concreto, los puntos fuertes de la organización son un contacto cercano con el cliente y un alto conocimiento del producto. El resultado es que los compradores valoran muy positivamente la colaboración con la empresa. Este hecho permite personalizar a las necesidades específicas de cada cliente cualquier producto que se fabrique, de una manera rápida y efectiva. Asimismo, el aspecto negativo, el volumen de cada unidad no es lo suficientemente elevado, con la consecuente pérdida de productividad y/o la acumulación de grandes stocks.

Igualmente se analiza la tendencia del mercado. El precio de los tubos conformados está manteniéndose, e incluso abaratándose, por la entrada de productos manufacturados en países con una mano de obra más barata. La consecuencia es que los márgenes comerciales son cada vez más reducidos.

El cuadro siguiente muestra, de manera simplificada, los principales datos económicos relacionados con la pieza de referencia, y su precio final de venta:

|                        |           |         |
|------------------------|-----------|---------|
| Coste material         | 1,21 €/un | 60,50 % |
| Coste fabricación      | 0,61 €/un | 30,36 % |
| Coste general          | 0,03 €/un | 1,67 %  |
| Beneficios             | 0,15 €/un | 7,47 %  |
| -----                  |           |         |
| Coste pieza referencia | 2,00 €/un |         |

Tabla 5.3: Datos económicos inicial pieza referencia.  
Fuente: Elaboración propia.

El mayor impacto se produce por el coste de material, seguido por los costes de fabricación.

A continuación, estas puntuaciones del análisis inicial se contrastan con los nuevos valores, identificados en esta tesis doctoral, para considerar el

producto: el medio ambiente, el desarrollo económico, la sociedad y las administraciones públicas. La visión objetivo (previa) de la empresa se define: ser una empresa referente en el mercado europeo. De esta forma se pretende dar un salto cualitativo en la empresa y garantizar su continuidad a medio/largo plazo.

Se proponen unos principios (previos) que acompañarán durante todo este proceso de volver a empezar:

- Producir de acuerdo a los requisitos del cliente.
  
- Realizar diseños de productos robustos.  
    Por diseño robusto se entiende desarrollar productos y procesos que cumplan consistentemente lo que se espera de ellos bajo una amplia gama de condiciones de uso durante su ciclo de vida (duración y fiabilidad).
  
- Promocionar y cuidar el personal humano.
  
- Eliminar desperdicios.
  
- Respetar los recursos para las generaciones futuras.

Estos principios constituyen, de forma general y aplicados a este caso concreto, la base del modelo de fabricación eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. Los principios reflejan los objetivos que describen la política de la organización para los años siguientes, atendiendo a todo el ciclo de vida del producto: proveedores, materias primas, componentes, almacén, fabricación, transporte, entrega, uso y reciclaje.

Esta información recopilada permite revisar y actualizar la visión objetivo (consolidada), que se convierte en: ser referente europeo en la fabricación de tubos conformados.

El siguiente paso a dar es analizar en mayor profundidad el estado real de la empresa. Con este fin, todas y cada una de las etapas del proceso productivo son examinadas en detalle, empezando desde la salida de materiales hasta la recepción de materias primas, pasando por todos los puestos intermedios. De acuerdo al orden que se propone en esta tesis doctoral: desde la demanda del cliente (salidas) hasta la materia prima (recepción), siguiendo el ritmo marcado por el *takt time*.

La Figura 5.2 siguiente representa de forma simplificada el proceso de fabricación:

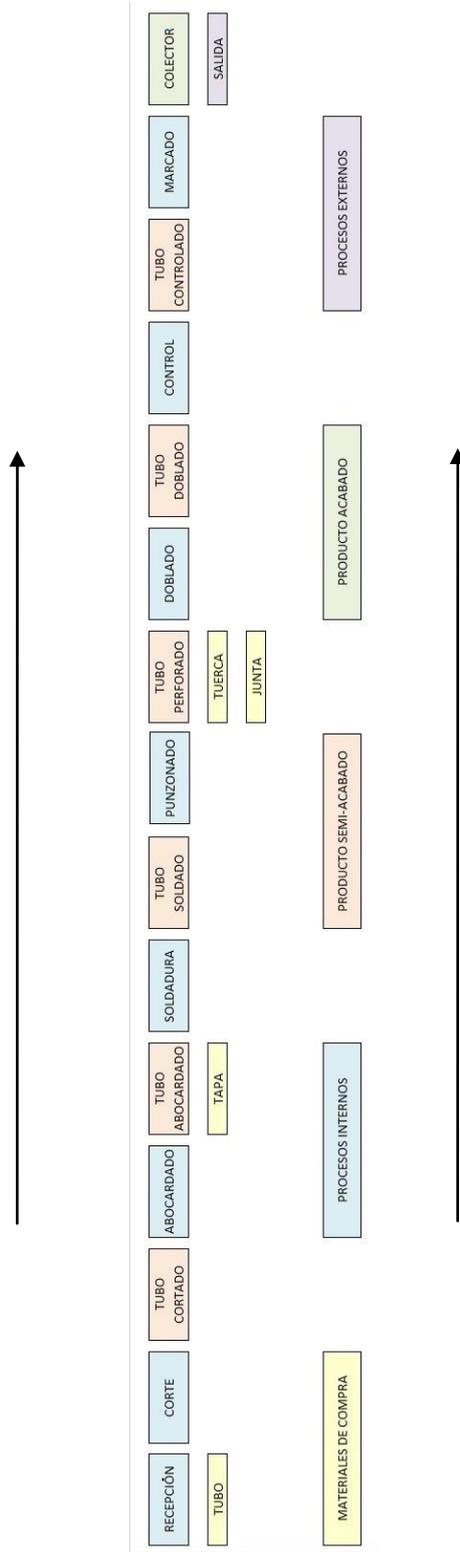


Figura 5.2: Esquema simplificado proceso de fabricación tubo referencia conformado.  
Fuente: Elaboración propia.

Las zonas de paso y de movimientos están incluidas en los espacios ocupados por cada puesto de trabajo, no existiendo por tanto zonas muertas o sin utilización.

Las Tablas siguientes, de 5.4 a 5.12, muestran el análisis en detalle realizado para cada una de las etapas del proceso de fabricación, siguiendo el sentido *pull* característico de este modelo.

| PROCESO:   | SALIDA DE MERCANCÍAS |                     |
|--|----------------------|---------------------|
| Espacio  | 400                  | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>             | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,11</b>          | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>                                    | <b>1,97</b>          |                     |
| Horas trabajo  | 8                    | hora/turno          |
| Número turnos  | 1                    | turno/día           |
| Pausas   | 15                   | minuto/turno        |
| Paradas  | 169                  | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>120,00</b>        | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>0,5</b>           | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 8.878                | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>200</b>           | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 0                    | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0                    | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 8.878                | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |                      | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>                                      | <b>300</b>           | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465                  | minuto              |
| Tiempo operativo   | 296                  | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>                                  | <b>16,015</b>        | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>                                    | <b>88,94</b>         | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 63,64                | %                   |
| Rendimiento  | 25,00                | %                   |
| Calidad  | 100,00               | %                   |
| Eficiencia General Equipo                                      | 15,91                | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>14,15</b>         | <b>%</b>            |
| Salida de material todos los días a primera hora de la mañana. |                      |                     |

Tabla 5.4: Análisis puesto de trabajo salida.  
Fuente: Elaboración propia.

Este puesto de trabajo focaliza la mayor parte del trabajo en las primeras horas del día, que es cuando se cargan los camiones que suministran a los proveedores. El resto del tiempo se dedica a realizar soporte a los demás puestos de trabajo, realizando tareas de movimiento de material en las zonas adyacentes.

| PROCESO:   | MARCADO       |                     |
|--|---------------|---------------------|
| Espacio  | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,18</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>                                | <b>0,00</b>   |                     |
| Horas trabajo  | 8             | hora/turno          |
| Número turnos  | 2             | turno/día           |
| Pausas   | 15            | minuto/turno        |
| Paradas  | 229           | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>20,00</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>                                      | <b>3</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 4.439         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>800</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 0             | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0             | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 4.439         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |               | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>                                  | <b>150</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo   | 236           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>                              | <b>0,00</b>   | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>                                | <b>100,00</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 50,71         | %                   |
| Rendimiento  | 94,12         | %                   |
| Calidad  | 100,00        | %                   |
| Eficiencia General Equipo                                  | 47,73         | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>47,73</b>  | <b>%</b>            |
| No aporta valor añadido, sólo información de trazabilidad. |               |                     |

Tabla 5.5: Análisis puesto de trabajo marcado.  
Fuente: Elaboración propia.

La labor de este puesto de trabajo está centrada en el marcado de las piezas, una vez sido verificadas en el puesto anterior. Este etiquetado de las piezas permite realizar su trazabilidad. La disponibilidad es muy baja ya que el tiempo de trabajo necesario es inferior al de los otros puestos de trabajo. El tiempo disponible se utiliza para descongestionar los posibles cuellos de botella que puedan aparecer en otros puestos, especialmente el de abocardado, realizando la operación en paralelo, para que el ritmo de producción se mantenga lo más alto posible.

| PROCESO:   | CONTROL       |                     |
|--|---------------|---------------------|
| Espacio  | 200           | m <sup>2</sup>      |
| Operarios  | 1             | persona             |
| Coste  | 0,23          | euro/un             |
| <b>Ratio medioambiental</b>  | <b>0,00</b>   |                     |
| Horas trabajo  | 8             | hora/turno          |
| Número turnos  | 2             | turno/día           |
| Pausas   | 15            | minuto/turno        |
| Paradas  | 141           | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>15,00</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>4</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 4.639         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>800</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 200           | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0             | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 4.439         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |               | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>  | <b>150</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo   | 324           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>  | <b>0,00</b>   | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>  | <b>100,00</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 69,63         | %                   |
| Rendimiento  | 95,52         | %                   |
| Calidad  | 95,69         | %                   |
| Eficiencia General Equipo  | 63,64         | %                   |
| <b>OEE</b>   | <b>63,64</b>  | <b>%</b>            |
| Detecta defectos que han pasado desapercibidos en las etapas anteriores de fabricación |               |                     |

Tabla 5.6: Análisis puesto de trabajo control.  
Fuente: Elaboración propia.

La tarea es verificar que todas las piezas son correctas. Aquí se detecta el mayor número de piezas defectuosas de todo el proceso. El mayor motivo de rechazo es la falta de estanqueidad en el colector, y por tanto una fuga de gas durante su fase de uso. El origen típico de este defecto es una colocación defectuosa de la tapa soldada en la zona de cierre. Otra posibilidad es que el cordón de soldadura esté dañado, bien al punccionar o bien al doblar. La posición de los agujeros así como un abocardado no centrado pueden ser también una razón de rechazo.

| PROCESO:  | DOBLADO      |                     |
|---|--------------|---------------------|
| Espacio   | 200          | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>  | <b>1</b>     | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>  | <b>0,30</b>  | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,08</b>  |                     |
| Horas trabajo   | 8            | hora/turno          |
| Número turnos   | 2            | turno/día           |
| Pausas  | 15           | minuto/turno        |
| Paradas   | 49           | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>   | <b>12,00</b> | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>   | <b>5</b>     | <b>segundo</b>      |
| Producción  | 4.641        | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>  | <b>800</b>   | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas  | 2            | pieza/turno         |
| Reprocesos  | 0            | pieza/turno         |
| Piezas buenas   | 4.639        | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal  |              | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>   | <b>300</b>   | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado  | 465          | minuto              |
| Tiempo operativo  | 416          | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>   | <b>1,753</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>98,79</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad  | 89,41        | %                   |
| Rendimiento   | 93,02        | %                   |
| Calidad   | 99,96        | %                   |
| Eficiencia General Equipo   | 83,14        | %                   |
| <b>OEEE</b>   | <b>82,13</b> | <b>%</b>            |
| La posición del cordón de soldadura es crítica.<br>Demasiadas operaciones manuales. |              |                     |

Tabla 5.7: Análisis puesto de trabajo doblado.  
Fuente: Elaboración propia.

El tubo es doblado en este puesto. El proceso del producto de referencia consiste en darle una curvatura de 90 grados, para que se ajuste a la geometría de la carcasa, que es donde se ubica el colector dentro de la placa de cocción de gas. La posición del colector en el utillaje es importante, porque existe una relación entre el posicionamiento de los agujeros y la zona de doblado. Si esta relación no es correcta, el tubo es rechazado al controlarlo.

| PROCESO:  | PUNZONADO     |                     |
|---|---------------|---------------------|
| Espacio   | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>  | <b>1</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>  | <b>0,32</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,00</b>   |                     |
| Horas trabajo   | 8             | hora/turno          |
| Número turnos   | 2             | turno/día           |
| Pausas  | 15            | minuto/turno        |
| Paradas   | 30            | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>   | <b>12,00</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>   | <b>5</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción  | 4.643         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>  | <b>800</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas  | 2             | pieza/turno         |
| Reprocesos  | 0             | pieza/turno         |
| Piezas buenas   | 4.641         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal  |               | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>   | <b>500</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado  | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo  | 435           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>   | <b>0,0073</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>99,99</b>  | <b>%</b>            |
| Disponibilidad  | 93,61         | %                   |
| Rendimiento   | 88,89         | %                   |
| Calidad   | 99,96         | %                   |
| Eficiencia General Equipo   | 83,17         | %                   |
| <b>OEEE</b>   | <b>83,17</b>  | <b>%</b>            |
| La realización de los agujeros se realiza uno a uno.<br>Pérdidas de tiempo y acumulación de stocks excesivos. |               |                     |

Tabla 5.8: Análisis puesto de trabajo punzonado.  
Fuente: Elaboración propia.

Se realizan los agujeros uno a uno en el colector, donde se montarán las válvulas reguladoras de la placa de cocción de gas. Una incorrecta ubicación y orientación de los agujeros, rebabas o una deformación de la superficie del colector alrededor de los agujeros, son razón de rechazo al realizar el control del producto. Las pepitas (los trozos del colector cortados) deben ser sacadas, una vez realizada la operación de punzonado.

| PROCESO:   | SOLDADURA     |                     |
|--|---------------|---------------------|
| Espacio  | 200           | m <sup>2</sup>      |
| Operarios  | 1             | persona             |
| Coste  | 0,31          | euro/un             |
| <b>Ratio medioambiental</b>  | <b>0,30</b>   |                     |
| Horas trabajo  | 8             | hora/turno          |
| Número turnos  | 2             | turno/día           |
| Pausas   | 15            | minuto/turno        |
| Paradas  | 11            | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>12,00</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>5</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 4.893         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>800</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 200           | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 50            | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 4.643         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |               | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>  | <b>450</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo   | 454           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>  | <b>6,8732</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>  | <b>95,25</b>  | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 97,55         | %                   |
| Rendimiento  | 89,89         | %                   |
| Calidad  | 94,89         | %                   |
| Eficiencia General Equipo  | 83,21         | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>79,26</b>  | <b>%</b>            |
| Transiciones de material entre este puesto de trabajo con el anterior y posterior son realizadas de forma manual por lotes de producción.<br>Pérdidas de tiempo y acumulación de stocks excesivos. |               |                     |

Tabla 5.9: Análisis puesto de trabajo soldadura.  
Fuente: Elaboración propia.

El colector es cerrado por la parte posterior, soldando una tapa de acero galvanizado. Es una soldadura por un punto que fija el tapón al colector. A pesar de estar diseñado el utillaje para esta operación específicamente, es la causa del mayor número de rechazos en el puesto de control. El alto stock existente posterior a esta etapa productiva es un claro indicador del potencial de mejora existente.

| PROCESO:  | ABOCARDADO    |                     |
|---|---------------|---------------------|
| Espacio   | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>  | <b>1</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>  | <b>0,40</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,00</b>   |                     |
| Horas trabajo   | 8             | hora/turno          |
| Número turnos   | 2             | turno/día           |
| Pausas  | 15            | minuto/turno        |
| Paradas   | 0,25          | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>   | <b>8,57</b>   | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>   | <b>7</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción  | 3.900         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>  | <b>800</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas  | 5             | pieza/turno         |
| Reprocesos  | 2             | pieza/turno         |
| Piezas buenas   | 3.893         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal  |               | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>   | <b>120</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado  | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo  | 464,75        | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>   | <b>0,00</b>   | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>100,00</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad  | 99,95         | %                   |
| Rendimiento   | 97,90         | %                   |
| Calidad   | 99,82         | %                   |
| Eficiencia General Equipo   | 97,67         | %                   |
| <b>OEEE</b>   | <b>97,67</b>  | <b>%</b>            |
| Identificado como cuello de botella. Si los tubos son muy largos no se pueden abocardar los dos extremos a la vez, siendo necesario un proceso manual paralelo calculado en 1.000 colectores/turno. |               |                     |

Tabla 5.10: Análisis puesto de trabajo abocardado.  
Fuente: Elaboración propia.

Un extremo del colector es abocardado, deformándose su geometría para disponer de una superficie de apoyo plana. En esta superficie deformada se utilizará una junta, que asegurará la estanqueidad de la conexión de gas al utilizar una rosca cilíndrica. El abocardado es el puesto de trabajo con mayor OEEE. Este hecho indica que, en caso de tener que aumentar la producción, aquí se produciría el cuello de botella.

| PROCESO:   | CORTE          |                     |
|--|----------------|---------------------|
| Espacio  | 200            | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>       | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,13</b>    | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>  | <b>1,73</b>    |                     |
| Horas trabajo  | 8              | hora/turno          |
| Número turnos  | 2              | turno/día           |
| Pausas   | 15             | minuto/turno        |
| Paradas  | 271            | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>30,00</b>   | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>2</b>       | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 4.900          | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>800</b>     | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 28             | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0              | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 4.872          | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |                | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>  | <b>300</b>     | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465            | minuto              |
| Tiempo operativo   | 194            | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>  | <b>16,6578</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>  | <b>88,49</b>   | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 41,71          | %                   |
| Rendimiento  | 84,21          | %                   |
| Calidad  | 99,43          | %                   |
| Eficiencia General Equipo  | 34,92          | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>30,91</b>   | <b>%</b>            |
| <p>Generación de residuos por no ajustarse la longitud del tubo a las longitudes cortadas. La cubeta con productos químicos carece de medidas de contención. Necesario revisar los elementos de seguridad para una correcta manipulación. Existe una segunda máquina en paralelo, que se ponen en funcionamiento en picos de demanda o durante los momentos de revisión de la máquina principal.</p> |                |                     |

Tabla 5.11: Análisis puesto de trabajo corte.  
Fuente: Elaboración propia.

El corte es la operación más rápida del proceso productivo, teniendo la alimentación y la salida de material automáticas. Dispone de un depósito con productos químicos a la salida de los colectores cortados, con el objetivo de limpiar los tubos de todo tipo de impurezas, tanto por dentro como por fuera. Los tubos están disponibles para su utilización una vez que se han secado al aire.

| PROCESO:   | RECEPCIÓN       |                     |
|--|-----------------|---------------------|
| Espacio  | 200             | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>        | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,01</b>     | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>  | <b>141,51</b>   |                     |
| Horas trabajo  | 8               | hora/turno          |
| Número turnos  | 1               | turno/día           |
| Pausas   | 15              | minuto/turno        |
| Paradas  | 390             | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>500,00</b>   | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>0,12</b>     | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 25.000          | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>5.000</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 0               | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0               | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 25.000          | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   |                 | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>  | <b>300</b>      | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465             | minuto              |
| Tiempo operativo   | 75              | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>  | <b>103,4737</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>  | <b>28,53</b>    | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 16,13           | %                   |
| Rendimiento  | 66,67           | %                   |
| Calidad  | 100,00          | %                   |
| Eficiencia General Equipo  | 10,75           | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>3,07</b>     | <b>%</b>            |
| La disponibilidad y el rendimiento en este puesto de trabajo son muy bajos, por debajo del 50%. Sólo dos días a la semana entrada de material. |                 |                     |

Tabla 5.12: Análisis puesto de trabajo recepción.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta estación de trabajo requiere una utilización puntual de recursos, centrada en los dos días de recepción de material. El resto del tiempo se utiliza para tareas de mantenimiento. Aquí se concentran el mayor impacto ambiental (se incluye la materia prima) y el menor índice OEEE.

El siguiente paso, para completar el análisis del flujo de valor, es la inclusión del coste de cada una de las etapas del proceso de fabricación. Para ello se añade el importe que supone cada una de las fases en el valor final del producto de referencia. También se anota el precio que tiene cada uno de los stocks intermedios, para identificar los costes en material inmovilizado y que no aportan valor a la empresa. El cálculo de los costes, de forma resumida, se realiza de acuerdo a la Tabla 5.13 siguiente:

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                              |                        |                      |              |
|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| TRABAJADOR CUELLO BLANCO (8) | 345.600 €/año          |                      |              |
| TRABAJADOR CUELLO AZUL (30)  | 810.000 €/año          |                      |              |
| GASTOS GENERALES             | 57.780 €/año           | <b>COSTE GENERAL</b> |              |
|                              | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad          | %            |
|                              | 0,19 €/segundo         | <b>0,61</b>          | <b>30,35</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                     |                      |             |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año        |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año        | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 56.910 €/año        | euro/unidad          | %           |
|                               | <b>66.910 €/año</b> | <b>0,03</b>          | <b>1,67</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|            |                      |
|------------|----------------------|
| RECEPCIÓN  | 0,01 €/unidad        |
| CORTE      | 0,13 €/unidad        |
| ABOCARDADO | 0,40 €/unidad        |
| SOLDADURA  | 0,31 €/unidad        |
| PUNZONADO  | 0,32 €/unidad        |
| DOBLADO    | 0,30 €/unidad        |
| CONTROL    | 0,23 €/unidad        |
| MARCADO    | 0,18 €/unidad        |
| SALIDA     | 0,11 €/unidad        |
|            | <b>2,00 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 2.400.320 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 16.000 €/año           | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.000 €/año            | euro/unidad           | %            |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>2.418.320 €/año</b> | <b>1,21</b>           | <b>60,50</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 55.476 €/año         | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 241.832 €/año        | euro/unidad       | %           |
| RECUPERACION CHATARRA               | 1.412 €/año          | <b>0,15</b>       | <b>7,47</b> |
|                                     | <b>298.720 €/año</b> |                   |             |

|                             |                        |  |  |
|-----------------------------|------------------------|--|--|
| <b>TOTAL COSTES</b>         | <b>3.997.331 €/año</b> |  |  |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>2,00 €/unidad</b>   |  |  |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,06 €/segundo</b>  |  |  |

Tabla 5.13: Valores cálculo inicial coste referencia.  
Fuente: Elaboración propia.

El flujo de valor añadido ambiental de la pieza de referencia se identifica. La Tabla 5.14 a continuación muestra la información referente a las distintas actividades y tiempos de proceso del conformado de tubos, en la situación inicial antes de la mejora.

| PROCESO                                 | OPERACIÓN | DESCRIPCIÓN                     | UNIDAD (U)<br>LOTE (L) | TIEMPO (s) |         |
|---|-----------|---------------------------------|------------------------|------------|---------|
| RECEPCIÓN<br>(0)                        | 00        | Recogida                        | L                      | 300        | 0,06    |
|   | 01        | Disposición                     | U                      |            | 0,12    |
| Total recepción                         |           |                                 |                        | 300        | 0,18    |
| CORTE<br>(1)                            | 10        | Llevar tubos a proceso de corte | L                      | 150        | 0,1875  |
|   | 11        | Corte tubo                      | U                      | 2          | 2       |
|   | 12        | Limpia y almacenar tubos        | L                      | 150        | 0,1875  |
| Total corte                             |           |                                 |                        | 302        | 2,375   |
| ABOCARDADO<br>(2)                       | 20        | Cargar máquina                  | L                      | 80         | 0,1     |
|   | 21        | Abocardar                       | U                      | 7          | 7       |
|   | 22        | Descargar máquina               | L                      | 40         | 0,05    |
| Total abocardado                        |           |                                 |                        | 127        | 7,15    |
| SOLDADURA<br>(3)                        | 30        | Cargar máquina                  | L                      | 300        | 0,375   |
|   | 31        | Soldar                          | U                      | 5          | 5       |
|   | 32        | Descargar máquina               | L                      | 150        | 0,1875  |
| Total soldadura                         |           |                                 |                        | 455        | 5,5625  |
| PUNZONADO<br>(4)                        | 41        | Cargar máquina                  | L                      | 350        | 0,4375  |
|   | 42        | Perforar                        | U                      | 5          | 5       |
|   | 43        | Descargar máquina               | L                      | 150        | 0,1875  |
| Total perforado                         |           |                                 |                        | 505        | 5,625   |
| DOBLADO<br>(5)                          | 50        | Cargar máquina                  | L                      | 200        | 0,25    |
|   | 51        | Doblar                          | U                      | 5          | 5       |
|   | 52        | Descargar máquina               | L                      | 100        | 0,125   |
| Total doblado                           |           |                                 |                        | 305        | 5,375   |
| CONTROL<br>(6)                          | 60        | Cargar máquina                  | L                      | 100        | 0,125   |
|   | 61        | Control pieza                   | U                      | 4          | 4       |
|   | 62        | Descargar pieza                 | L                      | 50         | 0,0625  |
| Total control                           |           |                                 |                        | 154        | 4,1875  |
| MARCADO<br>(7)                          | 70        | Cargar máquina                  | L                      | 50         | 0,0625  |
|   | 71        | Identificar pieza               | U                      | 3          | 3       |
|   | 72        | Descargar máquina               | L                      | 50         | 0,0625  |
|   | 73        | Llevar pieza a almacén          | L                      | 50         | 0,0625  |
| Total marcado                           |           |                                 |                        | 153        | 3,1875  |
| SALIDA<br>(8)                           | 80        | Envío                           | L                      | 50         | 1,5     |
|   | 81        | Disposición                     | U                      |            | 0,5     |
| Total salida                            |           |                                 |                        | 50         | 2       |
| TOTAL PROCESOS (segundo primera unidad) |           |                                 |                        | 2.301      |         |
| TOTAL PROCESOS (segundo/unidad)         |           |                                 |                        |            | 35,6425 |

Tabla 5.14: Actividades y tiempos del conformado colector referencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Los campos de cada etapa productiva se identifican en el flujo de valor de innovación ambiental de acuerdo a la Tabla 5.15 que se presenta a continuación:

|   |
|---|
| <b>PROCESO</b>                            |
| Operarios<br>(unidad)                     |
| Coste<br>(Euro/unidad)                    |
| <b>Ratio medioambiental</b>               |
| Tiempo ciclo<br>(unidad/minuto)           |
| Tiempo proceso<br>(segundo)               |
| Tamaño lote<br>(unidad)                   |
| Tiempo preparación<br>(segundo)           |
| <b>Impacto medioambiental (milipunto)</b> |
| <b>Innovación ambiental (%)</b>           |
| Disponibilidad (%)                        |
| Eficiencia (%)                            |
| Calidad (%)                               |
| OEE (%)                                   |
| <b>OEEE (%)</b>                           |

Tabla 5.15: Identificación campos flujo de valor de innovación ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente Figura 5.3 muestra el flujo de valor de innovación ambiental respecto a la situación inicial de análisis:

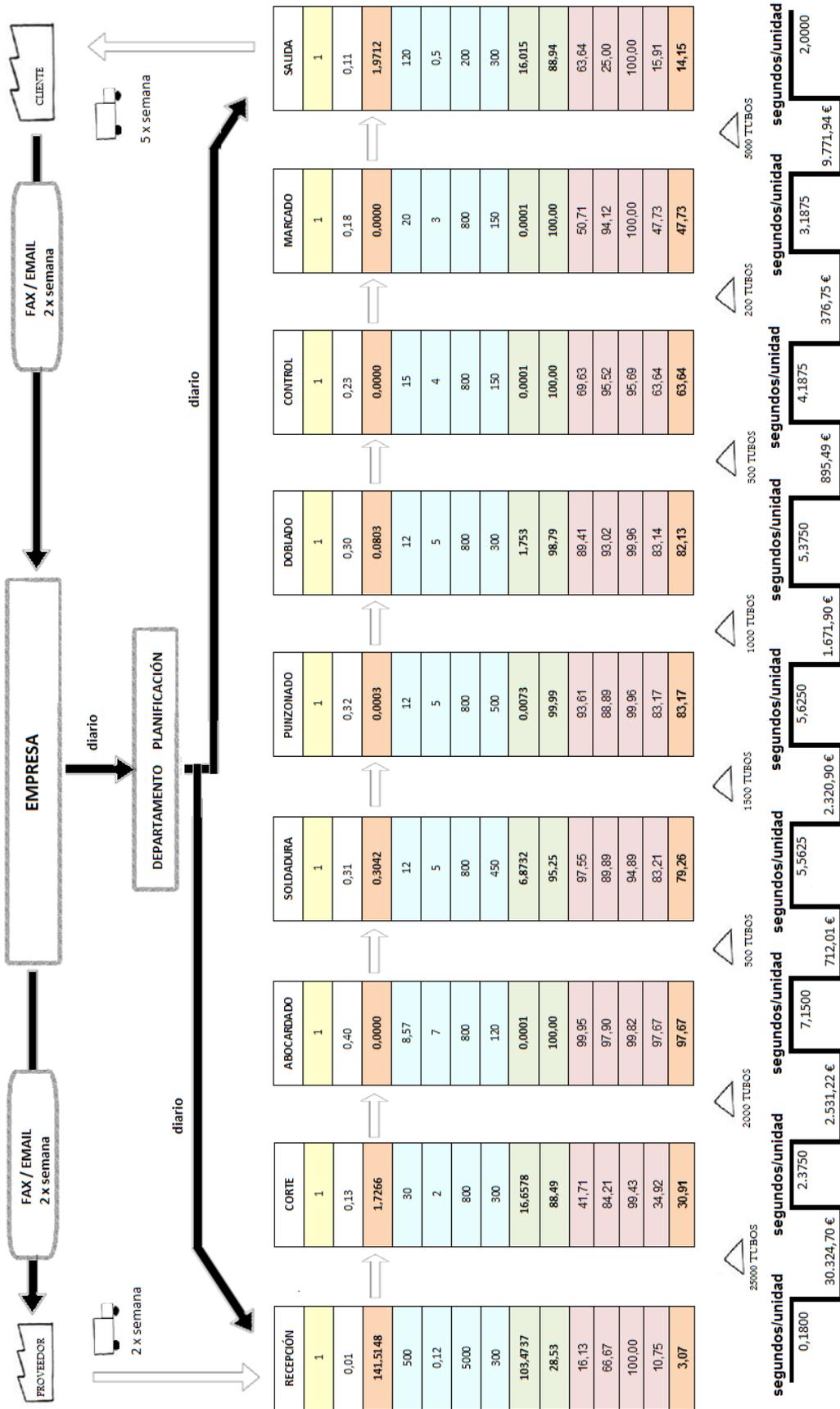


Figura 5.3: Flujo de valor de innovación ambiental inicial  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5.3 anterior muestra el flujo de material según las condiciones iniciales, para un turno de trabajo. La distribución se corresponde a un tipo de fabricación donde se prima aumentar la productividad de cada puesto de trabajo al máximo, situación típica de una fabricación por lotes.

Cada una de las etapas identificadas en el análisis del flujo de valor ambiental se analiza, de acuerdo a los cuatro criterios de valor y a los seis campos, identificados en el modelo de mejora eficiente y sostenible propuesto.

Las conclusiones que se obtienen están vinculadas a mejoras en los procesos, en los utillajes, en la disposición en planta, comunicación entre procesos, implantación de herramientas visuales de mejora, automatización,...

Respecto a las mejoras medioambientales realizables, a pesar de cumplir con los requisitos legales, destaca que no existe un conocimiento exacto sobre la legislación medioambiental aplicable y voluntaria (NTP), por lo que ésta será un primer punto de actuación importante:

- Los principales residuos químicos identificados son un disolvente halogenado en el puesto de corte y aceites de las distintas máquinas. Estos productos no están correctamente etiquetados para su correcta manipulación (recipientes “blancos”). El puesto de corte carece de cubetas de retención para los productos de limpieza.
- No existe un sistema de gestión completo de los residuos contaminados generados por los productos químicos utilizados, como por ejemplo recibir la cumplimentación de su recepción por el gestor de residuos.
- Una formación/sensibilización a los trabajadores sobre cuestiones medioambientales y una actualización de todos los etiquetados de los productos químicos es necesaria.

En base a toda la información recopilada respecto a la situación inicial de la empresa, se plantean los objetivos alcanzables en la situación futura. Dichos objetivos por un lado motivarán y por otro lado serán alcanzables, ya que si no, todo el proyecto estaría abocado al fracaso.

| INFORME RESULTADOS            |               |            |          |                   |                     |                  |             |
|-------------------------------|---------------|------------|----------|-------------------|---------------------|------------------|-------------|
| CAMPO                         | CRITERIO 1    | CRITERIO 2 | PREGUNTA | SITUACIÓN INICIAL | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL | COMENTARIOS |
| 1. NECESIDADES SOCIALES       | TOTAL CAMPO 1 |            |          | 2,00              | 0,67                |                  |             |
| 2. SUMINISTRO MATERIALES      | TOTAL CAMPO 2 |            |          | 2,00              | 1,29                |                  |             |
| 3. FABRICACIÓN                | TOTAL CAMPO 3 |            |          | 2,60              | 1,40                |                  |             |
| 4. DISTRIBUCIÓN               | TOTAL CAMPO 4 |            |          | 3,00              | 0,67                |                  |             |
| 5. UTILIZACIÓN                | TOTAL CAMPO 5 |            |          | 2,57              | 0,86                |                  |             |
| 6. RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN | TOTAL CAMPO 6 |            |          | 3,00              | 1,00                | 1,50             |             |

**SITUACIÓN ACTUAL**

**SITUACIÓN PREVISTA**

**SITUACIÓN ACTUAL**

**SITUACIÓN PREVISTA**

Tabla 5.16: Objetivos situación prevista.  
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5.16 anterior identifica los valores futuros/previstos que quiere alcanzar la empresa. El resultado de cada uno de los cuatro aspectos (medioambiental, económico, social y políticas públicas,) viene dado a partir de la siguiente Tabla 5.17:

|                           | EFECTO 1 - 1      |                    | EFECTO 1 - 1/2    |                    | TOTAL             |                    |
|---------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                           | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN PREVISTA |
| <b>MEDIOAMBIENTE</b>      | 17                | 9                  | 15,5              | 7,5                | 32,5              | 16,5               |
| <b>ECONÓMICO</b>          | 30                | 12                 | 5,5               | 3                  | 35,5              | 15,0               |
| <b>SOCIAL</b>             | 25                | 15                 | 7,5               | 3                  | 32,5              | 18,0               |
| <b>POLÍTICAS PÚBLICAS</b> | 18                | 10                 | 16,5              | 9,5                | 34,5              | 19,5               |

Tabla 5.17: Valoración aspectos situación prevista.  
Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de la visión de futuro, junto con la situación de la empresa y los objetivos de cambio marcados, se definen tres planes de acción: *layout*, procesos y material. Este hecho exige revisar los principios (consolidados) quedando así definidos:

1. Producir de acuerdo a los requisitos del cliente.

Este principio consiste en suministrar al cliente el producto deseado, tanto en el momento, como en la cantidad, la calidad y el precio. En términos de fabricación significa que sólo se producirán aquellos productos que vayan a ser vendidos, eliminándose así stocks de material terminado, en producción, componentes y materias primas.

2. Realizar diseños de productos robustos.

La empresa se debe convertir en un referente a nivel europeo, introduciendo antes que la competencia nuevos productos, controlando los costes y alcanzando la calidad exigida por el cliente. La gestión de los riesgos y el apoyo de la gerencia son fundamentales para solventar los momentos críticos, que puedan aparecer. No será posible realizar diseños de productos robustos si no existen procesos, que sean conocidos y utilizados por los trabajadores de forma estable y eficiente.

### 3. Motivar los recursos humanos.

Los trabajadores deben ser emprendedores, con capacidad de reacción ante nuevos retos, y motivación para completar todas las acciones que sean necesarias. Cuidar la formación continua, la polivalencia y la experiencia de toda la plantilla es fundamental.

### 4. Eliminar desperdicios y respetar los recursos para generaciones futuras.

La empresa debe ser responsable con los recursos que utiliza, ya que de la misma forma que está formada por personas, también los clientes son personas que conviven con la empresa. Por ello, desde la importancia que adquiere el producto, se deben satisfacer los requisitos universales que nacen del desarrollo sostenible, protegiendo así a las futuras generaciones.

Destacan tres aspectos principales a mejorar, de acuerdo a los tres planes de acción identificados. Primero, la distribución en planta de los puestos de trabajo. Segundo, los procesos en el sistema de fabricación. Tercero, el material que se utiliza.

- Plan de acción *layout*. Una mejora en la distribución de los puestos de trabajo va a permitir reducir los stocks entre los mismos y mejorar el flujo de los productos.
- Plan de acción procesos. Una revisión de los procesos orientados a mejorar la respuesta al *takt time* del mercado.
- Plan de acción material. Una alternativa (innovadora ambientalmente) a los recursos utilizados.

## 5.4 Hitos principales.

Cada uno de los planes de acción determina y prioriza los aspectos ambientales, genera y evalúa ideas de mejora, y destaca los conceptos a desarrollar. Finalmente evalúa las distintas alternativas, y selecciona las propuestas válidas para alcanzar la situación de futuro planteada.

El motor que va a impulsar a cada uno de los planes de acción es un enfoque basado en la innovación ambiental de las medidas a desarrollar. Este punto de vista es el que va a hacer posible la transformación, desde la situación inicial de la empresa, a un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.

¿Cómo es posible identificar cuándo y dónde realizar la innovación ambiental? El indicador ratio medioambiental da una orientación muy clara de cuáles son las etapas productivas con un mayor potencial: recepción (141,51), corte (1,73) y salida (1,97). Los otros puestos tienen un ratio medioambiental inferior a la unidad, por lo que cualquier innovación que se realice va a suponer una mínima mejora del producto final.

Hay que tener en cuenta que, para este cálculo, se ha incluido tanto en recepción (materia prima) como en salida (producto terminado) el ratio medioambiental del transporte.

La materia prima del tubo se considera que se recicla como metal, por lo que en el resultado final del impacto ambiental se resta este valor.

Asimismo, tanto en la etapa de control como en la de marcado, se ha considerado despreciable el consumo de energía por unidad de colector, para simplificar el cálculo dado su bajo valor.

Importante recordar, que en la fase de análisis de los resultados se deben mantener los mismos criterios aplicados en esta fase de medida, como por ejemplo el reciclado de la materia prima del tubo. Este hecho es el que da coherencia y consistencia a los valores y conclusiones que se obtengan. El criterio de análisis debe mantenerse constante.

#### 5.4.1 Plan de acción material.

El plan de acción material tiene el mayor reto por delante, ya que es el campo que tiene mayor influencia en la innovación ambiental, dado el tipo de producto y procesos. El motivo es doble. Por un lado el coste de material representa la partida más importante dentro del precio del colector (60,50%), y por el otro lado es el que tiene mayor valoración en milipuntos (103,47), de acuerdo a la tabla de Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000).

El material DX53D+Z275 (UNE-EN 10346, 2010) utilizado como materia prima es el origen del debate. Se barajan dos opciones. La primera alternativa es trabajar sobre el recubrimiento de protección que tiene el tubo (Z275), y la segunda posibilidad es cambiar el material base (DX53D).

En referencia a la protección del tubo, el parámetro actual es una capa de 275 micras de Zinc. Según el Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) los milipuntos por kg para el Zinc son 7.800. En este caso el Zinc es un componente con un alto impacto ambiental, así que la innovación se debe basar en reducir el espesor o en buscar una alternativa de protección con menor impacto ambiental. Una elección interesante es el aluminio, con un impacto ambiental medido en milipuntos por kg de 60. Lamentablemente el uso de este acabado superficial requiere de una serie de compromisos por los clientes, que hacen inviable temporalmente esta opción. La reducción del espesor de Zinc también supone una disminución de la prestación final del producto frente a la oxidación, pero es aceptable ya que se mantiene por encima del requisito solicitado por los

clientes. En consecuencia, respecto al espesor de la capa de protección, se comprueba y se valida una reducción hasta las 120 micras de Zinc.

Respecto al tipo de acero utilizado, DX53D, se contemplan también dos caminos. Una evolución o una revolución. La evolución consiste en utilizar un material similar con un menor impacto ambiental y coste, como puede ser el DX51D. La revolución consistiría en utilizar un material completamente distinto, pero que también pudiese cumplir con las funciones requeridas por el cliente y la sociedad, cumpliendo las leyes (obligatorias y voluntarias) aplicables y con un mayor margen de beneficio final. Con la experiencia adquirida en la búsqueda de acabados superficiales alternativos, se identifica el aluminio como una opción de futuro. Debido a los plazos del proyecto y a los cambios profundos que supondría para los métodos productivos, la implantación del colector de aluminio queda pospuesta para un nuevo ciclo de innovación ambiental.

Continuando con el análisis del material utilizado, las características mecánicas de dicho material base DX53D son válidas hasta tres meses, y tras este plazo de tiempo ya no se puede utilizar más para su conformado. Sin embargo, el plazo de trabajo del material alternativo propuesto, DX51D, es de tanto sólo un mes. Dadas las características del proceso de fabricación inicial, la sustitución del DX53D por el DX51D no es posible. Es necesario reducir los tiempos de utilización de material en el almacén así como de los stocks intermedios. Como consecuencia aparece un nuevo requisito para el sistema productivo, desde que el material es recibido hasta su conformado el plazo debe ser inferior a un mes. En relación a los utillajes y máquinas utilizadas, aunque el DX51D es un poco más blando, se pueden mantener los mismos parámetros en todos los puestos de trabajo (soldadura, doblado, punzonado,...).

El plan de acción material consigue realizar una importante innovación ambiental al utilizar un material alternativo DX51D y un menor espesor de recubrimiento Z120, que va a atacar el principal creador de milipuntos, que se constatará en el parámetro de ratio medioambiental. De igual manera va a

influir en los cambios que se promoverán desde los otros planes de acción, ya que impone nuevos criterios, como el tiempo de material en curso desde su recepción o utillajes adaptados a una evolución del material actual, que se deben de cumplir. Este cambio produce una doble mejora, tanto medioambientalmente como económicamente, tal y como se demostrará posteriormente en los gráficos de contraste y de análisis de resultados.

#### 5.4.2 Plan de acción *layout*.

Orientado hacia la distribución en planta de los distintos procesos, el plan de acción *layout* analiza cuál es la distribución más sostenible y eficiente que se puede adoptar, sin perder de referencia los otros planes de acción.

Un operario está ubicado en la distribución inicial de cada uno de los puestos de trabajo. Adicionalmente los trabajadores de la recepción y salida de mercancías colaboran en la realización de los movimientos internos. Estos movimientos internos se producen entre los distintos puestos de trabajo, y debido a la difícil relación entre los mismo, siempre se producen situaciones críticas e incómodas para un correcto flujo de material.

El plan de acción *layout* detecta los siguientes desperdicios en esta situación inicial:

1. Sobreproducción: cada proceso está optimizado individualmente, sin tener en cuenta el flujo con los demás procesos.
2. Stocks intermedios: alta cantidad de material almacenado entre los puestos de trabajo, debido a la distancia entre éstos y al tiempo necesario para ajustar las máquinas.

3. Transporte: los movimientos internos de los tubos están entrelazados, recorriendo grandes distancias e interfiriendo con los puestos de trabajo durante su traslado.

El objetivo del plan de acción *layout* es reducir los recorridos y facilitar el flujo unitario, incluyéndose el requisito de tiempo máximo de utilización del DX51D+Z120 (UNE-EN 10346, 2010) de un mes, definido en el plan de acción material. La ilustración siguiente muestra la nueva distribución de la fábrica. Los puestos de trabajo han cambiado de ubicación y algunos se han unificado:

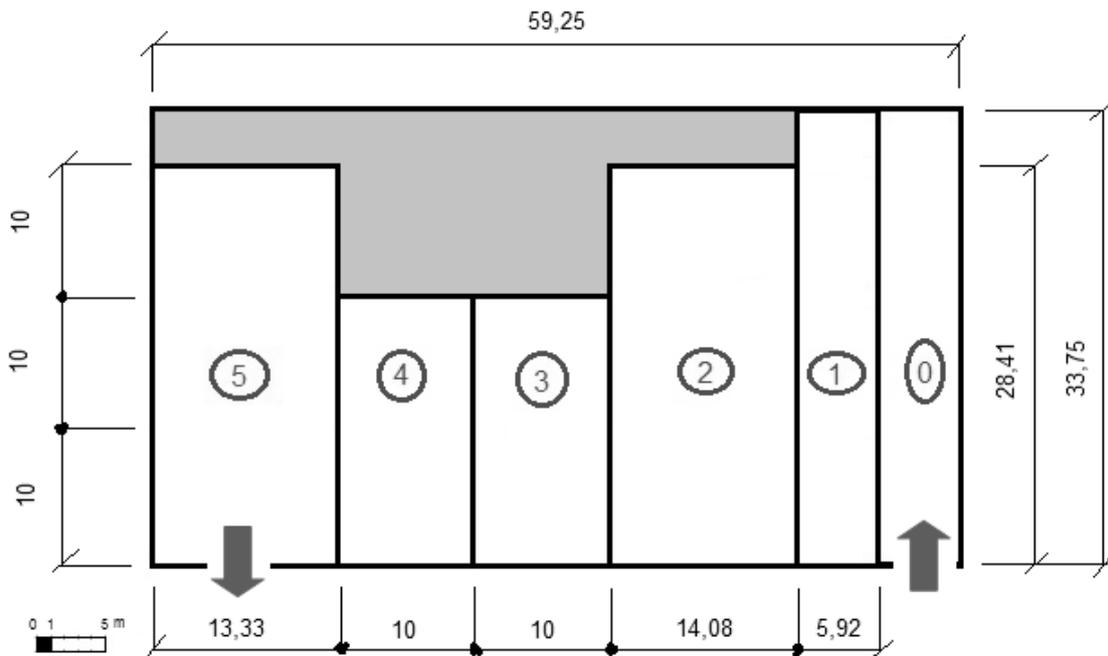


Figura 5.4: Distribución final fábrica conformado de tubos.  
Fuente: Elaboración propia.

Los puestos de trabajo se distribuyen de la siguiente manera: (0) recepción materia prima – 200 m<sup>2</sup>, (1) corte – 200 m<sup>2</sup>, (2) abocardado y soldadura – 400 m<sup>2</sup>, (3) punzonado y doblado – 200 m<sup>2</sup>, (4) control y marcado – 200 m<sup>2</sup>, (5) salida de mercancías – 400 m<sup>2</sup>. En fondo gris se identifica la nueva zona liberada – 400 m<sup>2</sup>.

El mayor reto de este cambio es la etapa de limpieza de los tubos, tras el corte a la longitud deseada, que consiste en una pila con diversos detergentes en la

que los tubos caen. Una vez que los tubos se han recogido en esta pila, se saca la cesta con los tubos cortados y se deja reposar para que se sequen los tubos. Esta etapa tiene un ratio medioambiental calculado superior a la unidad (1,73), por lo que una innovación ambiental puede mejorar la situación.

El nuevo *layout* debe ofrecer una alternativa a este proceso de limpieza, innovando ambientalmente, ya que choca contra un proceso orientado al flujo unitario que se quiere implantar. El secado de los tubos al aire requiere un stock intermedio necesario.

La solución es incluir un mini paso de soplado en la máquina cortadora. De esta forma, según los tubos son cortados y caen por una rampa, se detienen y se soplan, y se siguen dejando caer hasta la cesta de lote 50 unidades, para ser transportados al siguiente puesto de trabajo. La pila con detergentes ya no es necesaria.

Esta nueva mini etapa en la máquina cortadora debe ser similar o menor que el tiempo requerido por la máquina para realizar el corte. Para que todo fluya al mismo ritmo, se condiciona el tiempo de soplado al tiempo que necesita la máquina para cortar el tubo, es decir, la máquina debe posicionar el tubo en función de la longitud a cortar, cuanto más largo sea el tubo más tiempo va a necesitar para posicionar el tubo, y por tanto más tiempo se dispone para realizar el soplado.

De forma global, la implantación del nuevo *layout* elimina los desperdicios detectados en la situación inicial, ya no existen stocks intermedios ni movimientos innecesarios, la distancia recorrida por cada unidad también se ha reducido. Asimismo, la producción se ha ajustado a la demanda del mercado. La Tabla 5.18 siguiente muestra la nueva distribución de actividades y tiempos en la fábrica de conformado de tubos, después de aplicar el plan de acción *layout*.

| PROCESO                                 | OPERACIÓN | DESCRIPCIÓN              | UNIDAD (U)<br>LOTE (L) | TIEMPO (s) |         |
|---|-----------|--------------------------|------------------------|------------|---------|
| RECEPCIÓN<br>(0)                        | 00        | Recogida                 | L                      | 300        | 0,06    |
|   | 01        | Disposición              | U                      |            | 0,12    |
| Total recepción                         |           |                          |                        | 300        | 0,18    |
| CORTE<br>(1)                            | 10        | Cargar máquina           | L                      | 150        | 0,1875  |
|   | 11        | Cortar tubo              | U                      | 2          | 2       |
| Total corte                             |           |                          |                        | 152        | 2,1875  |
| ABOCARDADO<br>SOLDADURA<br>(2)          | 20        | Cargar máquina           | L                      | 300        | 0,375   |
|   | 21        | Abocardar tubo           | U                      | 7          | 7       |
|   | 22        | Soldar                   | U                      | 5          | 5       |
| Total abocardado y soldadura            |           |                          |                        | 312        | 12,375  |
| PUNZONADO<br>DOBLADO<br>(3)             | 30        | Cargar máquina           | L                      | 350        | 0,4375  |
|   | 31        | Perforar                 | U                      | 5          | 5       |
|   | 32        | Doblar                   | U                      | 5          | 5       |
| Total perforado y doblado               |           |                          |                        | 360        | 10,4375 |
| CONTROL<br>MARCADO<br>(4)               | 41        | Cargar máquina           | L                      | 100        | 0,125   |
|   | 42        | Controlar y marcar pieza | U                      | 3          | 3       |
|   | 43        | Llevar pieza a almacén   | L                      | 50         | 0,0625  |
| Total control y marcado                 |           |                          |                        | 153        | 3,1875  |
| SALIDA<br>(5)                           | 50        | Envío                    | L                      | 50         | 1,5     |
|   | 51        | Disposición              | U                      |            | 0,5     |
| Total salida                            |           |                          |                        | 50         | 2       |
| TOTAL PROCESOS (segundo primera unidad) |           |                          |                        | 1.327      |         |
| TOTAL PROCESOS (segundo/unidad)         |           |                          |                        |            | 30,3675 |

Tabla 5.18: Actividades y tiempos plan de acción *layout*.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores determinados según el nuevo *layout*, se consigue una reducción del tiempo para obtener la primera pieza de casi 1.000 segundos (de 2.301 segundos a 1.327 segundos) y de algo más de cinco segundo en el proceso por unidad (de 35,6425 segundos a 30,3675 segundos).

Otro resultado es la posible eliminación de los stocks intermedios, porque la comunicación de piezas de un puesto al siguiente es contigua.

Finalmente, esta configuración condiciona la producción de cada uno de los puestos con el anterior y con el posterior, por lo que también se pone remedio a la sobreproducción.

#### 5.4.3 Plan de acción procesos.

El plan de acción procesos revisa desde un punto de vista sostenible y eficiente cómo se pueden mejorar los procesos existentes, teniendo en cuenta también los otros planes de acción.

La primera tarea es analizar el *takt time* de la empresa, a partir del tiempo de trabajo disponible. El tiempo de trabajo disponible corresponde al de la jornada laboral menos los tiempos de descanso. En este caso, son dos turnos de trabajo de 8 horas menos 15 minutos de descanso, que equivale a 15 horas y 30 minutos, o lo que es lo mismo a 55.800 segundos de tiempo de trabajo disponible por día. El tiempo disponible se divide entre la demanda del mercado, fijada para este caso concreto en 10.000 tubos conformados por día (5.000 tubos conformados por turno). El resultado es que la empresa debe producir un tubo conformado cada 5,58 segundos, para poder así atender las necesidades del mercado, siendo entonces 5,58 segundos el *takt time*. En nuestro caso se representará como el ciclo de tiempo ideal.

La segunda labor es implantar un proceso que tienda al flujo lineal y unitario, en vez de una producción maximizada para cada de los puestos de trabajo. Este objetivo puede parecer una quimera en un primer momento, teniendo en cuenta además el tiempo de preparación que necesitan los distintos puestos. Las sinergias entre el plan de acción procesos y *layout* permite que la tarea sea posible, acercando todos los puestos de trabajo entre sí y formando una línea de producción orientada a una transferencia unidad a unidad. Con esta medida se disminuye el stock en proceso. La unidad de trabajo definida es un lote de 50 piezas.

La tercera tarea del plan de acción es equilibrar los puestos de trabajo, teniendo en cuenta que el tiempo de ciclo no puede superar el *takt time*. En la nueva distribución, de acuerdo al plan de acción *layout*, se ha aumentado el tiempo de ciclo de abocardado y soldadura hasta 12,375 segundos. Convirtiéndose esta etapa en el cuello de botella, entendido como el puesto de trabajo de todo el proceso con peor relación respecto al *takt time* estimado de 5,58 segundos. El nuevo equilibrado reduce el tiempo de ciclo de proceso por lote unidad a 20 segundos. Para conseguir este objetivo, la etapa de control se va a separar en dos, entre los puestos tres (soldadura) y cuatro (punzonado). En la Tabla 5.19 siguiente se refleja la situación final:

| PROCESO                                 | OPERACIÓN | DESCRIPCIÓN                        | UNIDAD (U)<br>LOTE (L) | TIEMPO (s) |         |
|---|-----------|------------------------------------|------------------------|------------|---------|
| RECEPCIÓN<br>(0)                        | 00        | Recogida                           | L                      | 300        | 0,06    |
|   | 01        | Disposición                        | U                      |            | 0,12    |
| Total recepción                         |           |                                    |                        | 300        | 0,06    |
| CORTE<br>(1)                            | 10        | Llevar tubos a<br>proceso de corte | L                      | 100        | 2       |
|   | 11        | Cortar tubo                        | U                      | 2          | 2       |
| Total corte                             |           |                                    |                        | 102        | 4       |
| ABOCARDADO<br>(2)                       | 20        | Alimentar máquina                  | L                      | 60         | 1,2     |
|   | 21        | Abocardar tubo                     | U                      | 3,5        | 3,5     |
| Total abocardado                        |           |                                    |                        | 63,5       | 4,7     |
| SOLDADURA<br>(3)                        | 30        | Alimentar máquina                  | U                      | 2          | 2       |
|   | 31        | Soldar                             | U                      | 2          | 2       |
|   | 32        | Liberar máquina                    | U                      | 1          | 1       |
| Total soldadura                         |           |                                    |                        | 5          | 5       |
| PUNZONADO<br>(4)                        | 40        | Preparar conjunto<br>y ubicar      | U                      | 4          | 4       |
|   | 41        | Perforar                           | U                      | 1          | 1       |
| Total perforado                         |           |                                    |                        | 5          | 5       |
| DOBLADO<br>(5)                          | 50        | Doblar                             | U                      | 2          | 2       |
|   | 51        | Liberar máquina                    | U                      | 2          | 2       |
| Total doblado                           |           |                                    |                        | 4          | 4       |
| CONTROL<br>MARCADO<br>(6)               | 41        | Cargar máquina                     | L                      | 100        | 2       |
|   | 42        | Controlar y marcar<br>pieza        | U                      | 2          | 2       |
|   | 43        | Llevar pieza a<br>almacén          | L                      | 50         | 1       |
| Total control y marcado                 |           |                                    |                        | 152        | 5       |
| SALIDA<br>(7)                           | 70        | Envío                              | L                      | 50         | 1,5     |
|   | 71        | Disposición                        | U                      |            | 0,5     |
| Total salida                            |           |                                    |                        | 50         | 1,5     |
| TOTAL PROCESOS (segundo primera unidad) |           |                                    |                        | 682        |         |
| TOTAL PROCESOS (segundo/unidad)         |           |                                    |                        |            | 29,2600 |

Tabla 5.19: Actividades y tiempos del plan de acción procesos.  
Fuente: Elaboración propia.

El tamaño de lote utilizado es de 50 unidades, aunque como se puede ver, se incluyen ya más procesos unitarios que en los esquemas anteriores de

actividades y tiempos. Aunque no hay un descenso importante en tiempo total de proceso por unidad de material, sí resulta muy evidente la reducción del tiempo necesario en el cuello de botella para fabricar una pieza y cumplir así con el *takt time*. El tiempo máximo que se necesita en una etapa productiva son 5 segundos, alcanzándose en varios puestos de trabajo.

Importante destacar, que para que el primer colector esté terminado ya sólo hacen falta 682 segundos frente a los 2.301 segundos de la situación inicial. Se ha reducido en 27 minutos. Esta es una muestra de cómo, ajustando los procesos adecuadamente, se puede dar una respuesta más flexible a la demanda cambiante del mercado.

Los resultados alcanzados en el plan de acción procesos son posibles porque se implantan cuatro cambios importantes:

1. Se duplica la máquina de abocardado, trabajando constantemente en paralelo. Para que el cambio sea más efectivo, y gracias a la cercanía de los puestos de corte y abocardado, un solo operario puede organizar el puesto de corte y alimentar las dos máquinas de abocardado.
2. En el puesto de soldadura se ubica una persona que va a trabajar exclusivamente con la máquina, no tendrá ninguna otra tarea más que alimentar la máquina de soldadura, soldar y liberar dicha máquina. De esta forma se optimiza su productividad, evitando desplazamientos para buscar el material o para trasladarlo al siguiente puesto. También se optimiza dicho puesto de trabajo, ya que se re-diseña toda la zona al limitarse las tareas que se deben realizar.
3. Cambios respecto a la forma de punzonar y doblar los colectores. Primeramente, se dispone de una máquina capacitada para realizar ambas operaciones, ya que de esta forma se disminuye el tiempo de manipulación y uno de los stocks intermedios. Lo segundo es disponer de dos operarios que trabajen sobre la misma máquina, uno a cada lado.

El primero de ellos se va a ubicar a la entrada de la máquina para alimentarla, y el otro a la salida para recuperar la pieza terminada, distribuyéndose de esta forma el tiempo de trabajo de cada uno. Antes de punzonar y doblar el colector, es necesario colocar una tuerca en la pieza de referencia. Esta tarea será realizada por el operario ubicado a la entrada mientras la máquina está operativa con el tubo anterior. Como medida de seguridad, el segundo operario se responsabiliza del correcto posicionamiento del colector en el utillaje, activar la máquina y sacar el tubo punzonado y doblado.

4. Respecto al marcado de la pieza, se consigue reducir el tiempo del proceso porque se marcan todas las piezas que pasan por este nuevo puesto de control y marcado, mientras se realiza la comprobación de la pieza. Sólo si la prueba de control es incorrecta se añade una marca extra para indicar que la pieza es defectuosa. De esta forma, sólo en el caso de este marcado adicional se provoca un retraso respecto a la planificación hecha, y no se penaliza a toda la producción si siempre se identifica el colector tras realizar la comprobación.

Teniendo en cuenta que en el primer puesto todavía es necesario preparar la máquina en función de la pieza a realizar, no se puede establecer un flujo unitario, pero sí se pueden realizar órdenes de fabricación muy cortas, manteniendo siempre mínimos los stocks intermedios. Los stocks intermedios ya no se pueden considerar como tal, sino como supermercados alimentados por tarjetas *Kanban* (Sugimori et al., 1977). El sistema ya no empuja (*push*), sino que toda la fabricación tira (*pull*) en función de los pedidos que se reciben en expediciones desde el proveedor.

Los progresos realizados en los puestos de trabajo también reducen el tiempo de máquina necesario para producir una pieza, y se limitan o eliminan los desplazamientos y movimientos de material innecesarios.

Se mantiene el mismo número de operarios, ya que no es el objetivo de este modelo el aumentar los beneficios a costa de los trabajadores, y a la vez se consigue responder al *takt time*. Dicho esto, la nueva distribución en planta permite crear espacios aprovechables, que se pueden utilizar para expandir las áreas de negocio de la empresa a otros sectores.

El plan de acción procesos también trabaja en el sistema de comunicación con los clientes, mejorando la recepción de la información en la salida de mercancías. Es ahora este puesto de la empresa el que tira de todo el sistema, respondiendo (plazo, cantidad, calidad, coste) a los pedidos que recibe del proveedor. De esta forma, también se consigue reducir el material almacenado para enviar al proveedor, ya que existe una correcta comunicación de la información entre el cliente y la empresa. La empresa gana flexibilidad para atender las necesidades de sus clientes.

#### 5.4.4 Implantación de los planes de acción en los puestos de trabajo.

La situación de los distintos puestos de trabajo queda actualizada según se muestra en las Tablas siguientes, de 5.20 a 5.27:

| PROCESO:   | SALIDA DE MERCANCÍAS |                     |
|--|----------------------|---------------------|
| Espacio  | 400                  | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>             | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,18</b>          | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>                                    | <b>1,21</b>          |                     |
| Horas trabajo  | 8                    | hora/turno          |
| Número turnos  | 1                    | turno/día           |
| Pausas   | 15                   | minuto/turno        |
| Paradas  | 127                  | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>30,00</b>         | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>  | <b>2</b>             | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 10.000               | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>50</b>            | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 0                    | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0                    | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 10.000               | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   | 21,51                | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>                                      | <b>50</b>            | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465                  | minuto              |
| Tiempo operativo   | 338                  | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>                                  | <b>16,015</b>        | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>                                    | <b>88,94</b>         | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 72,76                | %                   |
| Rendimiento  | 100,00               | %                   |
| Calidad  | 100,00               | %                   |
| Eficiencia General Equipo                                      | 72,76                | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>64,71</b>         | <b>%</b>            |
| Salida de material todos los días a primera hora de la mañana. |                      |                     |

Tabla 5.20: Análisis puesto de trabajo salida.  
Fuente: Elaboración propia.

El ratio medioambiental por encima de la unidad indica que es posible emprender todavía acciones de mejora en este puesto de trabajo.

| PROCESO:                      | CONTROL Y MARCADO |                     |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|
| Espacio                       | 200               | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>1</b>          | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,30</b>       | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,00</b>       |                     |
| Horas trabajo                 | 8                 | hora/turno          |
| Número turnos                 | 2                 | turno/día           |
| Pausas                        | 15                | minuto/turno        |
| Paradas                       | 45                | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>30,00</b>      | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>2</b>          | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 5.041             | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>50</b>         | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 41                | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 0                 | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 5.000             | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 10,84             | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>150</b>        | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465               | minuto              |
| Tiempo operativo              | 420               | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>0,00</b>       | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>100,00</b>     | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 90,34             | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00            | %                   |
| Calidad                       | 99,19             | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 89,61             | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>89,61</b>      | <b>%</b>            |

Tabla 5.21: Análisis puesto de trabajo control y marcado.  
Fuente: Elaboración propia.

Todos los colectores se controlan y se marcan en automático. Sólo aquellos que son defectuosos reciben una marca diferente y son rechazados, evitando la mezcla de piezas buenas y malas. La marca identifica el motivo de rechazo (fuga, geometría u otro), y así trazar los posibles problemas que puedan surgir.

Al unificar control y marcado se consigue reducir el tiempo de proceso así como disponer de una nueva zona libre de 200 m<sup>2</sup>, al no ser necesario mantener el espacio anterior dedicado exclusivamente al control.

| PROCESO:                      | DOBLADO      |                     |
|-------------------------------|--------------|---------------------|
| Espacio                       | 100          | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>1</b>     | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,24</b>  | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,10</b>  |                     |
| Horas trabajo                 | 8            | hora/turno          |
| Número turnos                 | 2            | turno/día           |
| Pausas                        | 15           | minuto/turno        |
| Paradas                       | 129          | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>30,00</b> | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>2</b>     | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 5.046        | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>50</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 5            | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 0            | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 5.041        | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 10,85        | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>100</b>   | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465          | minuto              |
| Tiempo operativo              | 336          | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>1,75</b>  | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>98,79</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 72,34        | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00       | %                   |
| Calidad                       | 99,90        | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 72,27        | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>71,40</b> | <b>%</b>            |

Tabla 5.22: Análisis puesto de trabajo doblado.  
Fuente: Elaboración propia.

Este puesto está comunicado con el anterior, en el sentido de flujo lineal y unitario, reduciéndose manipulaciones y movimientos internos. La máquina de control de doblado analiza distintas alternativas en el proceso, cuando no es una única curvatura de 90°, eligiendo siempre el orden que sea más óptimo (y posible).

| PROCESO:   | PUNZONADO    |                     |
|--|--------------|---------------------|
| Espacio  | 100          | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>   | <b>1</b>     | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>   | <b>0,30</b>  | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>                                | <b>0,00</b>  |                     |
| Horas trabajo  | 8            | hora/turno          |
| Número turnos  | 2            | turno/día           |
| Pausas   | 15           | minuto/turno        |
| Paradas  | 44           | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>  | <b>15,00</b> | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>                                      | <b>4</b>     | <b>segundo</b>      |
| Producción   | 5.051        | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>   | <b>50</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas   | 5            | pieza/turno         |
| Reprocesos   | 0            | pieza/turno         |
| Piezas buenas  | 5.046        | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal   | 10,86        | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>                                  | <b>50</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado   | 465          | minuto              |
| Tiempo operativo   | 421          | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b>                              | <b>0,01</b>  | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>                                | <b>99,99</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad   | 90,52        | %                   |
| Rendimiento  | 100,00       | %                   |
| Calidad  | 99,90        | %                   |
| Eficiencia General Equipo                                  | 90,43        | %                   |
| <b>OEEE</b>  | <b>90,43</b> | <b>%</b>            |
| La realización de los agujeros se realiza simultáneamente. |              |                     |

Tabla 5.23: Análisis puesto de trabajo punzonado.  
Fuente: Elaboración propia.

Un gran avance conseguir realizar en una misma máquina el punzonado y el doblado de los colectores. 200 m<sup>2</sup> de superficie se liberan para otros usos futuros.

| PROCESO:                      | SOLDADURA     |                     |
|-------------------------------|---------------|---------------------|
| Espacio                       | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>1</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,30</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,31</b>   |                     |
| Horas trabajo                 | 8             | hora/turno          |
| Número turnos                 | 2             | turno/día           |
| Pausas                        | 15            | minuto/turno        |
| Paradas                       | 44            | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>30,00</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>2</b>      | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 5.057         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>50</b>     | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 5             | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 1             | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 5.051         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 10,88         | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>150</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo              | 421           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>6,8732</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>95,25</b>  | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 90,63         | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00        | %                   |
| Calidad                       | 99,88         | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 90,52         | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>86,22</b>  | <b>%</b>            |

Tabla 5.24: Análisis puesto de trabajo soldadura.  
Fuente: Elaboración propia.

El nuevo proceso de soldadura está integrado en flujo con el proceso anterior y posterior.

| PROCESO:                      | ABOCARDADO    |                     |
|-------------------------------|---------------|---------------------|
| Espacio                       | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>2</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,29</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,00</b>   |                     |
| Horas trabajo                 | 8             | hora/turno          |
| Número turnos                 | 2             | turno/día           |
| Pausas                        | 15            | minuto/turno        |
| Paradas                       | 68,32         | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>17,14</b>  | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>3,5</b>    | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 5.064         | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>50</b>     | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 5             | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 2             | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 5.057         | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 10,89         | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>60</b>     | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo              | 397           | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>0,00</b>   | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>100,00</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 85,31         | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00        | %                   |
| Calidad                       | 99,86         | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 85,19         | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>85,19</b>  | <b>%</b>            |

Tabla 5.25: Análisis puesto de trabajo abocardado.  
Fuente: Elaboración propia.

Se duplica el puesto de trabajo con una nueva máquina actualizada a las necesidades de producción, aceptando tubos más largos que la máquina inicial. Se mejora también la comunicación con el puesto anterior y posterior para reducir transportes internos y manipulación. La persona que estaba dedicada al control pasa a esta zona de trabajo.

| PROCESO:                      | CORTE        |                     |
|-------------------------------|--------------|---------------------|
| Espacio                       | 200          | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>1</b>     | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,24</b>  | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>0,00</b>  |                     |
| Horas trabajo                 | 8            | hora/turno          |
| Número turnos                 | 2            | turno/día           |
| Pausas                        | 15           | minuto/turno        |
| Paradas                       | 125          | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>30,00</b> | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>2</b>     | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 5.101        | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>50</b>    | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 37           | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 0            | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 5.064        | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 10,97        | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>100</b>   | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465          | minuto              |
| Tiempo operativo              | 340          | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>0,03</b>  | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>99,98</b> | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 73,13        | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00       | %                   |
| Calidad                       | 99,27        | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 72,60        | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>72,59</b> | <b>%</b>            |

Tabla 5.26: Análisis puesto de trabajo corte.  
Fuente: Elaboración propia.

Se elimina la cuba de limpieza con productos químicos, permitiendo así ubicar el puesto mejor respecto al almacén de materia prima y el abocardado.

| PROCESO:                      | RECEPCIÓN     |                     |
|-------------------------------|---------------|---------------------|
| Espacio                       | 200           | m <sup>2</sup>      |
| <b>Operarios</b>              | <b>1</b>      | <b>persona</b>      |
| <b>Coste</b>                  | <b>0,01</b>   | <b>euro/un</b>      |
| <b>Ratio medioambiental</b>   | <b>71,61</b>  |                     |
| Horas trabajo                 | 8             | hora/turno          |
| Número turnos                 | 1             | turno/día           |
| Pausas                        | 15            | minuto/turno        |
| Paradas                       | 440           | minuto/turno        |
| <b>Tiempo ciclo</b>           | <b>500,00</b> | <b>pieza/minuto</b> |
| <b>Tiempo proceso</b>         | <b>0,12</b>   | <b>segundo</b>      |
| Producción                    | 10.202        | pieza/turno         |
| <b>Tamaño lote</b>            | <b>10.202</b> | <b>pieza</b>        |
| Piezas defectuosas            | 0             | pieza/turno         |
| Reprocesos                    | 0             | pieza/turno         |
| Piezas buenas                 | 10.202        | pieza/turno         |
| Tiempo ciclo ideal            | 21,94         | pieza/minuto        |
| <b>Tiempo preparación</b>     | <b>300</b>    | <b>segundo</b>      |
| Tiempo planificado            | 465           | minuto              |
| Tiempo operativo              | 25            | minuto              |
| <b>Impacto medioambiental</b> | <b>56,337</b> | <b>milipunto</b>    |
| <b>Innovación ambiental</b>   | <b>61,09</b>  | <b>%</b>            |
| Disponibilidad                | 5,46          | %                   |
| Rendimiento                   | 100,00        | %                   |
| Calidad                       | 100,00        | %                   |
| Eficiencia General Equipo     | 5,46          | %                   |
| <b>OEEE</b>                   | <b>3,34</b>   | <b>%</b>            |

Tabla 5.27: Análisis puesto de trabajo recepción.  
Fuente: Elaboración propia.

Se mantiene la forma de trabajar inicial, aunque ahora el proveedor recibe los pedidos directamente desde el almacén, en función de las necesidades de producción.

## 5.5 Revisión de la situación futura alcanzada.

La meta planteada es convertirse en referente europeo en la fabricación de tubos conformados, ante unas condiciones cambiantes, requiriendo que la empresa sea capaz de fabricar rápidamente, con plazos muy cortos, una gran variedad de referencias distintas. Los logros alcanzados son:

- Producir de acuerdo *al takt time*. El ritmo de fabricación está acorde a la demanda de mercado, estando definida así la cadencia de salida del producto, pudiéndose adaptar la producción en consecuencia.
- El flujo de material es más lineal, reduciéndose el lote de fabricación. Así el *layout* de la empresa se ha ajustado a los nuevos requisitos, reduciendo los tiempos de preparación de máquinas, movimientos internos,...
- Usar tarjetas *kanban* para reducir los stocks (comunicación interna fluida)
- Nivelar la producción en los distintos puestos de trabajo (referencia *takt time*).
- Disminuir el coste del producto, aumentando la competitividad externa y los beneficios internos (resultado económico).
- Reducir el impacto ambiental medido a través del Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) y valorados según milipuntos (resultado medioambiental).
- Aumentar la producción, garantizando así los puestos de trabajo (resultado social).

- Mejorar el seguimiento de los procesos internos a través de nuevos registros, permitiendo asegurar así el cumplimiento de las distintas regulaciones obligatorias y voluntarias, tanto medioambientales como de otro tipo (resultado políticas públicas).

La implantación conjunta de los tres planes de acción (material, *layout* y procesos) reduce radicalmente el tiempo necesario para producir la primera pieza (27 minutos), con el objetivo de dotar de mayor flexibilidad a la producción, pudiendo responder así rápidamente a las necesidades del cliente.

También es interesante identificar el tiempo necesario para cada puesto de trabajo, ya que la banda se mueve entre 4 y 5 segundos, si se excluyen el primer y el último puesto, recepción y salida respectivamente. Un equilibrado de estos dos puestos, con el consiguiente cambio de *layout* y optimización de los tiempos de trabajo, sería otro paso importante a realizar.

Finalmente, es destacable el ahorro en material almacenado, al eliminar los stocks intermedios y facilitando el flujo entre puestos. De manera simplificada, se ahorran unos 31.000 euros, al pasar de una situación inicial de 48.604 € a un resultado final de 17.578 €.

Respecto a los planes de futuro, ya se han dado unas cuantas ideas de los siguientes pasos a realizar:

- La utilización de aluminio en vez de acero es el principal reto al que se debe enfrentar la empresa, para continuar en su acercamiento al modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.
- El término OEEE demuestra que todavía existe un alto potencial de mejora para optimizar los distintos puestos productivos, principalmente la entrada de mercancías.

### 5.5.1 Resultado mejora impacto medioambiental (milipunto).

Las siguientes dos Tablas 5.28 y 5.29 muestran el cálculo de milipuntos realizado tanto en la situación inicial y en la final, teniendo en cuenta cada una de las etapas del ciclo de vida del producto:

| Etapa vida                       | Proceso           | Detalles           | Milipuntos       |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| <b>PRODUCCIÓN</b>                |                   |                    | <b>240,7801</b>  |
|                                  | <b>RECEPCIÓN</b>  |                    | <b>215,4737</b>  |
|                                  |                   | TRANSPORTE EXT.    | 22,0000          |
|                                  |                   | MOVIMIENTO INTERNO | 0,0150           |
|                                  |                   | MATERIA PRIMA      | 193,4587         |
|                                  | <b>CORTE</b>      |                    | <b>16,6578</b>   |
|                                  |                   | LIMPIEZA           | 16,6248          |
|                                  |                   | PROCESO            | 0,0330           |
|                                  | <b>ABOCARDADO</b> |                    | <b>0,0001</b>    |
|                                  | <b>SOLDADURA</b>  |                    | <b>6,8732</b>    |
|                                  |                   | TAPA               | 0,1232           |
|                                  |                   | PROCESO            | 6,7500           |
|                                  | <b>PUNZONADO</b>  |                    | <b>0,0073</b>    |
|                                  | <b>DOBLADO</b>    |                    | <b>1,753</b>     |
|                                  |                   | TUERCA             | 1,7529           |
|                                  |                   | PROCESO            | 0,0001           |
|                                  | <b>CONTROL</b>    |                    | <b>0</b>         |
|                                  | <b>MARCADO</b>    |                    | <b>0</b>         |
|                                  | <b>SALIDA</b>     |                    | <b>0,015</b>     |
|                                  |                   | MOVIMIENTO INTERNO | 0,015            |
| <b>USO</b>                       |                   |                    | <b>----</b>      |
| <b>TRANSPORTE PRODUCTO FINAL</b> |                   |                    | <b>16</b>        |
| <b>EMBALAJE PRODUCTO FINAL</b>   |                   |                    | <b>----</b>      |
| <b>FIN VIDA ÚTIL</b>             |                   |                    | <b>-112</b>      |
|                                  |                   | <b>RECICLAJE</b>   | <b>-112,0000</b> |
| <b>TOTAL MILIPUNTOS INICIAL</b>  |                   |                    | <b>144,7801</b>  |

Tabla 5.28: Análisis milipuntos situación inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

| Etapa vida                       | Proceso                  | Detalles                  | Milipuntos       |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|
| <b>PRODUCCIÓN</b>                |                          |                           | <b>177,0186</b>  |
|                                  | <b>RECEPCIÓN</b>         |                           | <b>168,3370</b>  |
|                                  |                          | <b>TRANSPORTE</b>         | <b>22,0000</b>   |
|                                  |                          | <b>MOVIMIENTO INTERNO</b> | <b>0,0150</b>    |
|                                  |                          | <b>MATERIA PRIMA</b>      | <b>146,3220</b>  |
|                                  | <b>CORTE</b>             |                           | <b>0,0330</b>    |
|                                  | <b>ABOCARDADO</b>        |                           | <b>0,0001</b>    |
|                                  | <b>SOLDADURA</b>         |                           | <b>6,8732</b>    |
|                                  |                          | <b>TAPA</b>               | <b>0,1232</b>    |
|                                  |                          | <b>PROCESO</b>            | <b>6,7500</b>    |
|                                  | <b>PUNZONADO</b>         |                           | <b>0,0073</b>    |
|                                  | <b>DOBLADO</b>           |                           | <b>1,7530</b>    |
|                                  |                          | <b>TUERCA</b>             | <b>1,7529</b>    |
|                                  |                          | <b>PROCESO</b>            | <b>0,0001</b>    |
|                                  | <b>CONTROL Y MARCADO</b> |                           | <b>0</b>         |
|                                  | <b>SALIDA</b>            |                           | <b>0,0150</b>    |
|                                  |                          | <b>MOVIMIENTO INTERNO</b> | <b>0,0150</b>    |
| <b>USO</b>                       |                          |                           | <b>----</b>      |
| <b>TRANSPORTE PRODUCTO FINAL</b> |                          |                           | <b>16</b>        |
| <b>EMBALAJE PRODUCTO FINAL</b>   |                          |                           | <b>----</b>      |
| <b>FIN VIDA ÚTIL</b>             |                          |                           | <b>-112</b>      |
|                                  |                          | <b>RECICLAJE</b>          | <b>-112,0000</b> |
| <b>TOTAL MILIPUNTOS FINAL</b>    |                          |                           | <b>81,0186</b>   |

Tabla 5.29: Análisis milipuntos situación final.  
Fuente: Elaboración propia.

La reducción de milipuntos conseguida en la situación final se alcanza gracias a las innovaciones ambientales, realizadas durante la implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible propuesto.

En este cálculo se ha considerado que la materia prima, tanto en la situación inicial como en la final, se recicla como metal con alto contenido en hierro sin distinguir el tipo y espesor de recubrimiento.

Los valores obtenidos, utilizando el Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000), indican que la situación inicial suma un impacto ambiental durante todo su ciclo de vida igual a 144,7872 milipuntos. En la situación final este valor es igual a 81,0186 milipuntos. Como se puede apreciar, el resultado final obtenido es casi dos

veces inferior al inicial. De una manera cuantificada se ha identificado la mejora ambiental realizada, a través de la innovación aplicada durante la implantación del modelo propuesto. El resultado de esta innovación cuantificada es el motor que afianzará el nuevo modelo propuesto, a través de nuevos ciclos de innovación ambiental.

#### 5.5.2 Resultado análisis flujo de valor de innovación ambiental.

Los campos de cada etapa productiva se identifican en el flujo de valor de innovación ambiental final de acuerdo a la Tabla 5.30 que se presenta a continuación:

|   |
|---|
| <b>PROCESO</b>                            |
| Operarios<br>(unidad)                     |
| Coste<br>(Euro/unidad)                    |
| <b>Ratio medioambiental</b>               |
| Tiempo ciclo<br>(unidad/minuto)           |
| Tiempo proceso<br>(segundo)               |
| Tamaño lote<br>(unidad)                   |
| Tiempo preparación<br>(segundo)           |
| <b>Impacto medioambiental (milipunto)</b> |
| <b>Innovación ambiental (%)</b>           |
| Disponibilidad (%)                        |
| Eficiencia (%)                            |
| Calidad (%)                               |
| OEE (%)                                   |
| <b>OEEE (%)</b>                           |

Tabla 5.30: Identificación campos flujo de valor de innovación ambiental.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de flujo de valor de innovación ambiental final se representa en la Figura 5.5 siguiente, incluyéndose el efecto de las acciones implantadas respecto a la situación inicial:

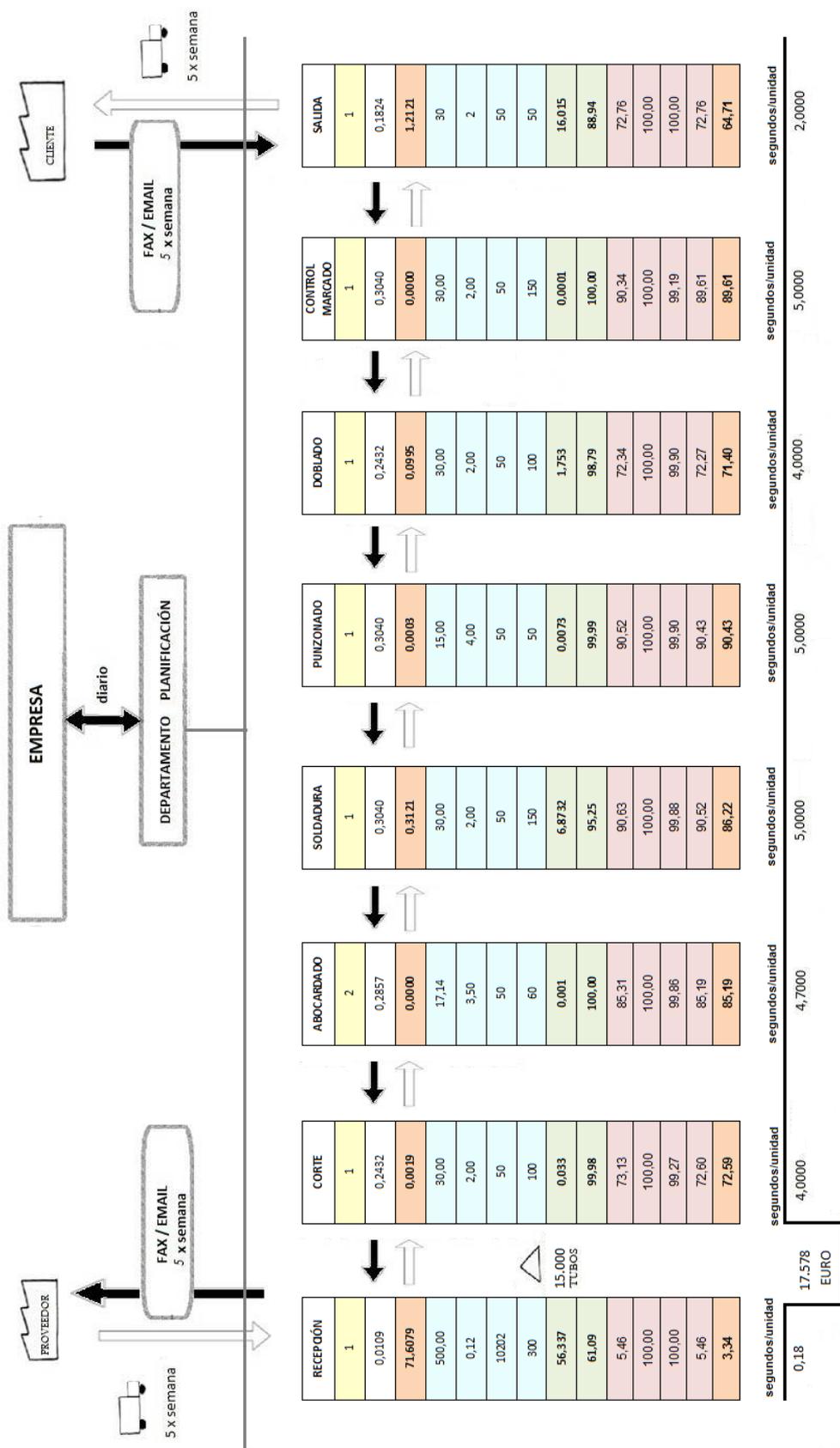


Figura 5.5: Análisis flujo de valor ambiental – situación final. Fuente: Elaboración propia.

Como consecuencia de las acciones implantadas, el cálculo económico del producto de referencia se actualiza, fijándose un nuevo precio de acuerdo a la Tabla 5.31 siguiente:

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                          |                        |                          |              |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| TRABAJAJADOR OFICINA (8) | 345.600 €/año          |                          |              |
| TRABAJADOR PLANTA (30)   | 810.000 €/año          |                          |              |
| GASTOS GENERALES         | 57.780 €/año           | <b>COSTE FABRICACIÓN</b> |              |
|                          | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad              | %            |
|                          | 0,19 €/segundo         | <b>0,54</b>              | <b>28,75</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                     |                      |             |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año        |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año        |                      |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 61.474 €/año        | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
|                               | <b>71.474 €/año</b> | euro/unidad          | %           |
|                               |                     | <b>0,03</b>          | <b>1,69</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| RECEPCIÓN         | 0,01 €/unidad        |
| CORTE             | 0,24 €/unidad        |
| ABOCARDADO        | 0,29 €/unidad        |
| SOLDADURA         | 0,30 €/unidad        |
| PUNZONADO         | 0,30 €/unidad        |
| DOBLADO           | 0,24 €/unidad        |
| CONTROL Y MARCADO | 0,30 €/unidad        |
| SALIDA            | 0,18 €/unidad        |
|                   | <b>1,88 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 2.592.000 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 18.000 €/año           |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.250 €/año            | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>2.612.250 €/año</b> | euro/unidad           | %            |
|  |                        | <b>1,16</b>           | <b>61,90</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 59.925 €/año         |                   |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 261.225 €/año        | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| RECUPERACIÓN CHATARRA               | 1.588 €/año          | euro/unidad       | %           |
|                                     | <b>322.738 €/año</b> | <b>0,14</b>       | <b>7,65</b> |

|                             |                        |  |  |
|-----------------------------|------------------------|--|--|
| <b>TOTAL COSTE</b>          | <b>4.219.843 €/año</b> |  |  |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>1,88 €/unidad</b>   |  |  |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,06 €/segundo</b>  |  |  |

Tabla 5.31: Precio alcanzado producto referencia.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis comparativo de la situación inicial y final muestra los resultados alcanzados. La Tabla 5.32 siguiente recoge los valores medibles:

|   | SITUACIÓN INICIAL | SITUACIÓN FINAL | VARIACIÓN (%) | DIFERENCIA TOTAL |
|---|-------------------|-----------------|---------------|------------------|
| Superficie utilizada (m <sup>2</sup> )  | 2.000             | 1.600           | -20,00        | -400             |
| Tiempo ciclo (segundos)                 | 7                 | 5               | -28,57        | -2               |
| Tiempo proceso (segundos/unidad)        | 35,64             | 29,88           | -16,17        | -5,76            |
| Tiempo proceso primera pieza (segundos) | 2.301             | 682             | -70,36        | -1.619           |
| Tamaño de lote (unidades)               | 800               | 50              | -93,75        | -750             |
| <b>MILIPUNTOS</b>                       | <b>144,78</b>     | <b>81,02</b>    | <b>-44,04</b> | <b>-63,76</b>    |
| Coste (euros/unidad)                    | 2,00              | 1,88            | -6,16         | -0,12            |
| Producción (unidades/día)               | 4.439             | 5.000           | 12,64         | 561              |
| Productividad (unidades/trabajador)     | 116,82            | 131,58          | 12,64         | 14,76            |

Tabla 5.32: Valores medibles resultados alcanzados.  
Fuente: Elaboración propia.

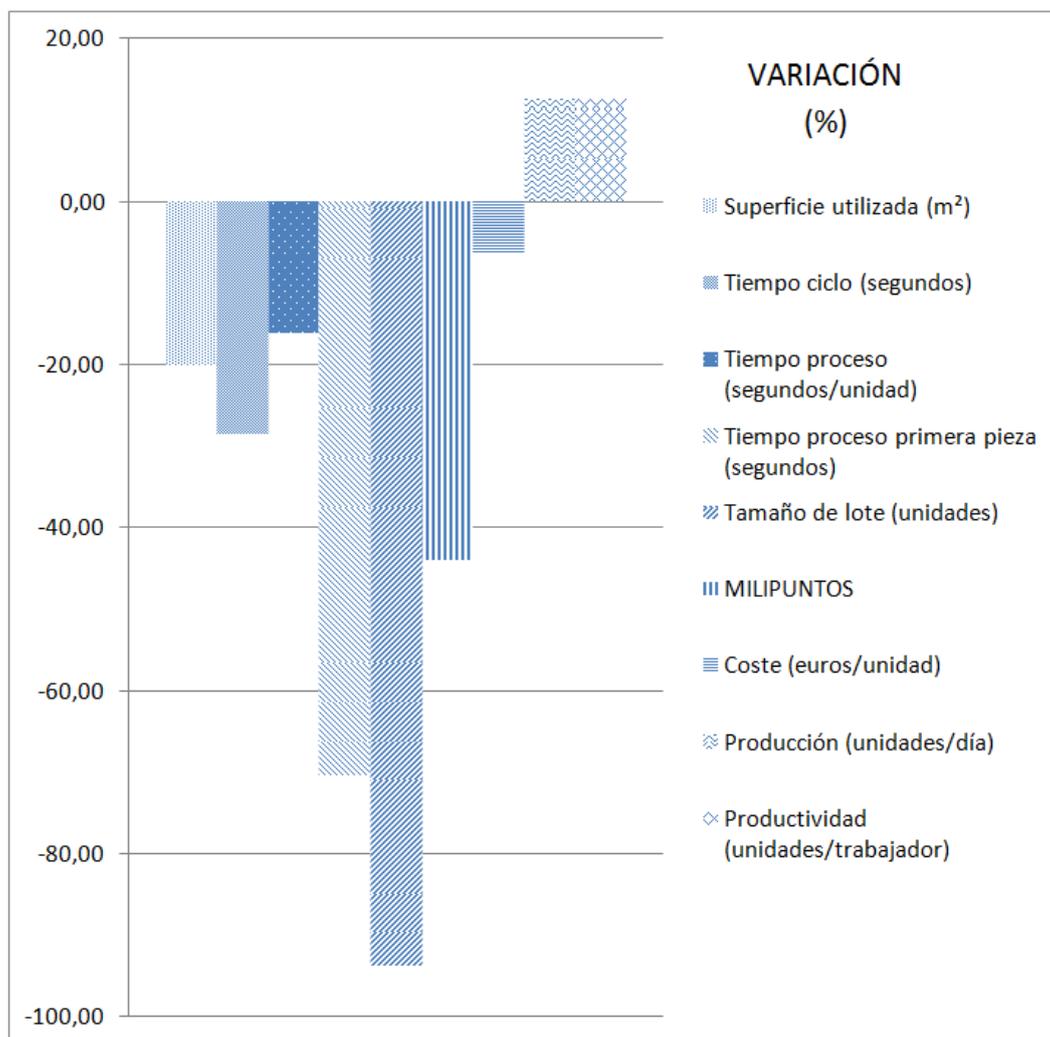


Figura 5.6: Representación de los valores medidos consecución.  
Fuente: Elaboración propia.

Las mejoras obtenidas son:

- Plazos de entrega más cortos.
- Procesos y procedimientos de trabajo estandarizados y equilibrados.
- Personal polivalente y cualificado.
- Fidelización del cliente. El cliente recibe el producto ordenado en el plazo estipulado y a un precio competitivo.
- Disminución del espacio necesario.
- Reducción del stock en curso.
- Disminución de los costes de no conformidad.
- Aumento de la flexibilidad.
- Productos responsables social y medioambientalmente.

La empresa ha conseguido ser más eficiente y sostenible, cazando los mudas y siendo responsable socialmente. Sólo es un primer paso importante en la implantación del modelo propuesto en esta tesis doctoral. Nuevos ciclos de innovación ambiental harán posibles siguientes mejoras en la empresa, para seguir acercándose al objetivo de modelo eficiente y sostenible.

### 5.5.3 Informe de resultados.

La revisión de los objetivos alcanzados se representa, de acuerdo al documento de trabajo que guía el proceso de transformación de la empresa:

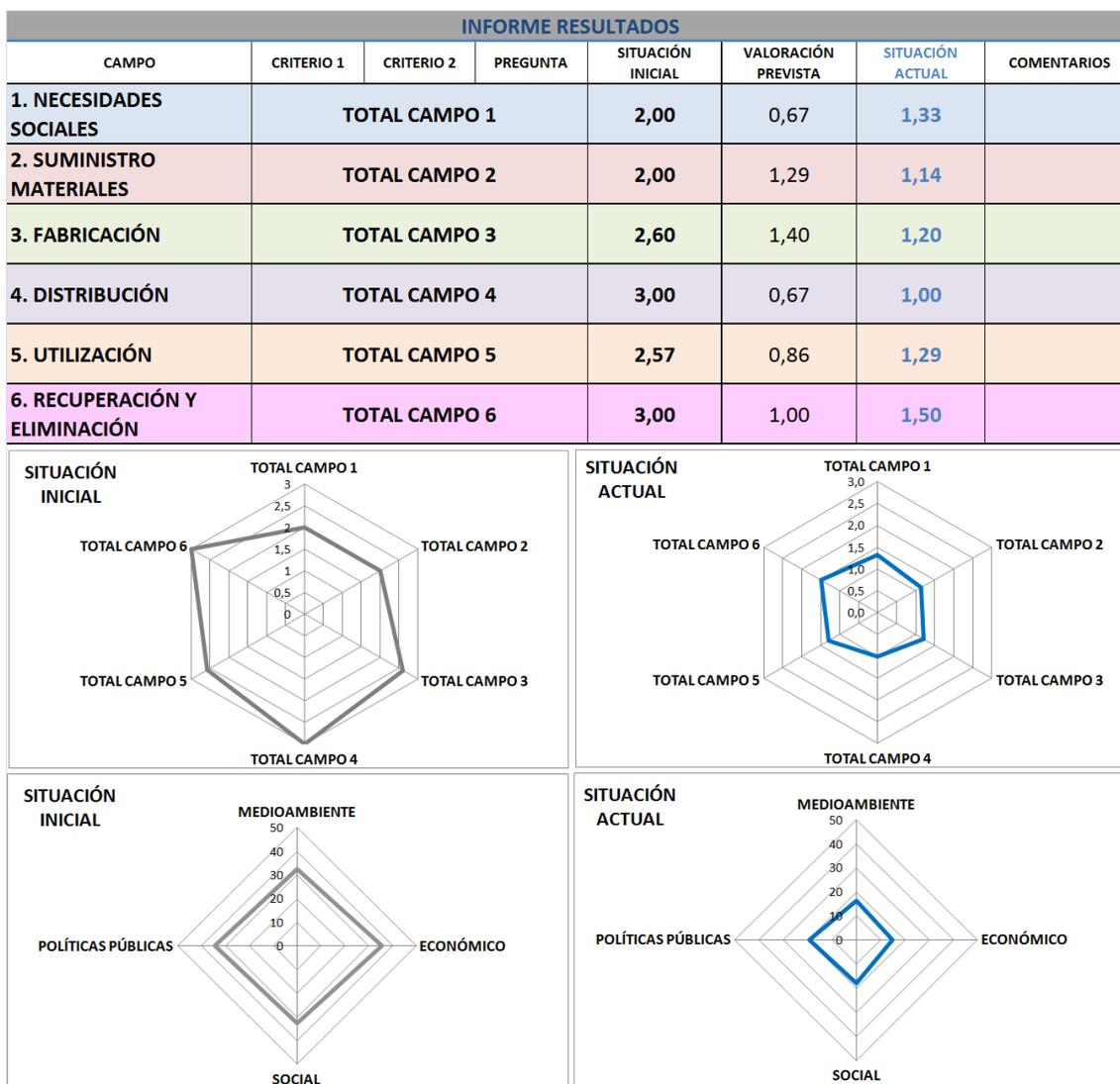


Tabla 5.33: Situación actual alcanzada.  
Fuente: Elaboración propia.

Estos valores proceden de la evaluación final realizada para cada uno de los seis campos identificados, representados en las siguientes ilustraciones:

| CAMPO 1: NECESIDADES SOCIALES |                    |  |                   |                          |  |                     |                  |
|-------------------------------|--------------------|--|-------------------|--------------------------|--|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1                    | CRITERIO 2         | PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIO               | ACCIONES MEJORA  | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| SOCIAL                        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuáles son las funciones principales y auxiliares del producto?   | 2                 | Análisis del producto    | Crear registro detallado                                   | 1                   | 1                |
| SOCIAL                        | ECONÓMICO          | ¿El producto cumple estas funciones efectiva y eficientemente?   | 2                 | Análisis del producto    | Crear análisis detallado                                   | 1                   | 2                |
| SOCIAL                        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué necesidad del usuario satisface el producto actualmente?  | 1                 | Análisis del consumidor  | Crear descripción detallada y contrastarla a nivel interno | 0                   | 1                |
| SOCIAL                        | ECONÓMICO          | ¿Pueden ser las funciones del producto aumentadas y/o optimizadas para cumplir mejor la necesidad del usuario? | 3                 | Mejora continua producto | Crear definición detallada                                 | 1                   | 1                |
| SOCIAL                        | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cambiará esta necesidad del usuario en un plazo de tiempo?  | 2                 | Análisis del mercado     | Crear descripción detallada                                | 1                   | 2                |
| SOCIAL                        | ECONÓMICO          | ¿Se puede anticipar el producto a este cambio con una innovación del mismo?                                    | 2                 | Objetivo de futuro       | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno    | 0                   | 1                |

Tabla 5.34: Análisis final campo necesidades sociales.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 2: SUMINISTRO DE MATERIALES |                    |  |                   |                       |                          |                     |                  |
|-----------------------------------|--------------------|--|-------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1                        | CRITERIO 2         | PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS           | ACCIONES MEJORA          | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de plásticos se usan?   | 3                 | Análisis del producto | Crear registro detallado | 1                   | 1                |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de aditivos son usados?   | 2                 | Análisis del producto | Crear registro detallado | 1                   | 0                |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de metales se utilizan?   | 2                 | Análisis del producto | Crear registro detallado | 1                   | 1                |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de otros materiales (cristales, cerámicos,...) son usados?      | 2                 | Análisis del producto | Crear registro breve     | 2                   | 2                |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad y tipo de tratamientos superficiales se usan?                          | 3                 | Análisis del producto | Crear registro breve     | 2                   | 2                |
| MEDIOAMBIENTE                     | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es el perfil ambiental de los componentes?                                     | 1                 | Análisis del producto | Crear registro detallado | 1                   | 1                |
| MEDIOAMBIENTE                     | ECONÓMICO          | ¿Qué cantidad de energía es necesaria para transportar los componentes y materiales? | 1                 | Análisis del producto | Crear registro detallado | 1                   | 1                |

Tabla 5.35: Análisis final campo suministro de materiales.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 3: FABRICACIÓN |                    |   |                   |                          |                          |                     |                  |
|----------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA  | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | ACCIONES MEJORA          | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| ECONÓMICO            | SOCIAL             | ¿Qué cantidad y tipo de procesos de fabricación existen?      | 3                 | Mejora continua producto | Crear registro detallado | 1                   | 1                |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de materiales auxiliares son necesarios? | 3                 | Análisis del producto    | Crear registro breve     | 2                   | 1                |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuál es el consumo de energía?                               | 2                 | Análisis del producto    | Crear registro detallado | 1                   | 1                |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Cuánta chatarra se genera?                                   | 3                 | Análisis del producto    | Crear registro breve     | 2                   | 2                |
| ECONÓMICO            | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuántos productos no alcanzan las normas de calidad?         | 2                 | Análisis del producto    | Crear registro detallado | 1                   | 1                |

Tabla 5.36: Análisis final campo fabricación.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 4: DISTRIBUCIÓN |            |  |                   |                       |   |                     |                  |
|-----------------------|------------|--|-------------------|-----------------------|---|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1            | CRITERIO 2 | PREGUNTA                                       | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS           | ACCIONES MEJORA   | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Qué tipo de embalajes son utilizados?         | 3                 | Análisis del producto | Crear registro detallado                                | 1                   | 1                |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Qué medios de transporte son usados?          | 3                 | Análisis del mercado  | Crear registro detallado                                | 1                   | 1                |
| MEDIOAMBIENTE         | ECONÓMICO  | ¿Está eficientemente organizado el transporte? | 3                 | Análisis del mercado  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 0                   | 1                |

Tabla 5.37: Análisis final campo distribución.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 5: UTILIZACIÓN |                    |   |                   |                          |   |                     |                  |
|----------------------|--------------------|---|-------------------|--------------------------|---|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1           | CRITERIO 2         | PREGUNTA  | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | ACCIONES MEJORA   | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de energía es necesaria?                         | 3                 | Análisis del producto    | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |
| ECONÓMICO            | MEDIOAMBIENTE      | ¿Qué cantidad y tipo de consumibles son necesarios?                   | 2                 | Mejora continua producto | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es la expectativa técnica de vida?                              | 3                 | Análisis del consumidor  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 0                   | 1                |
| SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Qué cantidad de reparaciones y tipo de mantenimiento son necesarios? | 2                 | Análisis del consumidor  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |
| SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Puede ser el producto desmontable por una persona que no lo conozca? | 2                 | Análisis del consumidor  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 2                   | 2                |
| SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Suele requerir el producto la sustitución de piezas separables?      | 3                 | Análisis del consumidor  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| SOCIAL               | POLÍTICAS PÚBLICAS | ¿Cuál es la esperanza de vida estética del producto?                  | 3                 | Análisis del consumidor  | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 0                   | 0                |

Tabla 5.38: Análisis final campo utilización.  
Fuente: Elaboración propia.

| CAMPO 6: RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN |               |  |                   |                          |   |                     |                  |
|-------------------------------------|---------------|--|-------------------|--------------------------|---|---------------------|------------------|
| CRITERIO 1                          | CRITERIO 2    | PREGUNTA   | SITUACIÓN INICIAL | COMENTARIOS              | ACCIONES MEJORA   | VALORACIÓN PREVISTA | SITUACIÓN ACTUAL |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Cómo es el producto actualmente eliminado?                                      | 3                 | Análisis del producto    | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Están siendo reutilizados componentes o materiales?                             | 3                 | Mejora continua producto | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| SOCIAL                              | MEDIOAMBIENTE | ¿Qué componentes pueden ser reutilizados/reciclables?                            | 3                 | Mejora continua producto | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Pueden ser los componentes desmontables sin peligro?                            | 3                 | Análisis del mercado     | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Son los materiales identificables?  | 3                 | Análisis del mercado     | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Pueden ser rápidamente separados?   | 3                 | Análisis del mercado     | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | SOCIAL        | ¿Existe algún componente peligroso fácilmente separable?                         | 3                 | Análisis del mercado     | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 2                |
| POLÍTICAS PÚBLICAS                  | MEDIOAMBIENTE | ¿Existe algún problema cuando se incineran partes del producto no reutilizables? | 3                 | Análisis del mercado     | Crear registro detallado y contrastarlo a nivel interno | 1                   | 1                |

Tabla 5.39: Análisis final campo recuperación y eliminación.  
Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 Consideraciones a los resultados.

Este capítulo presenta la mejora realizada por una empresa de conformado de tubos, al aplicar el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de

producción ajustado a través de procesos de innovación ambiental, propuesto en esta tesis doctoral.

A partir de una situación inicial identificada, se concreta una meta objetivo y se definen e implementan tres planes de acción aprovechando las sinergias entre ellos: material, *layout* y procesos. La base del cambio viene promovida por la innovación ambiental, medida a través del análisis del valor medioambiental (milipunto). Asimismo, se aprovechan las otras herramientas/parámetros presentados en este documento, como son la eficiencia medioambiental general de los equipos, el ratio medioambiental y el flujo de valor de innovación ambiental, para alcanzar la situación final planteada.

Finalmente, se revisan los resultados obtenidos, presentando las mejoras alcanzadas y los puntos en los que seguir trabajando en el futuro.

## **CAPÍTULO 6. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO EMPÍRICO DEL MODELO DE MEJORA EFICIENTE Y SOSTENIBLE EN UNA EMPRESA DE CONFORMADO DE TUBOS.**

### **6.1 Introducción al contraste de los resultados del estudio empírico.**

La validación del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental, está vinculada a la variación de los parámetros tomados de referencia para el análisis realizado. De esta forma, en los apartados siguientes se considera cómo podrían afectar al resultado final la modificación de alguno de ellos.

Los valores obtenidos están condicionados por la variación en el tipo de tubo conformado que tiene la empresa, siendo éste el factor de referencia principal de todo el proceso. El efecto del tipo de tubo conformado es doble. Por un lado la cantidad de material, siendo éste el mayor coste por unidad de producto, y que en el ejemplo se ha mantenido constante al utilizar una referencia representativa de distintos tipos de tubos existentes. Por otro lado el efecto del tiempo de preparación de máquinas, ya que en este modelo se ha considerado constante el hecho de que se cambie cinco veces por turno de trabajo. Estas variaciones hacen necesario realizar un análisis de sensibilidad e incertidumbre del modelo propuesto, planteando distintos casos extremos.

### **6.2 Variación de la longitud del tubo – medioambiente.**

Se considera un sistema cerrado, en el que el material base utilizado se recicla. En este caso, la valoración ambiental en función de la longitud del tubo, y por consiguiente, en función de su masa, varía de forma proporcional.

Interesante observación recae en el puesto de corte, debido a su alto número de piezas defectuosas, en una fase que por sí no debería tenerlas. El desperdicio producido se corresponde a la longitud de tubo matriz que no puede ser aprovechada. Considerando las medidas nominales, el tubo matriz recibido tiene una longitud prefijada de 6,5 metros por el proveedor, que se corta en varios trozos según la longitud del tubo a fabricar. La longitud de tubo de acero definida como estándar es de 1,25 metros. El resultado es que de cada tubo matriz se pueden obtener 5 tubos válidos, sobrando unos 0,5 metros (tolerancias). Para cada lote de 50 tubos aprovechables, quedan 5 metros perdidos. Este resultado varía, lógicamente, en función de la longitud necesaria de tubo útil. Repitiendo el cálculo para otras cuatro medidas:

| Longitud (%)   | Longitud tubo aprovechable (m) | Tubos aprovechables (un) | Desperdicio por tubo (m) | Desperdicio por lote (m) |
|----------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 50             | 0,625                          | 10                       | 0,25                     | 1,25                     |
| 75             | 0,9375                         | 6                        | 0,875                    | 11,624                   |
| <b>Nominal</b> | <b>1,25</b>                    | <b>5</b>                 | <b>0,5</b>               | <b>5</b>                 |
| 125            | 1,5625                         | 4                        | 0,25                     | 6,25                     |
| 150            | 1,875                          | 3                        | 0,875                    | 16,75                    |

Tabla 6.1: Variación desperdicio en función de longitud del tubo.  
Fuente: Elaboración propia.

En el desperdicio por lote se incluye la longitud de tubo matriz final que sobra, tras cortarse el último tubo necesario para completar el lote de 50 unidades.

La variación de material desaprovechado, en función de la longitud del tubo, no puede ser detectada si se considera sólo una medida de producción estándar. De acuerdo a los resultados obtenidos, es evidente que la simplificación del producto realizada permite alcanzar una mejora en cuanto a la eficiencia y la sostenibilidad, pero no se optimiza para una producción en la que la longitud del tubo varía. Como consecuencia, el impacto ambiental también depende de la longitud del tubo aprovechable.

Nuevas medidas complementarias son necesarias para controlar el impacto ambiental derivado de la longitud del tubo. Una alternativa sería utilizar la parte

de los tubos sobrantes para re-alimentar la máquina de corte (reciclaje de los restos) o comprar longitudes de tubo matriz asociadas a las longitudes de los tubos aprovechables, reduciendo los desperdicios al mínimo (y de acuerdo a la disponibilidad/capacidad del proveedor).

### **6.3 Variación de la longitud del tubo – desarrollo económico.**

La longitud del tubo analizado se ha considerado de referencia, como un valor representativo de toda la producción. En este apartado, para la validación del modelo propuesto, se considera este parámetro como variable. De esta forma se pretende comprender el efecto de esta medida en los cálculos económicos realizados y, por consiguiente, sus consecuencias.

El coste de material representa el 60,5% del precio final, y de este porcentaje prácticamente la totalidad corresponde al material base, que es función de la longitud del tubo. Por lo tanto, se incluyen cuatro nuevas referencias de colector en el cálculo previamente realizado, con una extensión de 50%, 75%, 125% y 150%, respecto de la medida de referencia.

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                        |                        |                          |              |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| TRABAJADOR OFICINA (8) | 345.600 €/año          |                          |              |
| TRABAJADOR PLANTA (30) | 810.000 €/año          |                          |              |
| GASTOS GENERALES       | 57.780 €/año           | <b>COSTE FABRICACIÓN</b> |              |
|                        | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad              | %            |
|                        | 0,19 €/segundo         | <b>0,54</b>              | <b>44,38</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                     |                      |             |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año        |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año        | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 30.975 €/año        | euro/unidad          | %           |
|                               | <b>40.975 €/año</b> | <b>0,02</b>          | <b>1,50</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| RECEPCIÓN         | 0,01 €/unidad        |
| CORTE             | 0,16 €/unidad        |
| ABOCARDADO        | 0,19 €/unidad        |
| SOLDADURA         | 0,20 €/unidad        |
| PUNZONADO         | 0,20 €/unidad        |
| DOBLADO           | 0,16 €/unidad        |
| CONTROL Y MARCADO | 0,20 €/unidad        |
| SALIDA            | 0,12 €/unidad        |
|                   | <b>1,22 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 1.296.000 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 18.000 €/año           | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.250 €/año            | euro/unidad           | %            |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>1.316.250 €/año</b> | <b>0,59</b>           | <b>48,14</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 30.195 €/año         | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 131.625 €/año        | euro/unidad       | %           |
| RECUPERACIÓN CHATARRA               | 1.588 €/año          | <b>0,07</b>       | <b>5,98</b> |
|                                     | <b>163.408 €/año</b> |                   |             |

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>TOTAL COSTES</b>         | <b>2.734.014 €/año</b> |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>1,22 €/unidad</b>   |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,04 €/segundo</b>  |

Tabla 6.2: Variación económica en función de longitud del tubo 50%  
Fuente: Elaboración propia.

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                        |                        |                          |              |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| TRABAJADOR OFICINA (8) | 345.600 €/año          |                          |              |
| TRABAJADOR PLANTA (30) | 810.000 €/año          |                          |              |
| GASTOS GENERALES       | 57.780 €/año           | <b>COSTE FABRICACIÓN</b> |              |
|                        | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad              | %            |
|                        | 0,19 €/segundo         | <b>0,54</b>              | <b>34,90</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                     |                      |             |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año        |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año        | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 46.225 €/año        | euro/unidad          | %           |
|                               | <b>56.225 €/año</b> | <b>0,02</b>          | <b>1,62</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| RECEPCIÓN         | 0,01 €/unidad        |
| CORTE             | 0,20 €/unidad        |
| ABOCARDADO        | 0,24 €/unidad        |
| SOLDADURA         | 0,25 €/unidad        |
| PUNZONADO         | 0,25 €/unidad        |
| DOBLADO           | 0,20 €/unidad        |
| CONTROL Y MARCADO | 0,25 €/unidad        |
| SALIDA            | 0,15 €/unidad        |
|                   | <b>1,55 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 1.944.000 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 18.000 €/año           | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.250 €/año            | euro/unidad           | %            |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>1.964.250 €/año</b> | <b>0,87</b>           | <b>56,49</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 45.060 €/año         | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 196.425 €/año        | euro/unidad       | %           |
| RECUPERACIÓN CHATARRA               | 1.588 €/año          | <b>0,11</b>       | <b>6,99</b> |
|                                     | <b>243.073 €/año</b> |                   |             |

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>TOTAL COSTES</b>         | <b>3.476.928 €/año</b> |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>1,55 €/unidad</b>   |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,05 €/segundo</b>  |

Tabla 6.3: Variación económica en función de longitud del tubo 75%  
Fuente: Elaboración propia.

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                        |                        |                          |              |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| TRABAJADOR OFICINA (8) | 345.600 €/año          |                          |              |
| TRABAJADOR PLANTA (30) | 810.000 €/año          |                          |              |
| GASTOS GENERALES       | 57.780 €/año           | <b>COSTE FABRICACIÓN</b> |              |
|                        | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad              | %            |
|                        | 0,19 €/segundo         | <b>0,54</b>              | <b>24,45</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                     |                      |             |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año        |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año        | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 76.723 €/año        | euro/unidad          | %           |
|                               | <b>86.723 €/año</b> | <b>0,04</b>          | <b>1,75</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| RECEPCIÓN         | 0,01 €/unidad        |
| CORTE             | 0,29 €/unidad        |
| ABOCARDADO        | 0,34 €/unidad        |
| SOLDADURA         | 0,36 €/unidad        |
| PUNZONADO         | 0,36 €/unidad        |
| DOBLADO           | 0,29 €/unidad        |
| CONTROL Y MARCADO | 0,36 €/unidad        |
| SALIDA            | 0,21 €/unidad        |
|                   | <b>2,21 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 3.240.000 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 18.000 €/año           | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.250 €/año            | euro/unidad           | %            |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>3.260.250 €/año</b> | <b>1,45</b>           | <b>65,69</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 74.790 €/año         | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 326.025 €/año        | euro/unidad       | %           |
| RECUPERACIÓN CHATARRA               | 1.588 €/año          | <b>0,18</b>       | <b>8,11</b> |
|                                     | <b>402.404 €/año</b> |                   |             |

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>TOTAL COSTES</b>         | <b>4.962.757 €/año</b> |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>2,21 €/unidad</b>   |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,07 €/segundo</b>  |

Tabla 6.4: Variación económica en función de longitud del tubo 125%  
Fuente: Elaboración propia.

**DATOS SIMPLIFICADOS PARA EL CÁLCULO PRODUCTO REFERENCIA**

**COSTE FABRICACIÓN**

|                        |                        |                          |              |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| TRABAJADOR OFICINA (8) | 345.600 €/año          |                          |              |
| TRABAJADOR PLANTA (30) | 810.000 €/año          |                          |              |
| GASTOS GENERALES       | 57.780 €/año           | <b>COSTE FABRICACIÓN</b> |              |
|                        | <b>1.213.380 €/año</b> | euro/unidad              | %            |
|                        | 0,19 €/segundo         | <b>0,54</b>              | <b>21,27</b> |

**COSTE GENERAL**

|                               |                      |                      |             |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| GASTOS GENERALES              | 57.780 €/año         |                      |             |
| SUPERFICIE DE PRODUCCIÓN      | 10.000 €/año         | <b>COSTE GENERAL</b> |             |
| CHATARRA TUBO + TUERCA + TAPA | 91.973 €/año         | euro/unidad          | %           |
|                               | <b>101.973 €/año</b> | <b>0,05</b>          | <b>1,79</b> |

**COSTE COLECTOR REFERENCIA**

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| RECEPCIÓN         | 0,01 €/unidad        |
| CORTE             | 0,33 €/unidad        |
| ABOCARDADO        | 0,39 €/unidad        |
| SOLDADURA         | 0,41 €/unidad        |
| PUNZONADO         | 0,41 €/unidad        |
| DOBLADO           | 0,33 €/unidad        |
| CONTROL Y MARCADO | 0,41 €/unidad        |
| SALIDA            | 0,25 €/unidad        |
|                   | <b>2,54 €/unidad</b> |

**VOLUMEN**

|  |                        |                       |              |
|--|------------------------|-----------------------|--------------|
| PRODUCCIÓN TOTAL EN FUNCIÓN REFERENCIA |                        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUBO               | 3.888.000 €/año        |                       |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TUERCA             | 18.000 €/año           | <b>COSTE MATERIAL</b> |              |
| COSTE MATERIA PRIMA TAPA CIERRE        | 2.250 €/año            | euro/unidad           | %            |
| <b>TOTAL GASTOS PRODUCCIÓN</b>         | <b>3.908.250 €/año</b> | <b>1,74</b>           | <b>68,50</b> |

**BENEFICIOS**

|                                     |                      |                   |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| MATERIA PRIMA TUBOS + TUERCA + TAPA | 89.655 €/año         | <b>BENEFICIOS</b> |             |
| VENTA PRODUCTO                      | 390.825 €/año        | euro/unidad       | %           |
| RECUPERACIÓN CHATARRA               | 1.588 €/año          | <b>0,21</b>       | <b>8,45</b> |
|                                     | <b>482.069 €/año</b> |                   |             |

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>TOTAL COSTES</b>         | <b>5.705.672 €/año</b> |
| <b>TOTAL COSTE COLECTOR</b> | <b>2,54 €/unidad</b>   |
| <b>TOTAL COSTE TIEMPO</b>   | <b>0,08 €/segundo</b>  |

Tabla 6.5: Variación económica en función de longitud del tubo 150%  
Fuente: Elaboración propia.

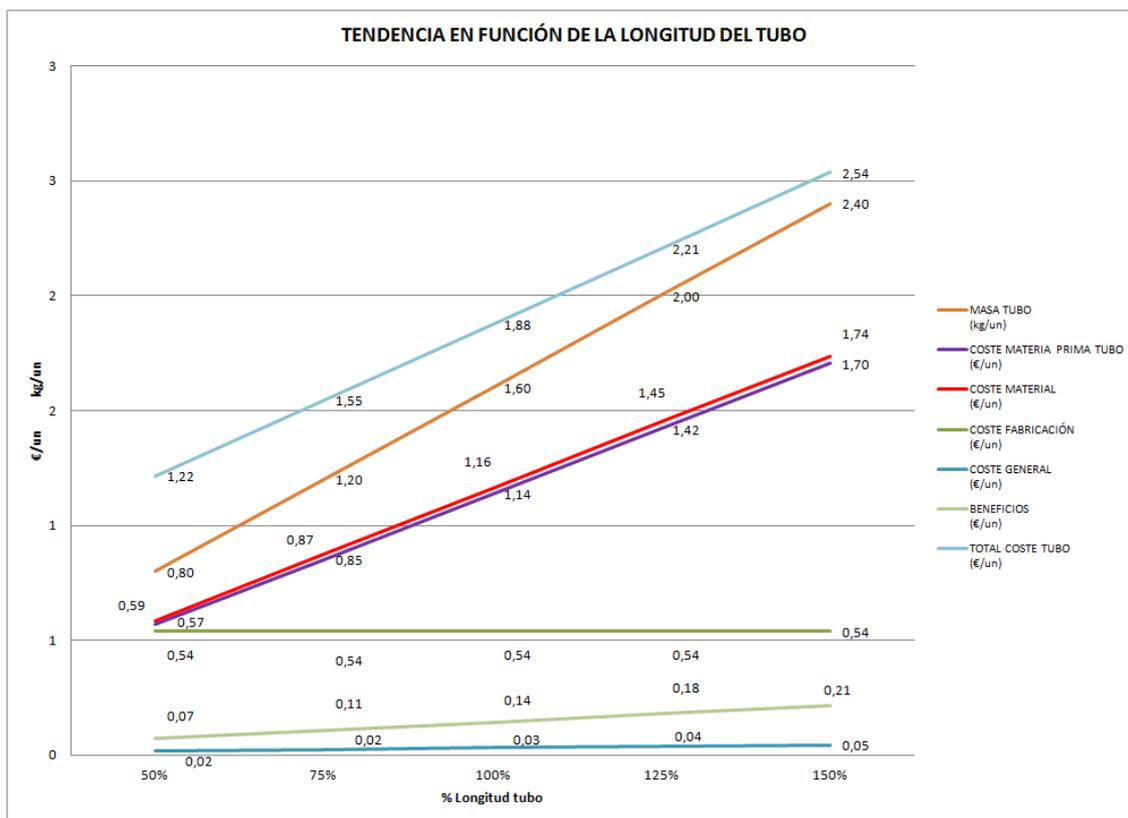


Figura 6.1: Tendencia en función de longitud del tubo – coste fabricación constante.  
Fuente: Elaboración propia.

| LONGITUD TUBO | MASA TUBO (kg/un) | COSTE MATERIA PRIMA TUBO (€/un) | COSTE MATERIAL (€/un) | COSTE MATERIAL (%) | COSTE FABRICACIÓN (€/un) | COSTE FABRICACIÓN (%) | COSTE GENERAL (€/un) | COSTE GENERAL (%) | BENEFICIOS (€/un) | BENEFICIOS (%) | TOTAL COSTE TUBO (€/un) |
|---------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| 50%           | 0,80              | 0,57                            | 0,59                  | 48,14              | 0,54                     | 44,38                 | 0,02                 | 1,50              | 0,07              | 5,98           | 1,22                    |
| 75%           | 1,20              | 0,85                            | 0,87                  | 56,49              | 0,54                     | 34,90                 | 0,02                 | 1,62              | 0,11              | 6,99           | 1,55                    |
| 100%          | 1,60              | 1,14                            | 1,16                  | 61,90              | 0,54                     | 28,75                 | 0,03                 | 1,69              | 0,14              | 7,65           | 1,88                    |
| 125%          | 2,00              | 1,42                            | 1,45                  | 65,69              | 0,54                     | 24,45                 | 0,04                 | 1,75              | 0,18              | 8,11           | 2,21                    |
| 150%          | 2,40              | 1,70                            | 1,74                  | 68,50              | 0,54                     | 21,27                 | 0,05                 | 1,79              | 0,21              | 8,45           | 2,54                    |

Tabla 6.6: Resultado económico en función de longitud del tubo.  
Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los resultados obtenidos, se identifica que los costes generales permanecen constantes y que son independientes de la longitud del tubo. La relación de los otros parámetros fluctúa en mayor o menor medida, siendo destacable la tendencia que sigue cada una de las líneas, acercándose o separándose, respecto de la de referencia “masa tubo”. Esta inclinación, de cada línea respecto a la línea de referencia, permite interpretar y cuantificar el efecto que se produce al aumentar o disminuir la longitud del tubo de referencia.

Cabe también indicar, de acuerdo a los valores de la Tabla 6.6 de resultados, que el porcentaje de beneficios respecto del total del precio del tubo terminado es directamente proporcional a la longitud del tubo. Es decir, a mayor longitud del tubo, el beneficio obtenido por unidad fabricada es mayor.

La Figura 6.2 siguiente muestra una corrección respecto a los beneficios, siendo ahora éstos independientes de la longitud del tubo (e igual al de referencia). De esta forma, se garantiza siempre el ingreso que tendrá la empresa sin tener en cuenta que sólo se fabriquen tubos largos o tubos pequeños (inicialmente con mayor o menor beneficio, respectivamente):

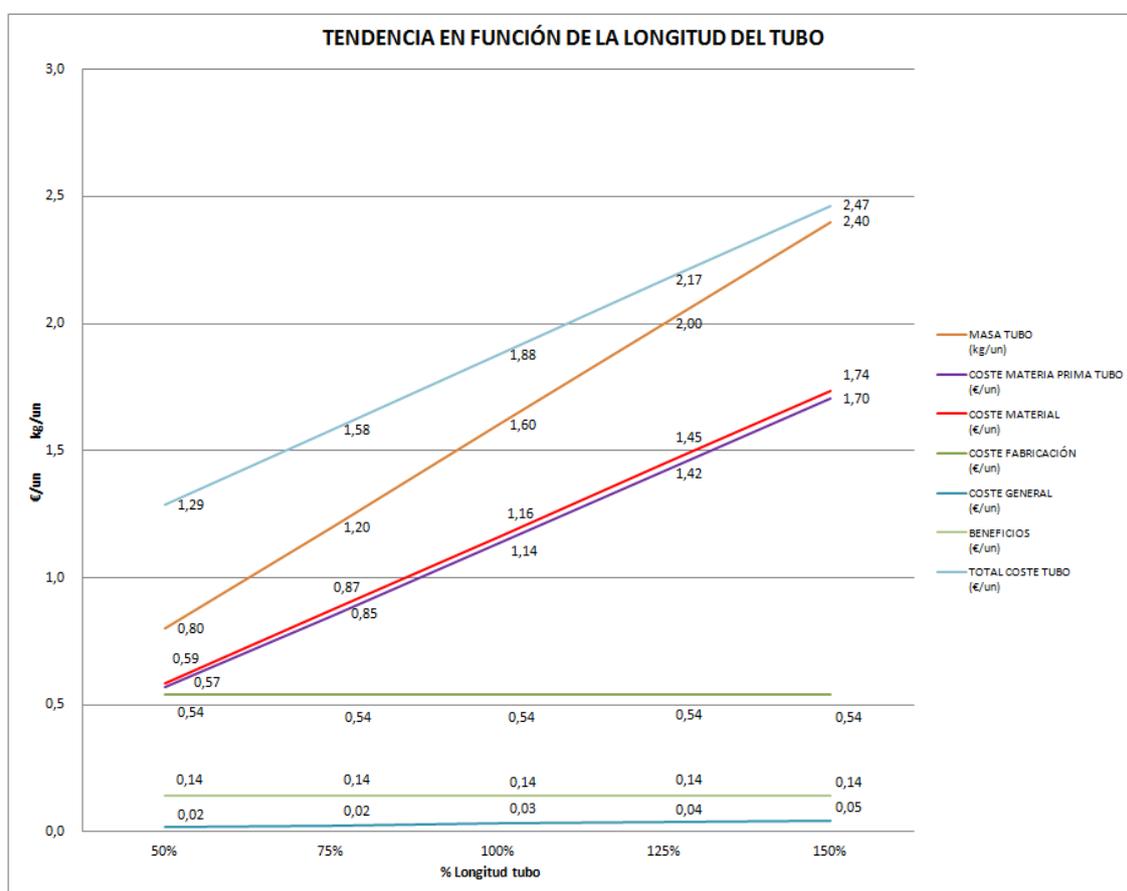


Figura 6.2: Tendencia en función de longitud del tubo – coste fabricación y beneficio constantes.  
Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, se pueden modificar los otros parámetros considerados en función de los criterios marcados por el mercado, y de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Como conclusión de esta variable longitud de tubo, se puede indicar que los resultados obtenidos en el modelo propuesto son un válido reflejo de la situación real, permitiendo así variar algunos indicadores para ajustarse a las necesidades de la empresa en cada momento, ya sea primar la obtención de beneficios, aumentar la competitividad en el mercado de alguna de las longitudes de los tubos, u otros objetivos.

#### **6.4 Variación del número de variantes de tubo producidas por turno.**

Para la validación del modelo propuesto, se identifica otro parámetro capital, como es el número de cambios de tubo que se realizan por turno. Inicialmente, de acuerdo a los datos registrados durante el último año de fabricación, se define que hasta en cinco ocasiones por turno se cambia el tipo de tubo, con los consiguientes ajustes que se deben realizar en los distintos puestos de trabajo.

El efecto será más evidente en el puesto con mayor porcentaje de disponibilidad, como son en este caso soldadura 90,63% y punzonado 90,52%. Si se tiene en cuenta el tiempo operativo de cada una de estas etapas, se observa que ambas están funcionando 421 minutos de los 465 minutos disponibles por turno. Sin embargo, entre las dos, el más crítico es la primera, debido a su tiempo de preparación de 150 segundos frente a los 50 segundos del punzonado.

Se determina el tiempo disponible para la preparación de utillajes, en este caso 44 minutos, y teniendo en cuenta el tiempo de preparación necesario de 150 segundos, permite realizar 17,4 cambios por turno de trabajo. Es decir, si se realizasen 18 preparaciones por turno no se alcanzaría la producción final prevista de 5.000 tubos buenos. Llegados a este punto, la adopción de otras medidas es necesaria para poder garantizar la producción final, como podría ser duplicar en paralelo este puesto de trabajo, o agrupar mismo tipo de colectores seguidos para minimizar el cambio de utillajes.

Teniendo en cuenta la perspectiva global del proceso, si fuese necesario realizar 18 cambios de utillajes y se liberase el puesto de soldadura, para poder mantener la producción final encontraríamos otro cuello de botella, que sería el de control, ya que este puesto de trabajo también está operativo 420 minutos y necesita 150 segundos de preparación. En este caso, debido a su alta defectuosidad, una posible mejora sería reducir el número de piezas no válidas detectadas en este puesto. Ya que el principal modo de fallo es el posicionamiento indebido de los agujeros en el punzonado. Con este fin, en la etapa de doblado (72,34% disponibilidad) entre el punzonado y el control, se podría introducir una comprobación intermedia para descartar estas piezas antes de que sigan aguas abajo, y dando así mayor capacidad de trabajo al control.

La nueva disposición es un reflejo de la flexibilidad alcanzada, ya que frente a largas tandas de producción (cinco cambios de utillaje), ahora es posible realizar hasta 17 cambios de utillaje para cumplir con el *takt time*.

Es importante reseñar, que el cambio de este principio supuesto al inicio del proyecto (cinco cambios de utillajes), exige que distintos parámetros considerados en el proceso de cálculo también se deban actualizar, resultando en una mayor optimización al aumentarse la disponibilidad de cada puesto. Es decir, lo que a priori era una dificultad en la empresa (sólo 5 referencias por turno con altos volúmenes de producción), se convierte en un valor añadido (17 referencias por turno con pequeños lotes).

### **6.5 Variación conjunta de la longitud del tubo y del número de variantes de tubo producidas por turno.**

Si se consideran conjuntamente los efectos de la variación de la longitud y del número de variantes de tubos, tanto en la fabricación como en el coste, se observa que el modelo identifica cada una de las situaciones posibles y permite

reaccionar y ajustar todo el proceso, reduciendo los desperdicios (medio ambiente), optimizando la rentabilidad del producto (económico), manteniendo y promocionado el empleo (social), y de acuerdo a las normativas aplicables (políticas públicas).

## 6.6 Comparativa ratio medioambiental situación inicial – final.

El caso de estudio identifica nueve y ocho etapas productivas, según sea la situación inicial y final respectivamente, y cada una con una cantidad identificada de milipuntos. La Tabla 6.7 siguiente compara, para cada una de estas etapas productivas, la cantidad de milipuntos antes y después de aplicar el modelo propuesto:

| <b>ETAPA PRODUCCIÓN</b> | <b>INICIAL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL (milipunto)</b> | <b>FINAL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL (milipunto)</b> |
|-------------------------|---|---|
| RECEPCIÓN               | 103,4737  | 56,337  |
| CORTE                   | 16,6578   | 0,033   |
| ABOCARDADO              | 0,0001  | 0,001   |
| SOLDADURA               | 6,8732  | 6,8732  |
| PUNZONADO               | 0,0073  | 0,0073  |
| DOBLADO                 | 1,753   | 1,753   |
| CONTROL                 | 0,0001  | 0,0001  |
| MARCADO                 | 0,0001  |   |
| SALIDA                  | 16,015  | 16,015  |
| <b>TOTAL</b>            | <b>144,78</b>                                     | <b>81,02</b>                                    |

Tabla 6.7: Comparativa impacto medioambiental situación inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

El coste en euros identificado para cada una de las etapas productivas:

| <b>ETAPA PRODUCCIÓN</b> | <b>INICIAL COSTE (€)</b> | <b>FINAL COSTE (€)</b> |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| RECEPCIÓN               | 0,01                     | 0,01                   |
| CORTE                   | 0,13                     | 0,24                   |
| ABOCARDADO              | 0,40                     | 0,29                   |
| SOLDADURA               | 0,31                     | 0,30                   |
| PUNZONADO               | 0,32                     | 0,30                   |
| DOBLADO                 | 0,30                     | 0,24                   |
| CONTROL                 | 0,24                     | 0,30                   |
| MARCADO                 | 0,18                     |                        |
| SALIDA                  | 0,11                     | 0,18                   |
| <b>TOTAL</b>            | <b>2,00</b>              | <b>1,88</b>            |

Tabla 6.8: Comparativa coste situación inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis conjunto de las dos Tablas 6.7 y 6.8 muestra, cómo los mayores progresos se han realizado en las etapas productivas con un mayor identificado (recepción y corte):

| <b>ETAPA PRODUCCIÓN</b> | <b>INICIAL RATIO MEDIOAMBIENTAL</b> | <b>FINAL RATIO MEDIOAMBIENTAL</b> |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| RECEPCIÓN               | 141,51                              | 85,62                             |
| CORTE                   | 1,73                                | 0                                 |
| ABOCARDADO              | 0                                   | 0                                 |
| SOLDADURA               | 0,3                                 | 0,31                              |
| PUNZONADO               | 0                                   | 0                                 |
| DOBLADO                 | 0,1                                 | 0,1                               |
| CONTROL                 | 0                                   | 0                                 |
| MARCADO                 | 0                                   |                                   |
| SALIDA                  | 1,97                                | 1,21                              |

Tabla 6.9: Comparativa ratio medioambiental situación inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también se ha producido una mejora en la salida, y se han mantenido igual las etapas doblado y soldadura. La misma Tabla 6.9 sirve para destacar la posibilidad de mejora en un siguiente ciclo de mejora de innovación ambiental, tanto en la etapa de recepción (por ejemplo un colector a partir de materia prima sólo aluminio) como en la salida.

Estos valores confirman que el ratio medioambiental es un parámetro válido para identificar dónde el impacto ambiental es mayor, y por tanto ejecutar una acción correctiva, así como para controlar la mejora medioambiental realizada.

### 6.7 Comparativa recepción inicial corregida – final.

Mantener el mismo criterio de evaluación permite mantener la coherencia de los datos y comprender qué sucede. En este caso de estudio suceden dos variaciones que no permiten mantener el mismo criterio de análisis:

- Las etapas productivas control y marcado se han unificado.
- La recepción de material inicial es dos veces a la semana, y en la situación final es diaria.

Los datos de la situación inicial:

| PROCESO                            | RECEPCIÓN*  | CORTE        | ABOCARDADO   | SOLDADURA    | PUNZONADO    | DOBLADO      | CONTROL      | MARCADO      | SALIDA       |
|------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Impacto medioambiental (milipunto) | 103,47      | 16,66        | 0,00         | 6,87         | 0,01         | 1,75         | 0,00         | 0,00         | 16,02        |
| Innovación ambiental (%)           | 28,53       | 88,49        | 100,00       | 95,25        | 99,99        | 98,79        | 100,00       | 100,00       | 88,94        |
| Disponibilidad (%)                 | 16,13       | 41,71        | 99,95        | 97,55        | 93,61        | 89,41        | 69,63        | 50,71        | 63,64        |
| Rendimiento (%)                    | 66,67       | 84,21        | 97,90        | 89,89        | 88,89        | 93,02        | 95,52        | 94,12        | 25,00        |
| Calidad (%)                        | 100,00      | 99,43        | 99,82        | 94,89        | 99,96        | 99,96        | 95,69        | 100,00       | 100,00       |
| OEE (%)                            | 10,75       | 34,92        | 97,67        | 83,21        | 83,17        | 83,14        | 63,64        | 47,73        | 15,91        |
| <b>OEEE (%)</b>                    | <b>3,07</b> | <b>30,91</b> | <b>97,67</b> | <b>79,26</b> | <b>83,17</b> | <b>82,13</b> | <b>63,64</b> | <b>47,73</b> | <b>14,15</b> |

Tabla 6.10: Valor OEEE inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la situación final (marcado y control unificado):

| PROCESO                            | RECEPCIÓN*  | CORTE        | ABOCARDADO   | SOLDADURA    | PUNZONADO    | DOBLADO      | CONTROL MARCADO | SALIDA       |
|------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| Impacto medioambiental (milipunto) | 56,34       | 0,03         | 0,00         | 6,87         | 0,01         | 1,75         | 0,00            | 16,02        |
| Innovación ambiental (%)           | 61,09       | 99,98        | 100,00       | 95,25        | 99,99        | 98,79        | 100,00          | 88,94        |
| Disponibilidad (%)                 | 5,46        | 73,13        | 85,31        | 90,63        | 90,52        | 72,34        | 90,34           | 72,76        |
| Rendimiento (%)                    | 100,00      | 100,00       | 100,00       | 100,00       | 100,00       | 100,00       | 100,00          | 100,00       |
| Calidad (%)                        | 100,00      | 99,27        | 99,86        | 99,88        | 99,90        | 99,90        | 99,19           | 100,00       |
| OEE (%)                            | 5,46        | 72,60        | 85,19        | 90,52        | 90,43        | 72,27        | 89,61           | 72,76        |
| <b>OEEE (%)</b>                    | <b>3,34</b> | <b>72,59</b> | <b>85,19</b> | <b>86,22</b> | <b>90,43</b> | <b>71,40</b> | <b>89,61</b>    | <b>64,71</b> |

Tabla 6.11: Valor OEEE final.  
Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la comprensión de los valores (\*) obtenidos, se distribuye la recepción inicial de material durante los cinco días, obteniéndose los siguientes valores:

| PROCESO                            | RECEPCIÓN* INICIAL | RECEPCIÓN* FINAL |
|------------------------------------|--------------------|------------------|
| Impacto medioambiental (milipunto) | 103,4737           | 56,34            |
| Innovación ambiental (%)           | 28,53              | 61,09            |
| Disponibilidad (%)                 | 6,45               | 5,46             |
| Rendimiento (%)                    | 66,67              | 100,00           |
| Calidad (%)                        | 100,00             | 100,00           |
| OEE (%)                            | 4,30               | 5,46             |
| <b>OEEE (%)</b>                    | <b>1,23</b>        | <b>3,34</b>      |

Tabla 6.12: Comparativa recepción inicial corregida – final.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, al aplicar este criterio de análisis a la situación inicial, el valor OEEE inicial para la recepción cambia de 3,07 a 1,23. Siendo la situación final igual a 3,34. Existe por tanto, una leve mejora en este puesto aunque lejos de un nivel aceptable, tal y como se explica en el apartado siguiente.

### 6.8 Comparativa OEEE situación inicial – final.

De acuerdo a los valores obtenidos, la implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible en la empresa de conformado de tubos ha producido una mejora en la situación final respecto a la situación inicial. El parámetro OEEE permite medir y cuantificar el progreso alcanzado.

Si se compara cada una de las etapas productivas, se puede ver que existe una gráfica, representada en la Figura 6.3, muy parecida tanto para el OEE como para el OEEE:

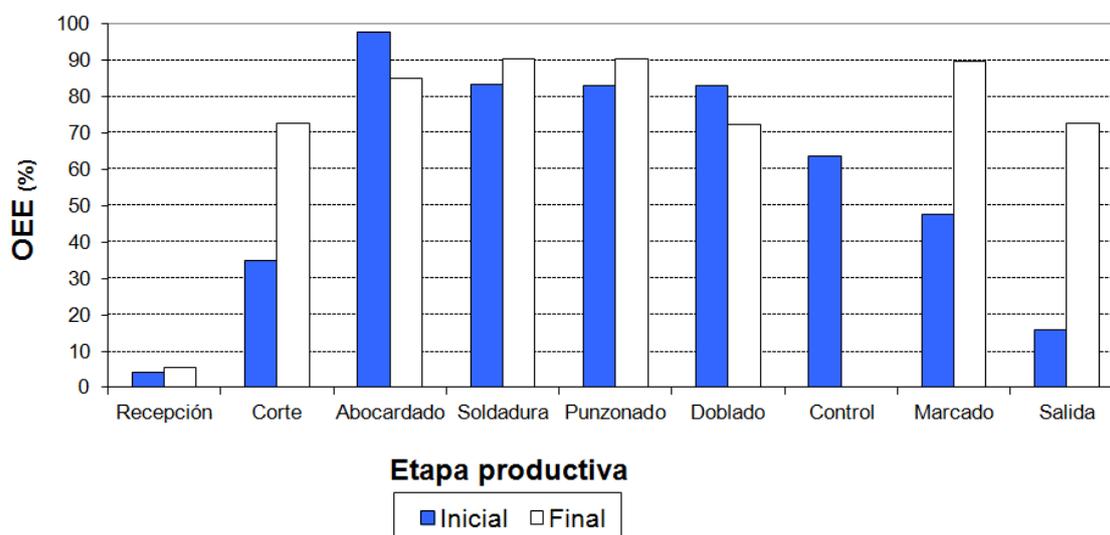


Figura 6.3: Valor OEE inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

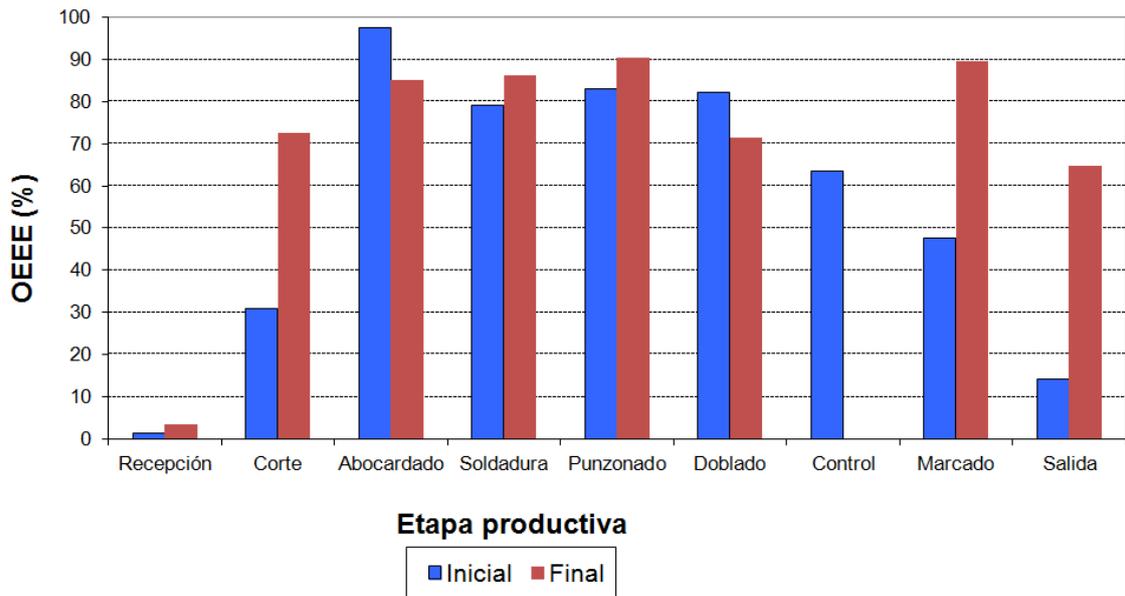


Figura 6.4: Valor OEEE inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

La diferencia del valor aportado por el OEE y el OEEE viene dada por el cálculo de la innovación ambiental, representado en la Figura 6.5 siguiente, siendo la mejora perceptible como ya se ha indicado en las dos primeras etapas productivas:

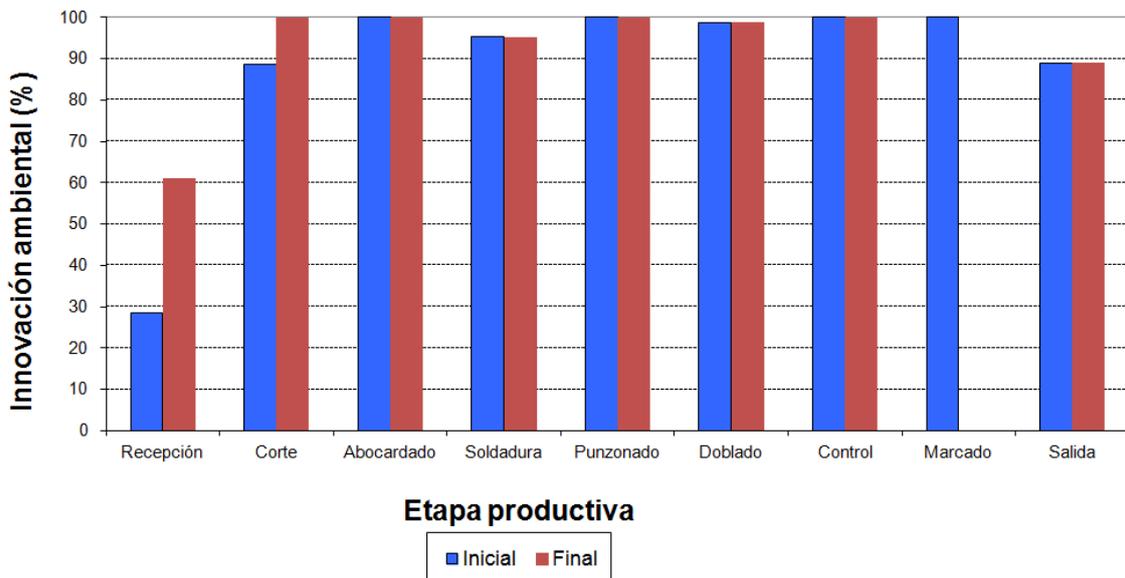


Figura 6.5: Valor innovación ambiental inicial – final.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta nueva información es la base de la innovación ambiental que impulsa la implantación del modelo de mejora eficiente y sostenible, en un sistema de producción ajustado.

### 6.9 Unidad de medida del Impacto Medioambiental alternativa.

En la parte teórica de esta tesis doctoral se ha presentado el Ecoindicador-99 (IHOBE, 2000) como un posible método de cálculo del impacto ambiental a lo largo del completo ciclo de vida del producto, utilizando los milipuntos como unidad de medida. Otros métodos (Frischknecht et al., 2007), como por ejemplo EPS 2000, IMPACT 2002+, TRACI,... y programas (ESU-services), como por ejemplo Simapro, e-DEA, EarthSmart,... alternativos permiten realizar el mismo cálculo con distintas unidades, en función de la base de datos y/o indicadores utilizados como referencia. Remarcar que se realiza el mismo cálculo medioambiental, pero que no se obtiene exactamente el mismo resultado, aunque sí existe una correlación y coherencia entre los valores obtenidos.

A continuación se va a comparar de forma simplificada el impacto medioambiental del material base del ejemplo propuesto en el capítulo cinco, acero de baja aleación (1,6 kg) frente a la alternativa de aluminio (0,56 kg), utilizando distintos programas informáticos. Las bases de datos de dichos programas definen de forma genérica el material utilizado (acero de baja aleación – aluminio), sin diferenciar las familias/definiciones alternativas existentes en el mercado para cada uno de estos dos tipos de materiales.

- Tree (2006 - Versión 1.1) Ecoindicador-99 / milipuntos:

| Num  | Tipo     | Descripción            | Mp  | kilogramo | Subt | Cant | Total |
|--|----------|------------------------|-----|-----------|------|------|-------|
| 1  | Material | Acero de baja aleación | 110 | 1,6       | 176  | 1    | 176   |
| <small>Bloques de material que sólo contienen 93% de acero primario, 5% de restos y 1% de materiales de aleación</small> |          |                        |     |           |      |      |       |
| 2  | Material | Aluminio 100% rec.     | 60  | 0,56      | 33,6 | 1    | 33,6  |
| <small>Bloques de material que sólo contienen materiales secundarios</small>   |          |                        |     |           |      |      |       |

Tabla 6.13: Comparativa indicadores colector referencia Tree.  
Fuente: Elaboración propia en base a Tree.

- EuPeco-Profiler (versión 1.0):

| FLUJO    | VALOR | UNIDAD | FAMILIA | MATERIAL / PROCESO          |
|----------|-------|--------|---------|-----------------------------|
| Acero    | 1.6   | kg     | Metales | Acero (tubo/perfil)         |
| Aluminio | 0.56  | kg     | Metales | Aluminio (lámina/extrusión) |

| INDICADOR / UNIDAD                                | Acero    | Aluminio |
|---|----------|----------|
| Energía bruta (MJ primario)                       | 2.72E1   | 1.08E2   |
| Agua proceso (litr. agua)                         | 0        | 0        |
| Agua refrigeración (litr. agua)                   | 0        | 0        |
| Residuos peligrosos (g residuo)                   | 0        | 0        |
| Residuos no peligrosos (g residuo)                | 1.28E3   | 2.20E3   |
| Calentamiento global (kg CO2 eq.)                 | 2.20E0   | 5.80E0   |
| Acidificación (g SO2 eq.)                         | 5.75E0   | 3.77E1   |
| Compuestos orgánicos volátiles (g NMVOCs)         | 1.88E-1  | 3.70E-2  |
| Compuestos orgánicos persistentes (ng I-TEQ)      | 1.92E1   | 2.80E0   |
| Metales pesados aire (mg Ni eq.)                  | 4.14E0   | 2.04E0   |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg Ni eq.) | 5.21E-2  | 5.41E1   |
| Partículas (g partículas)                         | 1.61E0   | 9.47E0   |
| Metales pesados agua (mg Hg/20 eq.)               | 2.51E0   | 1.96E1   |
| Eutrofización (mg PO4 eq.)                        | 6.13E1   | 2.77E0   |
| Electricidad (MJ primario)                        | 7.32E0   | 0        |
| Poder calorífico neto (MJ primario)               | -2.52E-1 | 0        |

Tabla 6.14: Comparativa indicadores colector referencia EuPeco-Profiler.  
Fuente: Elaboración propia en base a EuPeco-Profiler.

La utilización de estos programas permite orientar la innovación ambiental del modelo de mejora eficiente y sostenible en función del indicador deseado, sean los milipuntos, el calentamiento global (kg CO<sub>2</sub> eq.) u otro indicador. De esta forma, si una empresa está preocupada específicamente en el calentamiento global, de acuerdo a la Tabla 6.14 en base al programa EuPeco-Profiler, la elección de aluminio (5,8 kg CO<sub>2</sub> eq. / unidad de colector referencia) en vez de acero (2,2 kg CO<sub>2</sub> eq. / unidad de colector referencia) sería empeorar la situación inicial. Sin embargo, de forma global, de acuerdo a la Tabla 6.13 en base al programa Tree, la elección de aluminio (33,6 milipuntos / unidad de colector referencia) sería una mejora final relevante frente a la situación inicial de acero (176 milipuntos / unidad de colector referencia). En esta comparativa simplificada, para facilitar la comprensión, no se han tenido en cuenta otras etapas productivas ni el reciclado final del producto.

Si todos los indicadores incluidos en la Tabla 6.14 en base al programa EuPeco-Profiler se considerasen conjuntamente, se aplicase un factor de compensación en función del peso de cada una de las unidades, y una corrección en función del lugar de cálculo, se estaría mostrando un nuevo parámetro de medida que se parecería al milipunto del Ecoindicador-99.

La unidad de medida utilizable para el cálculo del impacto ambiental es función del indicador que se quiera controlar. En el caso de estudio se ha optado por el método del Ecoindicador-99, pero éste se puede sustituir por otro método y/o base de datos a criterio del análisis que se quiera realizar. Las consideraciones realizadas para cuantificar la innovación ambiental alcanzada seguirían siendo igualmente válidas, cambiando las unidades de medida (por ejemplo kg CO<sub>2</sub> equivalente en vez de milipuntos).

### **6.10 Consideraciones al contraste de resultados.**

Este capítulo presenta una serie de variaciones de los parámetros de contorno fijados al inicio del proyecto, como son la longitud del tubo de referencia y el número de variantes (cambios de utillajes a realizar), con el fin de validar los resultados obtenidos en el caso de estudio.

La aplicación de estas variaciones muestra clara y evidentemente los cambios y los efectos que se producirían, de forma coherente y realista, dando por tanto validez a los resultados obtenidos en el modelo de cálculo propuesto en el capítulo 5.

Asimismo, se describen con mayor detalle las implicaciones derivadas de la utilización de los nuevos parámetros de trabajo como son el ratio medioambiental y el OEEE, haciendo hincapié en la importancia de mantener el mismo criterio de análisis durante todo el proyecto, siendo necesario hacer correcciones si fuese el caso, como por ejemplo en la etapa de recepción.

Finalmente, se revisa la posibilidad de utilizar distintos métodos y programas para el cálculo del impacto ambiental, estando en función del indicador que se quiera medir y controlar. La innovación ambiental alcanzada estaría en relación al indicador seleccionado.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **7.1 Introducción a la consecución del modelo propuesto.**

Hasta 1900 las empresas utilizaban un modelo de costes sencillo basado en el producto, es decir, todos los recursos se asignaban directamente al producto y los costes indirectos se imputaban mediante una aportación única.

A principios del siglo XX, debido al incremento de productos y de costes indirectos en las empresas, ya no resulta práctico mantener la misma estructura, surgiendo así el modelo de costes por secciones, en el que los costes directos se establecen directamente en el producto en función del consumo que se efectúe de cada producto. Para los costes indirectos se realiza una primera imputación distribuyendo los recursos consumidos, tanto de las secciones principales como de las subsiguientes, entre los distintos centros de coste. Posteriormente se asignan los costes acumulados a los productos a través de unidades de obra que relacionan los centros de coste (secciones) con el uso que el producto hace de ellos.

A finales de los años 80 se hace patente una vez más que el modelo contable se vuelve a quedar obsoleto, ya que no es suficiente aplicar las nuevas tecnologías informáticas a modelos contables ya existentes. Se hace necesaria una nueva revisión de los métodos existentes que permitan:

- Calcular exactamente el coste del producto.
- Adecuar los sistemas de control.
- Sugerir acciones que permitan promover la mejora continua.

- Capacitar para tomar decisiones.

Cuando las empresas fabrican un solo producto (o dos) con un volumen muy alto de unidades y con una gran carga de trabajo humano, situación típica en la fabricación por lotes, es fácil realizar el reparto de los costes indirectos, pero ¿qué ocurre cuando el mercado exige fabricar eficientemente pequeñas cantidades de una amplia variedad de productos en instalaciones muy automatizadas?

En un sistema de fabricación por lotes típico se establece una contabilidad paralela para medir las relaciones entre la empresa y el medio ambiente. Sin embargo, tales cálculos sobre la sostenibilidad no llegan a tener influencia en la gestión estratégica, que está orientada a producir más y más. Pero ¿cómo se puede contabilizar el progreso sostenible que realiza la organización?

Todo el trabajo efectuado en las empresas debe poder ser traducido a términos contables: ¿cómo se puede cambiar el sistema de producción si se mantienen los mismos tipos de mediciones para calcular el coste de un producto, que se fabrica de forma distinta?

La tesis doctoral propone un nuevo modelo de mejora eficiente y sostenible para dar respuesta a estas preguntas aquí planteadas, apoyándose en tres nuevas herramientas de análisis, a partir del valor medioambiental (ecoindicador):

- Análisis de la eficiencia medioambiental general de los equipos.
- Análisis del ratio medioambiental.
- Análisis del flujo de valor de innovación ambiental.

## **7.2 Objetivo I – Desarrollar las herramientas necesarias para implantar el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado.**

Este modelo propuesto se basa en una sucesión de mejoras eficientes y sostenibles en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental. El reto consiste en combinar la competitividad de una empresa con los cuatro criterios identificados: el medio ambiente; la responsabilidad social de la región; el desarrollo económico; y las políticas públicas; definidos éstos como parámetros de control. Se destaca igualmente la relación de beneficio mutuo entre sostenibilidad y eficiencia, demostrando cómo una empresa puede incrementar sus beneficios aplicándolos conjuntamente.

El objetivo de este modelo es inculcar una cultura eficiente y sostenible a través de un proceso que englobe todo el conjunto de la empresa, y permita así contabilizar los progresos realizados. No se atacan los puntos urgentes de mejora, para expandirlas por el resto de la empresa en etapas posteriores, sino que se sigue un proceso *pull* desde lo que es realmente valorado por el cliente, abarcando todo el ciclo de vida del producto.

### **7.2.1 Beneficios del análisis del valor medioambiental (ecoindicador).**

El valor medioambiental se mide en función del indicador del impacto ambiental identificado, sean milipuntos, kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes u otro en función de las necesidades y objetivos de la empresa en cuestión. Este parámetro es la base del cálculo para medir la innovación ambiental que se realiza, tanto para definir la situación inicial como para controlar el escenario final alcanzado.

La cuantificación del impacto ambiental a través de un indicador permite relacionar la sostenibilidad con otros términos cuantificados, como son la eficiencia general de equipos, el coste y el flujo de valor de producto. Esta

vinculación posibilita medir la innovación ambiental e integrar en la toma de decisiones nuevos ecoindicadores, como son las nuevas herramientas de análisis propuestas: la eficiencia de los puestos de trabajo (Eficiencia Medioambiental General de los Equipos – OEEE), la evolución ambiental (ratio medioambiental), y la representación gráfica del conjunto del ciclo de vida del producto (flujo de valor de innovación ambiental).

La definición de estos tres nuevos ecoindicadores es la mayor aportación de esta tesis doctoral a la literatura existente, a la hora de interrelacionar eficiencia (*lean*) y sostenibilidad (verde), cumpliéndose de esta forma dos de los objetivos propuestos: la definición de herramientas específicas de análisis y la contribución novedosa al estado del arte actual.

### 7.2.2 Beneficios del análisis de la Eficiencia Medioambiental General de los Equipos (OEEE).

La Eficiencia Medioambiental General de los Equipos (OEEE, del inglés *Overall Environmental Equipment Effectiveness*) es la respuesta a las preguntas de la literatura actual que cuestionan la relación entre *lean* y verde, entre eficiencia y sostenibilidad. Gracias a esta contribución, y contrastado en el caso de estudio propuesto, las siguientes tres afirmaciones son posibles:

1. El nuevo parámetro OEEE permite a las empresas incluir la sostenibilidad en las decisiones de negocio.
2. El nuevo parámetro OEEE ayuda a demostrar que eficiencia y sostenibilidad son compatibles.
3. El nuevo parámetro OEEE compara la situación de un puesto de trabajo entre dos momentos identificados, teniendo en cuenta su disponibilidad, su rendimiento, su calidad y su innovación ambiental, mostrando el cambio alcanzado.

También resulta innovador el hecho de combinar ambos conceptos *lean*/eficiente y verde/sostenible, porque las herramientas de cada uno de estos dos conceptos van a tener un efecto potenciador sobre las del otro, tal y como se demuestra en las gráficas de contraste presentadas en el caso de estudio. De esta forma, se proporciona además una metodología que ayuda a identificar cuándo se deben utilizar estas herramientas específicas de análisis eficiente y sostenible. Este dilema de qué herramientas y cuándo aplicarlas a nivel micro era una de las grandes dudas que surgían, de acuerdo a los autores citados en la parte teórica de esta tesis doctoral, contribuyendo este modelo propuesto a aportar otra opinión sobre este tema.

### 7.2.3 Beneficios del análisis del ratio medioambiental.

El ratio medioambiental es el parámetro que sirve para comparar el impacto ambiental del indicador seleccionado frente al coste de la etapa productiva identificada. El contraste de estos valores permite relacionar el impacto ambiental producido con el coste económico del producto.

Esta medida calcula si la mejora medioambiental realizada es rentable en términos económicos para la empresa. Permite identificar qué etapa tiene un mayor potencial de mejora ambiental, respecto al ciclo de fabricación del producto considerado. Esta relación entre el coste económico y el impacto ambiental, teniendo en cuenta el ciclo productivo completo, es un nuevo aporte al estado del arte actual.

### 7.2.4 Beneficios del análisis del flujo de valor de innovación ambiental.

El análisis de flujo de valor destaca como una herramienta fundamental para realizar una implantación *lean*, pero que para el autor de esta tesis doctoral resulta insuficiente tal y como se utiliza actualmente, ya que existen numerosos parámetros de control que no aparecen en el VSM clásico (Rother y Shook,

1998). Es por ello que, apoyado en el uso de ecoindicadores, se propone un análisis de flujo de valor de innovación ambiental, en el que se representan visualmente todos los valores de control relevantes identificados en el modelo propuesto. La representación conjunta del ciclo de vida del producto permite considerar de forma global el proyecto, y realizar de una forma eficiente un seguimiento de la evolución del proyecto en sus sucesivas etapas.

Esta visión conjunta del flujo de valor del producto, incluyendo parámetros de análisis medioambientales, es otro aporte innovador a la literatura existente de esta tesis doctoral.

#### 7.2.5 Beneficios del criterio Políticas Públicas.

Un enfoque clásico de las empresas, teniendo en cuenta sólo consideraciones medioambientales, económicas y sociales, tiende a que las empresas sólo se limiten a cumplir los requisitos mínimos para cumplir con las certificaciones verdes, como identifica Wu et al. (2013), en vez de desarrollar un verdadero proyecto verde.

Al incluir el parámetro de Políticas Públicas se pretende precisamente aprovechar la legislación existente, para potenciar el efecto de las medidas medioambientales que se puedan realizar, considerando todo el ciclo de vida del producto. El análisis completo, considerando sinergias entre los cuatro criterios identificados (medioambiente; desarrollo económico; sociedad; políticas públicas), sí va a permitir implantar un “genuino” proyecto verde en la empresa, que junto a las otras herramientas propuestas se va a convertir en un verdadero modelo de mejora eficiente y sostenible.

### **7.3 Objetivo II – Explicar el proceso de transformación de un sistema de fabricación por lotes a un modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.**

La metodología propuesta en esta tesis doctoral parte desde el cliente, para irse implantando paulatinamente por el resto de la empresa siguiendo la cadena productiva, y aprovechando las relaciones entre eficiencia y sostenibilidad, a partir de innovaciones ambientales. Las mediciones de los parámetros de control cuantifican, a través de las herramientas de análisis planteadas, cuál es la mejora sostenible (en función del indicador ambiental seleccionado) en el proceso, para poder comparar así la mejora eficiente del sistema o lo que es lo mismo, la reducción de los desperdicios. Esta mejora del sistema productivo eficiente y sostenible se registra en los ficheros de trabajo propuestos, que serán la base para la toma de decisiones basada en la innovación ambiental.

Otro aspecto destacable es que esta nueva metodología propuesta es realizable por cualquier persona, aunque no sea un experto en herramientas eficientes y sostenibles, salvándose así también otro problema que aparece en las empresas, al no disponer de expertos que sepan cómo establecer una metodología de este tipo.

La inclusión en el modelo de los cuatro criterios identificados (medio ambiente; desarrollo económico; responsabilidad social; políticas públicas) que valora el cliente en el siglo XXI, reconociendo que el cliente es el que decide cuándo el producto tiene valor añadido o no (Butz y Goodstein, 1996), permite concluir que esta metodología propuesta consigue que las empresas transmitan valor añadido sostenible y eficiente al producto, el valor añadido que es reconocido por el cliente en términos de medio ambiente, desarrollo económico, sociedad y políticas públicas. En definitiva, el modelo propuesto permite calcular el valor

del producto, cumpliendo con los requisitos del nuevo mercado mundial y social.

#### **7.4 Objetivo III – Revisar las aportaciones del modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental.**

Esta tesis doctoral destaca que las empresas que utilicen el modelo propuesto pueden adquirir una ventaja competitiva, a través de las mejoras alcanzables en términos medioambientales, económicos, sociales y políticas públicas, gracias a la innovación ambiental.

Como resultado, las empresas controlan los costes al reducir el impacto ambiental por un menor consumo de materiales y de energía por unidad de producción, una disminución de las emisiones y residuos (se aumenta el número de materiales reciclables o reutilizables) y de existencias (stocks) intermedias y finales. Sin olvidar otras variables indicadas, también se amplía como efecto intrínseco la responsabilidad social y el cumplimiento de políticas públicas ambientales. Por lo tanto, se incrementa el valor añadido del producto, que es el que aprecia el cliente, para darle así a la empresa una ventaja competitiva.

Las mejoras que se obtienen al implantar el modelo de mejora eficiente y sostenible en un sistema de producción ajustado, a través de procesos de innovación ambiental, de acuerdo a las conclusiones del caso de estudio, son:

- Respecto a la economía:
  - Reducir el stock en curso y final.
  - Disminuir las reclamaciones de no conformidad.
  - Controlar del precio del producto.
  
- Respecto a la responsabilidad social:

- Posibilitar el acceso a nuevos mercados.
  - Mejorar la imagen de la empresa y ofrecer nuevas oportunidades de marketing.
  - Satisfacer las demandas variables a corto plazo de consumidores finales.
  - Aumentar la competitividad y el nivel de vida de la región.
- Respecto a la sostenibilidad ambiental:
- Disminuir el impacto ambiental.
  - Reducir el consumo de materiales y energía por unidad de output.
  - Disminuir las emisiones y los residuos.
- Respecto a las políticas públicas:
- Registrar todos los procesos internos.
  - Cumplir la legislación ambiental obligatoria y voluntaria.
  - Posibilitar el acceso a mercados sofisticados exigentes respecto a la variable ambiental.

El perfil de la empresa del siglo XXI, de acuerdo a estas características de eficiencia y sostenibilidad aplicables del modelo propuesto, se define como una fabricación flexible para una demanda tendiendo a estable en el tiempo, con una distribución homogénea de recursos.

Finalmente, cabe resaltar la contribución de la metodología propuesta al estado del arte actual. Primero, este modelo propuesto muestra que sí es posible conjuntar una fabricación eficiente con otra sostenible, creando sinergias entre ambos conceptos. Y segundo, porque utilizando los cuatro criterios (medioambiente; desarrollo económico; responsabilidad social; políticas públicas) y los seis campos identificados (necesidades sociales; suministro de materiales; fabricación; distribución; utilización; recuperación y eliminación), se presentan nuevos indicadores válidos de análisis para identificar y medir informaciones útiles para las empresas (Eficiencia Medioambiental General de los Equipos - OEEE; ratio medioambiental; flujo de valor de innovación

ambiental), y aportar así, a partir de innovaciones ambientales, mayor valor añadido al producto para que sea reconocido por el cliente. De esta forma, los dos vacíos identificados en este trabajo, tanto la ausencia de indicadores válidos como la carencia de una metodología válida a nivel microeconómico que combine aspectos ambientales y económicos (además de sociales y políticas públicas), quedan cubiertos gracias a este nuevo modelo propuesto.

### **7.5 Limitaciones de la tesis doctoral.**

El modelo propuesto en esta tesis doctoral está orientado a empresas del sector secundario con una fabricación flexible para una demanda tendiendo a estable en el tiempo, con una distribución homogénea de recursos. En consecuencia, para los sectores de actividad primario y terciario se deberían incluir algunos ajustes.

Igualmente, la empresa seleccionada en este estudio de caso es de tamaño pequeño y quizás, en empresas de tamaño más grande sea necesario realizar algunas adaptaciones a este modelo por cuestiones de volumen de negocio.

### **7.6 Futuras líneas de investigación.**

La aplicación del modelo propuesto en diversas empresas de un mismo sector permitiría compartir las mejores prácticas (benchmarking) y aumentar los resultados alcanzables.

## BIBLIOGRAFÍA.

Ahlroth, S. y Finnveden, G. (2011) Ecovalue08-A new valuation set for environmental systems analysis tool. **Journal of Cleaner Production** 19, págs. 1994-2003.

Ahlstrom, P. (1998) Sequences in the implementation of lean production. **European Management Journal** 16, págs. 327-334.

Allen, J., Robinson, C. y Stewart, D. (2001) **Lean Manufacturing: A plant floor guide**. Society of Manufacturing Engineers. Dearborn.

Alvarez, R., Calvo, R., Peña, M. M. y Domingo, R. (2009) Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 43, págs. 9-10.

Al-Aomar, R. (2011) Handling multi-lean measures with simulation and simulated annealing. **Journal of the Franklin Institute** 348, págs. 1506-1522.

Amores-Salvadó, J., Martín de Castro, G. y Navas, J. (2014) Green corporate image: moderating the connection between environmental product innovation and firm performance. **Journal of Cleaner Production** 83, págs. 356-365.

Ang, F. y Passel, S. (2010) The Sustainable Value approach: A clarifying and constructive comment. **Ecological Economics** 69, págs. 2303-2306.

Atkinson, G. (2000) Re-thinking Economic Progress. **World Economics** vol. 1, núm. 1, January–March 2000, págs. 153-166.

- Baggaley, B. y Maskell B. (2003) Value stream management for lean companies. **Journal of Cost Management** 17, págs. 24-30.
- Bárcena, I., Ibarra, P. y Zubiaga, M. (2000) **Desarrollo sostenible: un concepto polémico**. Servicio editorial Universidad del País Vasco. Zarautz.
- Benedetto, L. y Klemes, J. (2009) The Environmental Performance Strategy Map: an integrated LCA approach to support the strategic decision-making process. **Journal of Cleaner Production** 17, págs. 900-906.
- Bergmiller, G. y McCright, P. (2009) Lean Manufacturers' Transcendence to Green Manufacturing. **Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference**.
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C. y Barson, R. J. (1999) Are push and pull systems really so different? **International Journal of Production Economics** 59, págs. 53-64.
- BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH (2014) **Group Sustainability Report 2013**. June, 2014. Alemania.
- Brezet, H. y van Hemel, C. (1997) **Ecodesign, A promising approach to sustainable production and consumption**. UNEP, Paris.
- Butz, H.E. y Goodstein, L.D. (1996) Measuring customer value: gaining the strategic advantage. **Organizational Dynamics** 24, págs. 63-77.
- CMMAD - Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988) **Nuestro futuro común** (Informe Brundtland). Madrid, Alianza Editorial.
- Comisión Europea (1993) **Quinto programa comunitario de actuación en materia de medio ambiente: hacia un desarrollo sostenible**. Diario oficial de las Comunidades Europeas, número C 138, págs. 1-98. Luxemburgo.

Comisión Europea (2002) **Sexto programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente**. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, número L 242, págs. 1-15. Luxemburgo.

Comisión Europea (2003) **Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo**. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, número L 275, págs. 32-46. Luxemburgo.

Comisión Europea (2006) **Séptimo programa comunitario en materia de medio ambiente**. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, número L 412, págs. 1-43. Luxemburgo.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992a) **Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo**. Naciones Unidas, Río de Janeiro, Brasil.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992b) **Agenda 21**. Naciones Unidas, Río de Janeiro, Brasil.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1997) **Declaración de Nairobi sobre el derecho de las mujeres y las niñas a anteponer recursos y obtener reparaciones**. Naciones Unidas, Nairobi, Kenia.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1997) **Protocolo de Kioto**. Naciones Unidas, Kioto, Japón.

Cuatrecasas, L. (2002) Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of

performance. **International Journal of Production Economics** 80, págs. 169-183.

Cuatrecasas, L. (2005) **Lean Management: volver a empezar**. 2ª Ed. Barcelona, Ediciones gestión 2000.

Dangelico, R. y Pontrandolfo, P. (2010) From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. **Journal of Cleaner Production** 18, págs. 1608-1628.

De Medeiros, J. F., Duarte, J. L. y Nogueira, M. (2014) Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production** 65, págs. 76-86.

Deif, A. (2011) A system model for green manufacturing. **Journal of Cleaner Production** 19, págs. 1553-1559.

Del Río, P., Carrillo-Hermosilla, J. y Könnölä, T (2010). Enfoques y políticas de eco-innovación. Una visión crítica. **Ekonomiaz** 75, págs. 84-111.

Despeisse, M., Oates, M. R, Ball, P. D. (2013) Sustainable manufacturing tactics and cross-functional factory modeling. **Journal of Cleaner Production** 42, págs. 31-41.

Domingo, R., Álvarez, R., Peña, M. M. y Calvo, R. (2007) Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study. **Assembly Automation** 27, págs. 141-147.

Dües, C., Tan, K. y Lim, M. (2013) Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of Cleaner Production** 40, págs. 93-100.

ESU-services [Internet] Fair consulting in sustainability <<http://www.esu-services.ch/ourservices/>> [Acceso 26 abril 2015]

EuPeco-profiler [Internet] Limas eco-innovation <[http://www.limas-eup.eu/es/eupeco\\_profiler?lang=es](http://www.limas-eup.eu/es/eupeco_profiler?lang=es)> [Acceso 26 abril 2015]

Farrelly, T., Tucker, C. (2014) Action research and residential waste minimisation in Palmerston North, New Zealand. **Resources, Conservation and Recycling** 91, págs. 11-26.

Fernández-Viñé, M. B., Gómez-Navarro, T. y Capuz-Rizo, S. F. (2013) Assessment of the public administration tools for the improvement of the eco-efficiency of Small and Medium Sized Enterprises. **Journal of Cleaner Production** 47, págs. 265-273.

Finnveden, G., Eldh, P. y Johansson, J. (2006) Weighting in LCA based on ecotaxes - Development of a mid-point method and experiences from case studies. **International Journal of LCA** 11, 81 – 88.

Figge, F. y Hahn, T. (2004) Sustainable Value Added. Measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. **Ecological Economics** 48, págs. 173-187.

Figge, F. y Hahn, T. (2012) Is green and profitable sustainable? Assessing the trade-off between economic and environmental aspects. **International Journal of Production Economics** 140, págs. 92-102.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hischer R., Hellweg S., Humbert S., Köllner T., Loerincik Y., Margni M. and Nemecek T. (2007) **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

Galgano, Alberto (2002) **Las tres revoluciones. Caza del desperdicio: doblar la productividad con la “Lean Production”**. Traducido del italiano por Cristina García (2004) Madrid, Ediciones Díaz de Santos.

Gmelin, H., Seuring, S. (2014) Determinants of a sustainable new product development. **Journal of Cleaner Production** 69, págs. 1-9.

Goedkoop, M., Demmers, M. y Collignon, M. (1996) **The Eco-indicator95. Manual for designers**. Pré Consultants, Amersfort, Holanda.

Goedkoop, M., Oele, M., Schryver, A., Vieira, M. y Hegger, S. (2010) **SimaPro Database Manual. Methods library**. PRé Consultants, Amersfort, Holanda.

Goedkoop, M. y Spriensma, R. (1999) **The Eco-indicator '99.A Damage-Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment**. Pré Consultants, Amersfort, Holanda.

Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M., Schryver A.D., Struijs J., Van Zelm R. (2009) **ReCiPe, First edition**. Pre Consultants, CML, RUN y RIVM, Holanda.

Gunasekaran, A. y Spalanzani, A. (2012) Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications. **International Journal of Production Economics** 140, págs. 35-47.

Gungor, A. y Gupta, S. (1999) Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering** 36, págs. 811-853.

Gupta, S. y Kumar, V. (2013) Sustainability as corporate culture of a brand for superior performance. **Journal of World Business** 48 , págs. 311-320.

Hahn, T., Figge, F., Liesen, A. y Barkemeyer, R. (2010) Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodology and its application to the

CO<sub>2</sub>-efficiency of German companies. **Journal of Environmental Management** 91, págs. 1997-2007.

Hansen, R. C. (2001) **Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits**. Industrial Press Inc., Nueva York.

Hawken, P., Lovins, A. y Lovins, L. H. (1999) **Natural capitalism. The next industrial revolution**. Earthscan Ltd, Londres.

Herron, C. y Braiden, P. M. (2006) A methodology for developing sustainable quantifiable productivity improvement in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics** 104, págs. 143-153.

Hertin, J., Jacob, K., Pesch, U. y Pacchi, C. (2009) The production and use of knowledge in regulatory impact assessment – An empirical analysis. **Forest Policy and Economics** 11, págs. 413-421.

Hines, P. y Rich, N. (1997) The seven value stream mapping tools. **International Journal of Operations & Production Management** 17, págs. 46-64.

Holweg, M. (2007) The genealogy of lean production. **Journal of Operations Management** 25, págs 420-437.

IHOBE (2000) **Manual Práctico de Eco-diseño. Operativa de Implantación en 7 pasos**. IHOBE Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Bilbao.

IHOBE (2011) **Etiquetado ambiental del producto. Guía de criterios ambientales para la mejora de producto**. IHOBE Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Bilbao.

- Ilgın, M. y Gupta, S. (2010) Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. **Journal of Environmental Management** 91, págs. 563-591.
- Ioppolo, G., Cucurachi, S., Salomone, R., Saija, G. y Ciruolo, L. (2014) Industrial Ecology and Environmental Lean Management: Lights and Shadows. **Sustainability** 6, págs. 6362-6376.
- Jackson, T. L. y Jones, K. (1996) **Implantación de un sistema de dirección Lean**. Traducido del inglés. TGP Hoshin, Madrid.
- Jansen, L. (2003) The challenge of sustainable development. **Journal of Cleaner Production** 11, págs. 231-245.
- Jayaram, J., Das, A. y Nicolae, M. (2010) Looking beyond the obvious: Unraveling the Toyota Production System. **International Journal of Production Economics** 128, págs. 280-291.
- Jiao, J., Ma, Q. y Tseng, M. M. (2003) Towards high value-added products and services: mass customization and beyond. **Technovation** 23, págs. 809-821.
- Keijzers, G. (2002) The transition to the sustainable enterprise. **Journal of Cleaner Production** 10, págs. 349-359.
- Klang, A., Vikman, P. y Brattebo, H. (2003) Sustainable management of demolition waste. An integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. **Resources, Conservation and Recycling** 38, págs. 317-334.
- Koltun, P. (2010) Materials and sustainable development. Progress in Natural Science: **Materials International** 20, págs. 16-29.

- Kwak, Y. H. y Anbari, F. T. (2006) Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. **Technovation** 26, págs. 708-715.
- Kuosmanen, T. y Kuosmanen, N. (2009) How not to measure sustainable value (and how one might). **Ecological Economics** 69, págs. 235-243.
- Kurdve, M., Zackrisson, M., Wiktorsson, M. y Harlin, U. (2014) Lean and green integration into production system models e experiences from Swedish industry. **Journal of Cleaner Production** 85, págs. 180-190.
- Lewin, K. (1946) Action research and minority problems. **Journal of Social Issues** 2, págs. 34-46.
- Losonci, D., Demeter, K. y Jenei, I. (2011) Factors influencing employee perceptions in lean transformations. **International Journal of Production Economics** 131, págs. 30-43.
- Maxwell, D. y Vorst, R. (2003) Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production** 11, págs. 883-895.
- Maxwell, D., Sheate, W. y Vorst, R. (2006) Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry. **Journal of Cleaner Production** 14, págs. 1466-1479.
- Manzouri, M., Ab-Rahman, M. N., Che Mohd Zain, C. R. y Jamsari, E. A. (2014) Increasing Production and Eliminating Waste through Lean Tools and Techniques for Halal Food Companies. **Sustainability** 6, págs. 9179-9204.
- McNiff, J., Whitehead, J. (2002) **Action Research: Principles and Practice**. 2nd edition. Routledge Falmer, New York, USA.

- Melton, T. (2005) The benefits of lean manufacturing. What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. **Chemical Engineering Research and Design** 83, págs. 662-673.
- Michelini, R. y Razzoli, R. (2004) Product-service for environmental safeguard: a metrics to sustainability. **Resources, Conservation and Recycling** 42, págs. 83-98.
- Moore, R. (2007) **The right manufacturing improvement tools. What tool? When?** Butterworth Heinemann.
- Nakajima, S. (1988) **Introduction to TPM Total Productive Maintenance.** Massachusetts Productivity Press, Cambridge, EUA.
- Nakajima, S. (1989) **TPM development program: implementing total productive maintenance.** Massachusetts Productivity Press, Cambridge, EUA.
- Noteboom, S. (2007) Impact assessment procedures for sustainable development: A complexity theory perspective. **Environmental Impact Assessment Review** 27, págs. 645-665.
- Porter, M. E. y Van de Linde, C. (1995a) Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. **Journal of Economic Perspectives** 9, págs. 7-118.
- Porter, M. E. y Van de Linde, C. (1995b) Green and Competitive: Breaking the Stale-Mate. **Harvard Business Review** 73, págs. 120-134.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2006) Estado de la producción sostenible en el Mediterráneo. **Colección de Informes Técnicos del PAM**, No. 165, PNUMA/PAM, Atenas.

- Pujari, D., Wright, G. y Peattiec, K. (2003) Green and competitive influences on environmental new product development performance. **Journal of Business Research** 56, págs. 657-671.
- Pujari, D. (2006) Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance. **Technovation** 26, págs. 76-85.
- Puvanasvaran, A.P.; Mei, C.Z.; Alagendran, V.A. Overall Equipment Efficiency Improvement Using Time Study in an Aerospace Industry. **Procedia Engineering** 68, págs. 271-277
- Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (2015) Real Decreto 110/2015, BOE número 45, págs. 14211-14312.
- Rother, M. y Shook, J. (1998) **Learning to See – Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda**. Lean Enterprise Institute, Brookline.
- Ruiz de Arbulo, P. (2007) **La gestión de costes en Lean Manufacturing: cómo evaluar los costes en un sistema Lean**. La Coruña, Netbiblo.
- Rupérez, J. A. (2008) **Apuntes para la sostenibilidad Nº2: Eco-Diseño, necesidad social y oportunidad empresarial**. Fundación Ecología y Desarrollo, Zaragoza.
- Sahoo, A. K., Singh, N. K., Shankar, R. y Tiwari, M. K. (2008) Lean philosophy: implementation in a forging company. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 36, págs. 451-462.
- Shah, R. y Ward, P. T. (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management** 21, págs. 129-149.
- Shah, R. y Ward, P. T. (2007) Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management** 25, págs. 785-805.

- Short, T., Lee-Mortimer, A., Luttrupp, C., Johansson, G. (2012) Manufacturing, sustainability, ecodesign and risk: lessons learned from a study of Swedish and English companies. **Journal of Cleaner Production** 37, págs. 342-352.
- Sinkin, C., Wright, C. y Burnett, R. (2008) Eco-efficiency and firm value. **Journal of Accounting and Public Policy** 27, págs. 167-176.
- Sleeswijk, A.W., Oers, L.F.C.M., Guinée, J.B., Struijs, J. y Huijbregts, M.A.J. (2008) Normalisation in product life cycle assessment: an LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of the Total Environment** 390, págs. 227-240.
- Smith, L. y Ball, P. (2012) Steps towards sustainable manufacturing through modeling material, energy and waste flows. **International Journal of Production Economics** 140, págs. 227-238.
- Spear, S. y Bowen, H.K. (1999) **Decoding the DNA of the Toyota Production System**. Boston: Harvard Business Review, reprinted with permission from Harvard Business School Press, by Harvard Business School Publishing Corporation.
- Shingo (2003) **Shingo Prize for Excellence in Manufacturing: Application Guidelines 2003 – 2004**. College of Business, Utah State University, Logan, Utah.
- Sugimori, Y., Kusunuki, K., Cho, F. y Uchikawa, S. (1977) Toyota Production System and Kanban system: materialization of Just-In-Time and respect for human system. **International Journal of Production Research** 15, págs. 553-564.

Tool Simapro 7 [Internet] LCA tool / services und data  
<<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/tool.vm?tid=216>> [Acceso 26  
abril 2015]

Tratado de la Unión Europea (1992) **Tratado de Maastricht**. Diario oficial de las Comunidades Europeas, número C 191, págs. 1-110. Luxemburgo, Luxemburgo.

Tratado de la Unión Europea (1997) **Tratado de Amsterdam por el que se modifican el tratado de la Unión Europea, los tratados constitutivos de las Comunidades Europeas y determinados actos conexos**. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, número C 340, págs. 1-144. Luxemburgo, Luxemburgo.

Tree: herramienta de desarrollo de producto (2006) **Aplicación para la ayuda en el eco-diseño**. Versión 1.1. [Programa informático].

UNE-EN 10346 (2010) **Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro**. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN ISO 9001 (2008) **Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos**. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN ISO 14001 (2004) **Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso**. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN ISO 14050 (2010) **Gestión ambiental. Vocabulario**. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN ISO/TR 14062 (2007) **Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos**. AENOR, Madrid, España.

- Veleva, V., Hart, M., Greiner, T. y Crumbley, C. (2001) Indicators of sustainable Production. **Journal of Cleaner Production** 9, págs. 447-452.
- Veleva, V. y Ellenbecker, M. (2001) Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production** 9, págs. 519-549.
- Venkatesch, K., Zhou, M.C., Kaighobadi, M. y Caudill, R. (1996) A Petri net approach to investigating push and pull paradigms in flexible factory automated systems. **International Journal of Production Research** 34, págs. 595-620.
- Wan, H. y Chen, F. (2009) Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach. **Computers in Industry** 60, págs. 277–283.
- Warnecke, H.J. y Hüser, M. (1995) Lean Production. **International Journal of Production Economics** 41, págs. 37-43.
- WCED (1987) **Our Common Future-Final report of the World Commission on Environment and Development**. Oxford University Press, Oxford, Inglaterra.
- Womack, J.P., Jones, D.T. y Roos, D. (1991) **The Machine that Changed the World**. Harper-Collins, New York, Estados Unidos de América.
- Womack, J. P. y Jones, D. T. (2003) **Lean Thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa**. Traducido del inglés por Emili Atmella, revisado y adaptado por Lluís Catrecasas (2005) 2ª Ed. Barcelona, Ediciones gestión 2000.

- Wu, P., Low, S.P. y Jinc, X. (2013) Identification of non-value adding (NVA) activities in precast concrete installation sites to achieve low-carbon installation. **Resources, Conservation and Recycling** 81, págs. 60-70.
- Wursthorn, S., Poganietz, W.-R. y Schebek, L. (2011) Economic–environmental monitoring indicators for European countries: A disaggregated sector-based approach for monitoring eco-efficiency. **Ecological Economics** 70, págs. 487-496.
- Yang, M. G., Hong, P. y Modi, S. B. (2011) Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics** 129, págs. 251-261.