

# **IMPLANTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA CADENA LOGÍSTICA, APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO PARA LA TOMA DE DECISIÓN**

## **RESUMEN**

Este proyecto muestra la aplicación del método Analytic Hierarchy Process como herramienta de apoyo para la introducción de nuevas tecnologías en la cadena logística, en concreto de un método de identificación automático: las alternativas estudiadas han sido Radio Frequency Identification, código de barras y código bidimensional. Se ha aplicado sobre un grupo de operadores logísticos con sede en Aragón, potenciales miembros de un clúster.

En primer lugar se ha recabado la información necesaria en el método: se visitaron las empresas y se pidió una evaluación de las tres alternativas por parte de expertos. A continuación se ha realizado un análisis de la consistencia de las respuestas de ambos, lo que ha permitido escoger una de las empresas que habían respondido con mayor lógica a todas las preguntas. Finalmente la visitamos para comprobar si el resultado se adecuaba a la realidad actual de la empresa. Se han realizado análisis de la sensibilidad del resultado del método en ambos casos, tanto en el aplicado al conjunto como el aplicado en la empresa seleccionada.

Finalmente se ha obtenido la alternativa más adecuada para ellas según el método y también algunas indicaciones sobre las condiciones en las que este debería aplicarse y el efecto que tienen sobre el resultado y su fiabilidad.



# **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2. ALCANCE</b>	<b>5</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>4. ANÁLISIS DEL SECTOR DE LA LOGÍSTICA</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Tipos de empresa</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Tipos de tecnología</b>	<b>14</b>
4.2.1 Código de barras	17
4.2.2 Código bidimensional	18
4.2.3 Tags RFID	19
<b>5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE DECISIÓN</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Métodos de decisión multicriterio</b>	<b>22</b>
<b>5.2 Selección</b>	<b>22</b>
<b>5.3 Operativa</b>	<b>23</b>
5.3.1 Estructuración del método	26
5.3.2 Evaluación del modelo:	27
5.3.3 Análisis de la inconsistencia	30
<b>6. CASO DE ESTUDIO: EMPRESA 5</b>	<b>33</b>
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>40</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>48</b>

## **ANEXOS**

Anexo 1. Metodología AHP.

Anexo 2. Descripción técnica de las alternativas.

Anexo 3. Cuestionarios enviados a los evaluadores de tecnologías.

Anexo 4. Cuestionario completo enviado a las empresas.

Anexo 5. Comparaciones pareadas de las empresas de la muestra.

Anexo 6. Cuestionario planteado en la empresa 5.

## 1. Objetivo y justificación

Este proyecto muestra la aplicación del método analítico jerárquico AHP (Analysis Hierarchy Process) como una herramienta para orientar la elección entre diferentes soluciones tecnológicas que podrían realizar las mismas funciones en un punto de la cadena logística. El método se aplica a un grupo de empresas, a través de un cuestionario y de la información proporcionada por expertos. Deben ser objeto de interés del grupo, para ser investigadas y trabajar en torno a su implantación.

Los criterios de las empresas y las evaluaciones de las tecnologías se introdujeron en el programa de aplicación del AHP, Expert Choice, que obtiene el resultado, este será la tecnología óptima según los criterios de las empresas. Esta priorización de las opciones permite una mayor eficiencia en las decisiones para realizar proyectos con menor riesgo. La ventaja del método es que es abierto en cuanto a su finalidad, porque permite conocer cuál es aquella solución que más les conviene y directamente adquirirla, o simplemente jerarquizar las alternativas, viendo qué atributo de la tecnología tendría que cambiar para que fuese la mejor alternativa: mejora de las prestaciones, reducción del precio... y en qué grado.

## 2. Alcance

Este proyecto se enmarca dentro de mi trabajo de colaboración desde el Consejo Aragonés de Cámaras en la creación de ALIA (Agrupación logística innovadora de Aragón), concebida como una concentración de compañías que se encuentran interconectadas en torno a toda la cadena de valor desempeñando su actividad en el sector de la logística. Esta agrupación está



promovida por Zaragoza Logistics Center, Aragón Exterior, Instituto Tecnológico de Aragón y Consejo Aragonés de Cámaras, con el apoyo del Gobierno de Aragón.

En primer lugar se escogieron tecnologías con relevancia en la cadena logística, que están o podrían ser implantadas en las empresas a las que se ha entrevistado, en su mayoría pertenecientes al sector de la logística. Debido a la amplitud de los sectores comerciales e industriales en los que estaban incluidas, se realizó una muestra de diez operadores logísticos, cuyos modelos de negocios tenían cierta similitud.

Por un lado se han presentado a estas empresas pares de criterios, considerados por todas como relevantes en la elección de una nueva tecnología, los han evaluado y con todas las respuestas se ha hecho una media geométrica. Por otro lado, se consultó la opinión de expertos que aportan su experiencia sobre las ventajas y desventajas de cada tecnología en cada uno de los criterios. Aplicando estos dos flujos de información al método, obtenemos el resultado: cuál de las tecnologías es más conveniente según los criterios de las empresas entrevistadas, y en consecuencia, en cuál habría que centrar la atención.

Posteriormente se corroboró la fiabilidad del resultado del método en una de las empresas que había mostrado estar especialmente abierta a innovaciones tecnológicas y que había respondido a las preguntas con la menor cantidad de fallos lógicos.

Esto permitió obtener conclusiones sobre la fiabilidad del método y su aplicabilidad.

### **3. Introducción**

La logística es un campo en el que se aglutan empresas que tienen actividades en esencia muy diferentes. Los intereses de una empresa productora a la hora de distribuir, no son los mismos que los de una distribuidora. En una agrupación de empresas con intereses diferentes se hace necesario sistematizar la toma de decisiones con métodos que ayuden a tomar la decisión más ajustada que satisfaga al mayor número de miembros del grupo. En este aspecto la utilización del método AHP puede ser de gran utilidad.

Hoy en día, la búsqueda de la eficiencia y la productividad en las empresas contribuye a que se adopten metodologías de apoyo a la toma de decisiones. Estos métodos reducen los riesgos que suponen las conjeturas.



## 4. Análisis del sector de la logística

### 4.1 Tipos de empresa

Durante la etapa de creación del clúster se realizó una clasificación de empresas aragonesas relacionadas con el mundo de la logística, con el ánimo de informarles de la creación del mismo. En un principio, la clasificación se hizo en función del objetivo de su negocio dentro de la logística.

<b>Empresas Cargadoras</b>	
AIRTEX	GRUPO SAMCA
ARCELORMITTAL	GRUPO JORGE
ADIDAS	HIERROS ALFONSO S.A.
BELLA EASO	LECITRAILER
BOSAL	LECIÑENA
BSH	MANN + HUMMEL IBERICA
BTV	PIKOLIN
CAF	PRAINSA
CALADERO	PRONIMETAL
CEFA	UTISA
ENARCO	SAICA
FERSA	SCHINDLER
FRIBIN	TECNYCONTA
FUJIKURA AUTOMOTIVE	WALTER MARTINEZ
GENERAL MOTORS	YUDIGAR
ZANINI EPILA	

<b>O.S.L. Transportistas</b>	
ATEIA CAMARAS	MATRA LOGISTICA
AZKAR S.A.	MUDEJAR LOGISTICA
BONAVIA S.A	OCHOA S.A.
CARRERAS S.A.	SATA
LA EMPRESA 5 Supply Chain	SESE S.L.
LOGIS IT	TNT EXPRESS SPAIN S.L.
FETRAZ	TRADIME ARAGON
GEODIS	LOZANO TRANSPORTES
JCV INTERCONTAINER	MARCOTRAN
	GLOBAL SPEDITION

AINTRA	TRANSPORTES LAPUENTE
TRANSPORTES ALFONSO	TRAMEX
VIA AUGUSTA	TRANSPORTES ARAGON
ARAGONESA DE PORTACOCHE	RHENUS LOGISTICA
TRANSPORTES MONCAYO	TRANSPORTES BUIL
GRUPAJES EUROPEOS	

<b>Empresas de Distribución</b>	IMAGINARIUM
LOGIS IT	ALLIANCE HEALTHCARE
ALVAREZ BELTRAN	INDITEX
ARC DISTRIBUCION	MEMORY SET
BEBINTER	CHEMIEURO
CARREFOUR S.A	ARAGON OIL SA (CEPSA)
COFERDROZA	LEROY MERLIN ESPAÑA
ARAGOFAR	MERCADONA S.A.
ESPRINET GROUP	PORCELANOSA ARAGÓN S.A
FRUTOS SECOS EL RINCON S.L.	SUPERMERCADOS SABECO
GALERIAS PRIMERO S.A	

<b>Logística Inversa</b>	INDUSTRIAS LOPEZ SORIANO
BEFESA	PTR LOPEZ SORIANO
ECOCAT S.L.	REASA
FCC	URBASER

<b>Equipamiento de Transporte</b>	TATOMA
EQUIMODAL	YUMBO
TAIM WESSER	

<b>Empresas TIC y Consultoras</b>	DISTROMEL
ADA	I2 TECNOLOGIES ESPAÑA
ALERCE	IDOM ZARAGOZA
ALFALAND	INTERMEC
APSER	IRITEC
TELTRONIC	MOVILITAS LOGCENTER
TECNARA	PSION TEKLOGIX
COMEX	



Proyecto final de carrera. Implantación de nuevas tecnologías en la cadena logística, aplicación del método de análisis jerárquico para la toma de decisión.

<b>Centros Tecnológicos y de I+D+i</b>	<b>Entidades Colaboradoras</b>
ITA	ARAGON EXTERIOR
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA	CONSEJO ARAGONES DE CAMARAS
ZLC	CREA
FUNDACION TRANSPIRENAICA	FUNDACION del HIDROGENO
	GOBIERNO DE ARAGON

**Tabla 1. Empresas y entidades escogidas inicialmente como potenciales miembros del clúster**

El siguiente listado presenta aquellas empresas que mostraron más interés; de ellas obtuvimos información a través de un cuestionario o de una entrevista personal.

<b>O.S.L. Transportistas</b>	<b>Fecha entrevista</b>
CARRERAS	18/01/2010
ATEIA	17/02/2010
MATRA	17/02/2010
TNT	19/02/2010
REDUR	11/03/2010
NORBERT DETRENSSANGLE	19/03/2010
TRANSPORTES LAPUENTE	23/03/2010
RHENUS	24/03/2010
SATA	28/03/2010
LA EMPRESA 5	05/04/2010
ARALOGIC	13/05/2010
GLOBAL SPEDITION	Cuestionario
GRUPO BONAVIA	Cuestionario
MARCOTRAN	Cuestionario
SESE	25/05/2010
<b>Empresas de Distribución</b>	

ARC	27/01/2010
BEBINTER	12/05/2010
<b>Empresas TIC y consultoras</b>	
IS ASOFT	22/01/2010
IRITEC	12/02/2010
I2 TECHNOLOGIES	07/05/2010
<b>Empresas Cargadoras</b>	
HIERROS ALFONSO	Cuestionario
CEFA	Cuestionario
BTW	Cuestionario
SAICA	18/01/2010
PRONIMETAL	20/01/2010
PRAINSA	03/05/2010
AIRTEX	07/05/2010
FERSA	07/05/2010
CARREFOUR	12/05/2010
<b>Equipamiento de Transporte</b>	
YUMBO	Cuestionario
TAIM	03/06/2010

**Tabla 2. Empresas visitadas o que han respondido al cuestionario**

Esta forma de agruparlas suponía que, por ejemplo en "cargadoras" hubiese empresas con actividades muy diferentes, implicando que las tecnologías que utilizan son también diferentes. Además los proyectos en la agrupación no se realizarán entre todas las empresas, sino entre subgrupos que estén interesadas en proyectos similares que formarán entre sí mesas de trabajo, para lo cual las actividades que realicen tienen que ser muy similares. Por ello se decidió aplicar el AHP sobre los criterios de un subgrupo de empresas que se dedican al transporte, en su mayoría operadores logísticos integrales.



Este grupo de empresas que son las que van a tomar la decisión, se denominarán a partir de ahora “centro decisor”. Las diferentes soluciones tecnológicas que se barajen se denominarán “alternativas” y los expertos que las evalúan según los criterios se llamarán “evaluadores”.

El centro decisor está compuesto por:

<b>Empresa</b>	<b>Actividad</b>
<b>Empresa 2</b>	Operador logístico: transporte, almacenamiento y logística, de pequeños paquetes a grandes cargas. Operan a nivel nacional e internacional a través de una red de operadores logísticos de diferentes países.
<b>Empresa 3</b>	Organización de transporte, logística en la planta del cliente, grupaje internacional, almacenamiento y gestión de stocks.
<b>Empresa 4</b>	Servicios integrales de logística, distribución y transporte a nivel nacional, transporte únicamente por carretera.
<b>Empresa 7</b>	Servicios de logística y transporte internacional por tierra, mar y aire a toda Europa.
<b>Empresa 5</b>	Transporte de carga, almacenaje y distribución, soluciones para la cadena de suministro, paquetería urgente, soluciones industriales: retail, moda, consumo, tecnología, aeroespacial.
<b>Empresa 1</b>	Transporte de documentos, paquetería y mercancía, soluciones industriales genéricas o diseñadas a medida.

<b>Empresa 6</b>	Empresa logística y de transporte de mercancías. Soluciones integrales para la externalización de las redes de distribución y logística.
<b>Empresa 8</b>	Transporte nacional por carretera
<b>Empresa 9</b>	Transportes internacionales con carga completa, grupaje y almacenaje.
<b>Empresa 10</b>	Grupo de logística integral, transporte, almacenaje y logística.

**Tabla 3. Relación de empresas de la muestra**

Dentro del centro decisor, hay algunas que se dedican a la logística integral y otras al transporte puro, debido a esto, hubo que buscar una tecnología que fuese de interés común. Todos los operadores logísticos se enfrentan con los siguientes retos de la ilustración 1:

**Ilustración 1. Factores de competitividad de un operador logístico**



- 1) Servicio al cliente: entrega en el tiempo correcto determinado, la calidad de su servicio y la fidelización del cliente depende de que el objeto transportado sea entregado en el tiempo y condiciones acordados.
- 2) Coste de las operaciones/servicios: optimización de las rutas de las entregas en la distribución capilar, qué bulto va en qué camión y qué ruta sigue ese camión.
- 3) Calidad del servicio: transmisión a la par del bulto y de toda su información. El cliente tiene la expectativa de conocer a tiempo real la situación de su mercancía.
- 4) Influencia de la tecnología en la capacidad de disagregación de los puntos de distribución.
- 5) Nivel de compatibilidad con otras tecnologías ya adquiridas y con tecnologías de proveedores y clientes.

## 4.2 Tipos de tecnología

A continuación, divididas en diferentes eslabones de la cadena logística, enumeraré las diferentes tecnologías que intervienen en las empresas del grupo decisor como potenciales alternativas:

<b>Tecnologías del transporte</b>
Medios de transporte en sí: camionetas, camiones, tráiler
Sistema de gestión de la movilidad
Planificadores de rutas
Muelles de carga y descarga en las naves

Palés
<b>Manutención y almacenaje</b>
Carretillas elevadoras
Bandas transportadoras
Tecnologías específica en función del producto
Máquinas de embalaje y fleje
Clasificadoras
Estantería móviles
Estanterías dinámicas
Almacenes completamente automatizados
Transelevadores
Máquinas despaletizadoras
WMS
<b>Preparación de pedidos</b>
Bandas transportadoras
Máquinas automáticas de preparación de pedidos
Picking por voz
Visores pick-to-light
Robots
<b>Trazabilidad e identificación</b>
Terminales de lectura: automáticos o manuales
Terminales de impresión
Tarjetas RFID, códigos de barras, códigos bidimensionales
Softwares de trazabilidad

**Tabla 4. Tecnologías que intervienen en la cadena logística**

Muchas de estas tecnologías listadas son diferentes dependiendo de la empresa y del producto que transporten o almacenen.



Sin embargo, la necesidad de identificar lo que se manufactura, transforma, transporta o almacena es común a todas las empresas. Por esto se decidió escoger 3 tecnologías de identificación automática. Definimos la identificación automática como aquellos métodos de toma de datos e introducción de ellos en sistemas computacionales sin la implicación de la acción humana. Entre ellas se encuentran las ópticas (códigos de barras), biometría, RFID y reconocimiento de voz.

Las tendencias tecnológicas hoy en día pretenden solventar los problemas que surgen en los nuevos mercados: la necesidad de un mayor control de volumen de información es evidente. En el campo logístico, los requisitos de una información del producto que indique todo su historial es demandado, legalmente y para dar un valor añadido al producto. Ofrecer a los clientes la posibilidad de conocer la situación de su producto a tiempo real es algo esencial.

Todos estos requerimientos se conocen como trazabilidad, y son las tecnologías de identificación las que permiten disponer de la trazabilidad total del producto. Sin embargo, hoy por hoy hay que añadir que este proceso de identificación y los flujos de información consecuentes deben poder realizarse de una forma rápida y a ser posible automatizada. Para estos requerimientos se buscan alternativas al código de barras (ver anexo 2) que es sin duda el más utilizado, ya que no puede cumplirlos.

Los códigos bidimensionales, que se utilizan en muchos casos de forma conjunta con el código de barras están en un escalón algo superior, presentan ciertas ventajas que analizaremos a continuación y son ampliamente utilizados. Los tags RFID (ver anexo 2), que son todavía una tecnología emergente, presentan numerosas ventajas

frente al código de barras y actualmente se prueban en muchas grandes empresas para evaluar la posibilidad de utilizarlo masivamente.

A continuación sintetizaré los rasgos por los que se han escogido estas tecnologías:

- 1) Cumplen un papel transversal en la cadena logística.
- 2) Se utilizan en todos los operadores logísticos.
- 3) El RFID se encuentra a la orden del día en I+D.
- 4) Su utilización es completamente esencial.

A continuación haré una breve síntesis sobre su funcionalidad, ventajas, desventajas y coste:

#### 4.2.1. Código de barras

##### a) Funcionalidades:

- identifica las productos comerciales
- automatiza seguimiento y registro de los productos, conectando toda esta información con el sistema de gestión propio
- da la posibilidad de hacer inventarios
- controla el movimiento del producto

##### b) Ventajas:

- se encuentra completamente estandarizado
- facilidad para su impresión, aplicación y uso



- su lectura se puede realizar con un lector que lea solamente una línea transversal del código, y puede leerse en los dos sentidos

c) Desventajas:

- necesaria la existencia de campo de visión directo entre el producto y el lector
- en algunos ambientes se deforma y luego no puede leerse
- la parte del código de barras que se asigna la empresa a sí misma tiene que gestionarse con cuidado para no asignar el mismo código a dos productos diferentes
- no permite la automatización que permiten otros métodos de identificación
- demasiado grande para determinados productos

d) Coste:

- muy barato de imprimir y sin necesidad de formación para aprender a manejarlo

#### 4.2.2 Código bidimensional

a) Funcionalidad

- a nivel logístico tienen la misma funcionalidad que los códigos de barras: una de las diferencias es que el de barras contiene un código que una vez leído permite entrar en una base de datos donde reside toda la información del producto, pero en el caso del código bidimensional la información reside directamente en la matriz de lectura

b) Ventajas:

- su reducido tamaño (pueden realizarse códigos bidimensionales de 3mm<sup>2</sup> para chips)
- puede almacenar muchas más información que un código de barras, información que reside en el mismo código, no en una base de datos externa
- disponen de códigos de corrección de errores que permiten leer correctamente el código a pesar de que se haya borrado hasta el 25% de este, por lo que producen menos errores
- puede leerse desde cualquier ángulo
- es más difícil de falsificar (se utiliza en productos de alto valor económico)

c) Desventajas:

- el lector de este tipo de códigos es mucho más caro

d) Coste:

- la diferencia del coste con los códigos de barras reside principalmente en la diferencia del precio del lector

#### 4.2.3 Tags RFID

a) Funcionalidad

- el tag RFID tiene de partida la misma funcionalidad que los otros dos y muchas más ventajas: permite tener localizadas permanentemente todas las unidades con tag



- permite encontrar un producto determinado sin esfuerzo alguno y sin contacto visual
- permite un alto grado de automatización en la logística

b) Ventajas:

- un tag RFID colocado a nivel de producto identifica una sola unidad ( los códigos de barras identifican a todos los productos que son iguales con el mismo código)
- determinados tags permiten incluir un sensor dentro del tag para medir alturas, temperaturas, humedad...
- la información puede modificarse tantas veces como se quiera
- las lecturas no tienen que ser secuenciales sino que pueden hacerse al mismo tiempo, lo cual deriva en una importante reducción de tiempo.
- da la posibilidad de hacer un inventario en cuestión de minutos
- no pueden copiarse
- pueden realizarse cargas y descargas mucho más rápidas a través de arcos lectores
- es resistente a los cambios de temperatura, humedad...
- permite la prevención de robos

c) Desventajas:

- problemas para su reciclaje
- problemas para su lectura con líquidos y metales
- la frecuencia en la que trabaja debe ser diferente a las frecuencias en las que trabajen otras tecnologías en el mismo lugar, y además estas frecuencias no están estandarizadas en todos los países, aunque en el caso de los tags UHF está empezando a crearse un estándar

## d) Coste:

- más elevado que el del resto de las alternativas, aunque si nos centramos en los últimos desarrollados (UHF Gen2) el precio está disminuyendo con rapidez
- depende del tipo de tag, pues según las prestaciones que pueda darnos tiene un precio diferente

La pregunta sería: ¿cómo responden estas características a los requisitos del negocio de los operadores logísticos que hemos enumerado en el apartado anterior? Veámoslo en la siguiente tabla 5

	barras	bidimensional	RFID
Servicio al cliente	●	●	●
Coste de operaciones y servicios	●	●	●
Calidad del servicio	●	●	●
Capacidad de disagregación	●	●	●
Compatibilidad y estandarización	●	●	●

**Tabla 5. Tabla resumen de las tecnologías**



## 5. Metodología de análisis de los criterios de decisión

### 5.1 Métodos de decisión multicriterio

El método de las jerarquías analíticas (AHP, Analytic Hierarchy Process) se enmarca dentro de los MCDA (multiple criteria decision aid), colección de conceptos, métodos y técnicas que persiguen ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados. Dentro de esos métodos pueden hacerse varias clasificaciones: existen métodos continuos, cuando el número de alternativas es muy grande e indeterminado, o discretos, cuando el número de alternativas es pequeño y determinado. [6]

### 5.2 Selección

El AHP es un procedimiento sistemático de representación jerárquica de los elementos de cualquier problema. Reduce los problemas a una lógica básica descomponiéndolos en partes constituyentes cada vez más pequeñas y guiando a los tomadores de la decisión a través de una serie de juicios comparativos pareados (que están documentados y pueden ser reexaminados) para expresar la relativa fuerza o intensidad del impacto de los elementos en la jerarquía. Se basa en la capacidad innata de los humanos en pensar lógicamente y creativamente, para identificar eventos y establecer relaciones entre ellos. [3]

He escogido el método AHP por las siguientes razones:

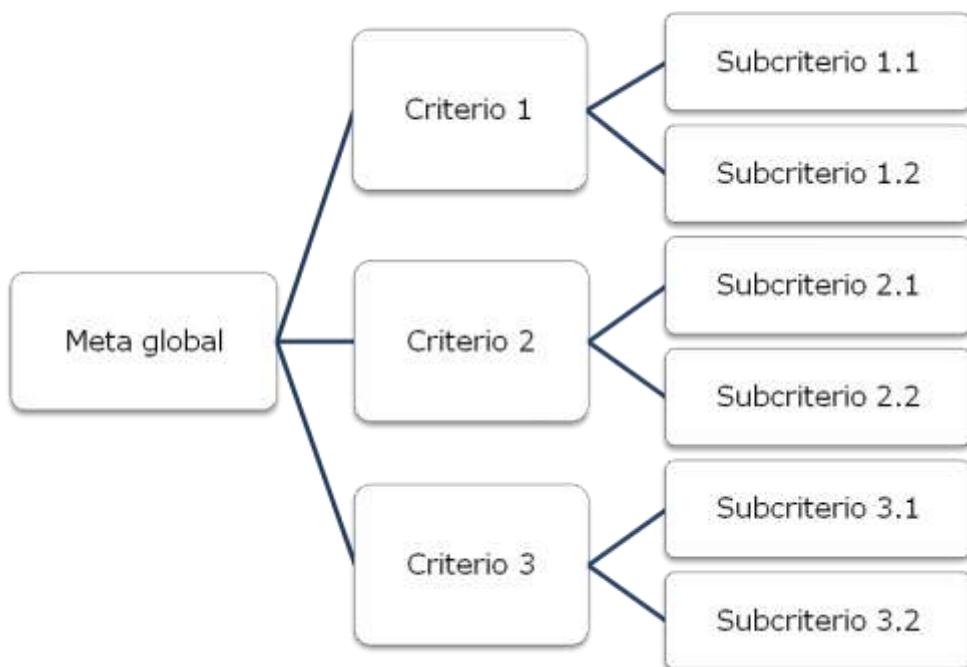
- 1) porque permite mezclar criterios cuantitativos y cualitativos (tal y como se ha planteado en este caso)
- 2) porque no elimina las alternativas sino que las ordena y jerarquiza en función de diferentes criterios
- 3) porque es de fácil comprensión
- 4) porque permite la aplicación a la toma de decisiones grupales, que aglutinen las preferencias individuales de los actores implicados que forman el centro decisor
- 5) porque permite una extensión ANP (Analysis Network Process)
- 6) porque a través del software es fácil e intuitivo añadir los criterios de empresas que se unan a la agrupación
- 7) permite realizar un análisis de su sensibilidad y de la consistencia de las preguntas realizadas al centro decisor y de los evaluadores

### 5.3 Operativa

El método AHP estructura el problema en un árbol de jerarquías como el de la ilustración 2, constituido en este caso por 4 niveles:

Primer nivel, meta global: escoger tecnología para la identificación y trazabilidad

Segundo nivel, criterios: en este caso se han dividido en dos niveles. En un primer nivel tenemos 3 criterios generales que conducen, cada uno de ellos, a dos subcriterios más concretos.



**Ilustración 2. Jerarquía genérica AHP**

Alternativas: las 3 tecnologías que hemos enumerado en el apartado anterior.

Para la resolución de este método necesitamos dos flujos de información, proporcionados por los dos actores que intervienen:

- 1) Comparaciones pareadas del centro decisor: cada una de las empresas debe realizar por separado comparaciones pareadas de criterios provenientes del mismo nodo anterior, expresando cuánto más importante es uno de otro a través de una escala numérica llamada “escala de Saaty” (ver anexo 1). Cada nodo del primer nivel da una matriz de comparaciones.
- 2) Evaluaciones o juicios de los expertos en tecnología: su misión es puntuar las tecnologías respecto a cada uno de los subcrite-

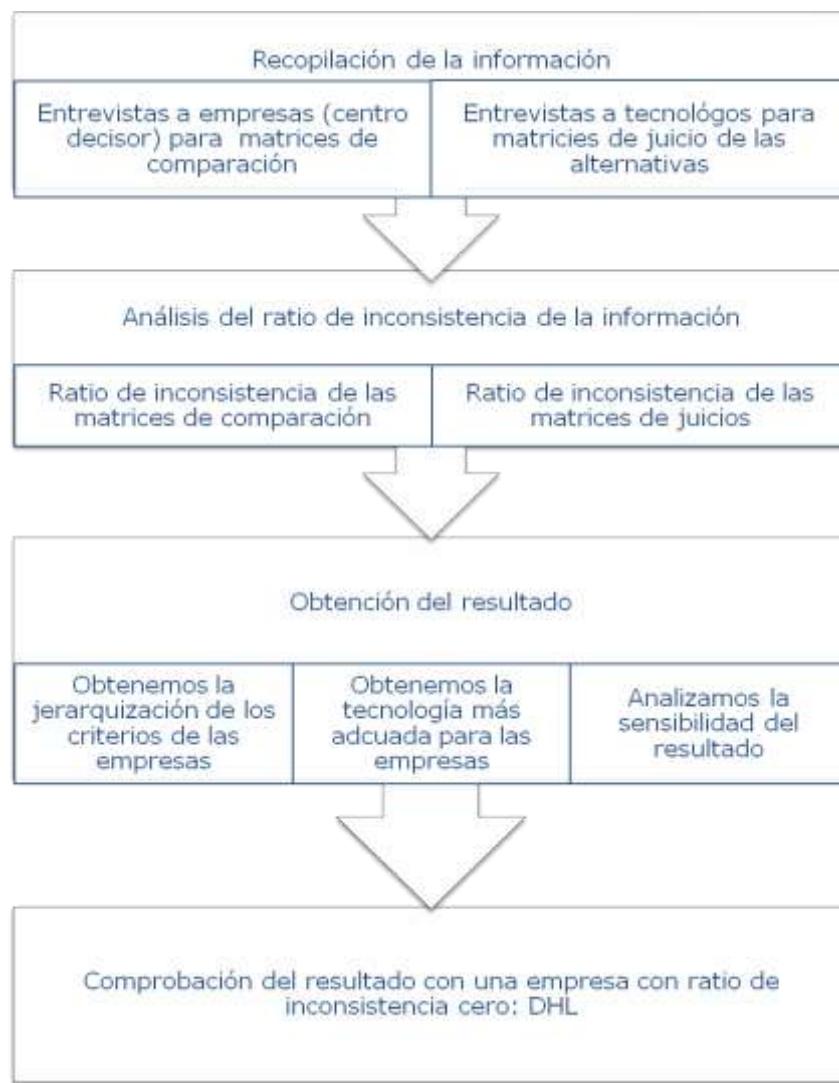
rios con el mismo método que el centro decisor. Para cada subcriterio aparece una matriz de comparaciones.

A partir de esa información, el método matemático obtiene los pesos globales de los subcriterios, dando por resultado cuál de todos ellos es más importante, y jerarquizando las alternativas desde la más adecuada a ese criterio hasta la más alejada.

Además el método permite:

- 1) Analizar la consistencia de la respuesta del tomador de la decisión o del evaluador de la tecnología, que medirá cuan fiables son sus juicios.
- 2) Analizar su sensibilidad y cómo variaría la alternativa óptima según varíe la jerarquía de los criterios.

La operativa del método se resume en la ilustración 3:



**Ilustración 3. Esquema de la operativa del método**

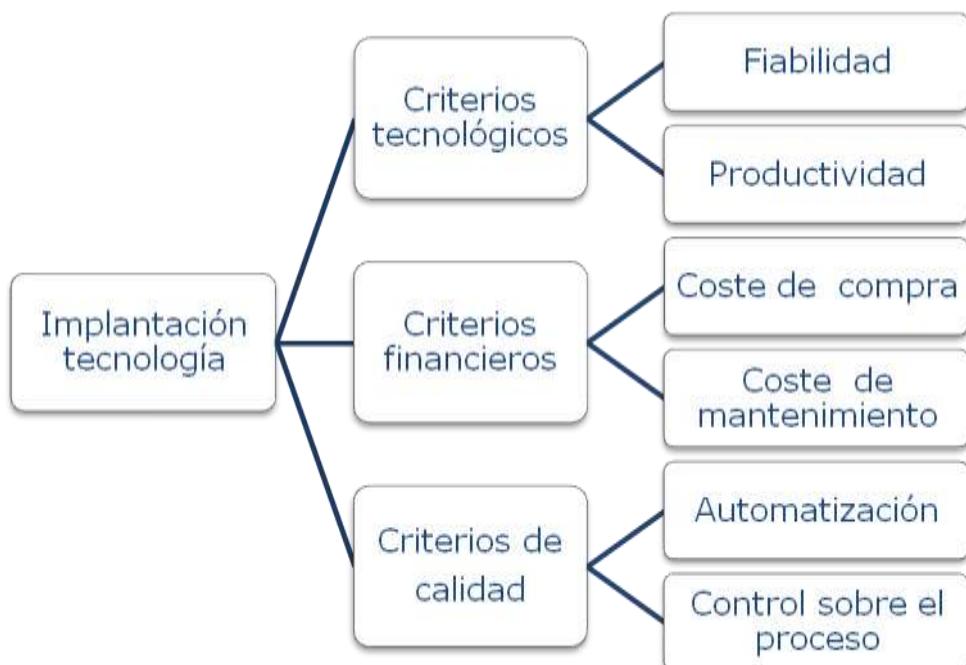
### 5.3.1 Estructuración del método

- 1) Definición del objetivo: poder decidir cuál de las tecnologías de identificación y trazabilidad se adapta mejor a los criterios de todo el grupo.
- 2) Identificación de los criterios: mediante las entrevistas. La razón para estructurar el problema por niveles es la facilidad para analizarlo, poner todos los criterios al

mismo nivel implicaría comparar 6 criterios diferentes y el resultado de los juicios sería fácilmente inconsistente. Tomar las decisiones subdividiendo el problema ayuda a ordenar las ideas, a tomar la decisión más adecuada.

3) Identificación de las alternativas (ver apartado anterior)

4) Árbol de jerarquías: (ver la ilustración 4)



**Ilustración 4. Estructura jerárquica del problema**

### 5.3.2 Evaluación del modelo:

#### **Establecimiento de las prioridades:**

Las prioridades las introducen los gerentes de logística del centro decisor por uno de estos dos canales: o se les envía el cuestionario por correo electrónico (ver anexo 5) o se les plantea el



cuestionario presencialmente. Los encargados de responderlo, generalmente directores de logística y gerentes, realizan las comparaciones con la escala de Saaty (ver anexo 4). Las respuestas de cada empresa a cada pregunta pueden verse en el anexo 5.

Los juicios de todas las empresas se promedian geométricamente, tal y como indica el método, para obtener el resultado global (ver anexo 1). De las comparaciones obtenemos en Expert Choice el resultado de la ilustración 5.

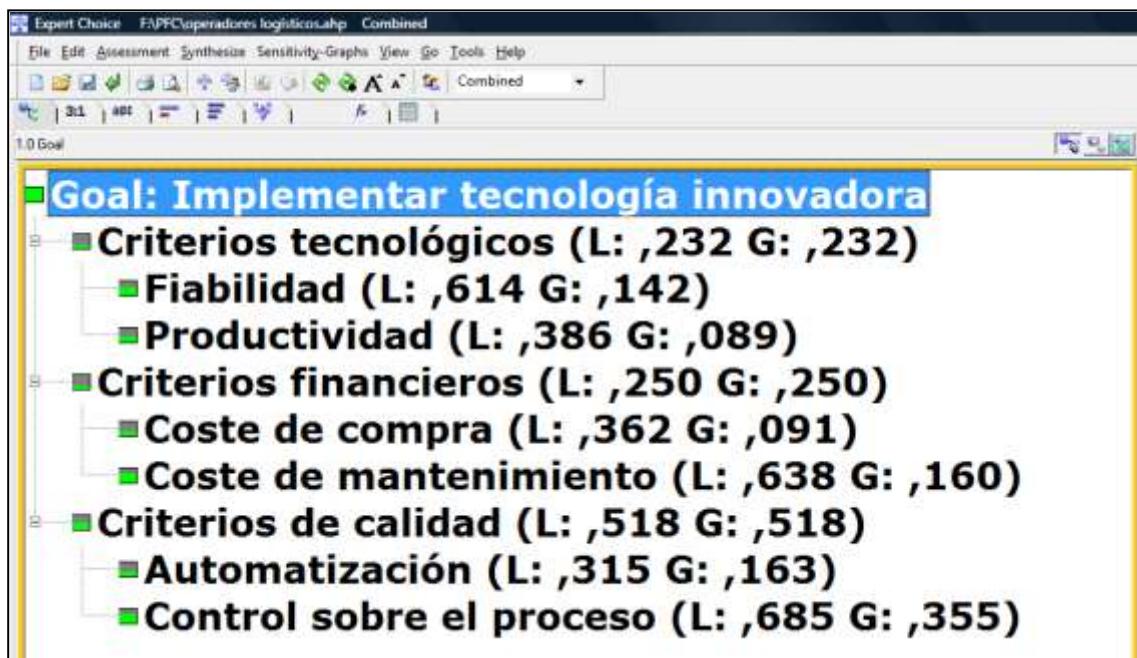
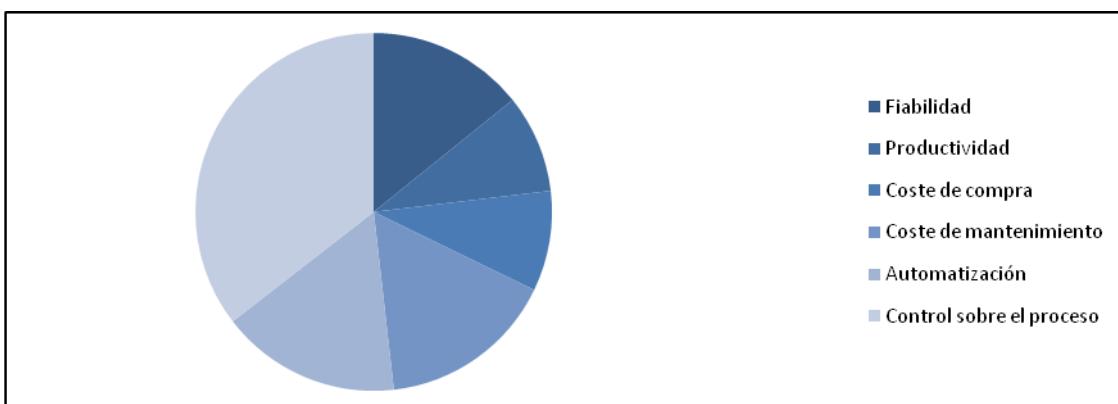


Ilustración 5. Jerarquización del problema, pesos locales y globales de los criterios evaluados del conjunto de empresas

La prioridad local (que se indica precedida por una L junto al criterio precedido en la ilustración 7) es el peso en tanto por uno que tiene ese criterio respecto del total del criterio del nodo superior. Lo ilustro con un ejemplo: en los criterios tecnológicos la fiabilidad tiene un 61,4% del peso de la decisión y la productividad un 38,6%. La prioridad global (que se indica precedida por una G junto al criterio en la ilustración 7) es el peso en tanto por uno que tiene ese criterio

respecto del total de objetivo global. Esto es un resultado intermedio del método aunque no sea el objetivo final.

En la ilustración 6 podemos ver el reparto de los pesos gráficamente, de una forma más intuitiva. Puede observarse que la automatización y el control sobre el proceso son los criterios más importantes para el centro decisor.



**Ilustración 6. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados en el conjunto del centro decisor**

## **Emisión de los juicios y evaluaciones**

A continuación se pidió a cuatro expertos que valorasen cada una de las alternativas respecto a los criterios de segundo nivel, a través de un cuestionario enviado por mail (ver anexo 3).

Las evaluaciones quedaron tal y como muestra la tabla 6 para cada uno de los subcriterios:

Fiabilidad	Productividad
<b>Código de barras</b> ,157	<b>Código de barras</b> ,065
<b>RFID</b> ,366	<b>RFID</b> ,753
<b>Código bidimensional</b> ,477	<b>Código bidimensional</b> ,182



Automatización	Control sobre el proceso
<b>Código de barras</b> ,068 <b>RFID</b> ,772 <b>Código bidimensional</b> ,160	<b>Código de barras</b> ,109 <b>RFID</b> ,576 <b>Código bidimensional</b> ,314
Coste de compra	Coste de mantenimiento
<b>Código de barras</b> ,524 <b>RFID</b> ,159 <b>Código bidimensional</b> ,317	<b>Código de barras</b> ,589 <b>RFID</b> ,083 <b>Código bidimensional</b> ,329

Tabla 6. Resultado de las preguntas a los evaluadores

### 5.3.3 Análisis de la consistencia

Podemos analizar la consistencia del centro decisor. Si las analizamos una por una obtenemos el ratio de consistencia individual.

La consistencia es una magnitud que permite medir el grado de lógica con la que se han respondido las preguntas. El ratio de consistencia de las preguntas referentes a los subcriterios es cero, puesto que no cabe la posibilidad de que se contradigan comparando tan solo dos. Sin embargo con tres comparaciones (como las que realizan para el primer nivel) sí pueden darse respuestas no lógicas, que serán más o menos inconsistentes según la evaluación de la escala de Saaty que se hayan escogido. El método considera que la respuesta es perfecta cuando se da un silogismo: A>B, B>C, luego A>C. Pero al plantearse tres preguntas por separado muchas personas no aplican el razonamiento deductivo y su respuesta viola los principios lógicos pudiendo decir: A>B, B>C, y al mismo tiempo C>A, lo cual, en este caso concreto, no puede ser posible. El AHP mide este nivel de contradicción.

ID	Name	Aumentar tecnología inv. 3	Fiabilidad (L: .814 G: .142) 3 Años	Productividad (L: .306 G: .00) 3 Años	T de compra (L: .362 G: .00) 3 Años	Mantenimiento (L: .63) 3 Años	Innovación (L: .315 G: .1) 3 Años	Robar el proceso (L: .685 G: 3 Años)
1	Combined	.0000	.0072	.1647	.8193	.0695	.0901	.0450
15	Evaluador 2		.5343	.5343	.5343	.5343	.5343	.5343
16	Evaluador 1		.0000	.0790	.0679	.0611	.0000	.0174
14	Evaluador 3		.0000	.0984	.0174	.0088	.1292	.0000
17	Evaluador 4		.1020	.1020	.0000	.0000	.0308	.0000
0	Facilitator							
3	Empresa 1	.0511						
4	Empresa 2	.1029						
5	Empresa 3	.1292						
7	Empresa 4	.0277						
8	Empresa 5	.0000						
9	Empresa 6	.0511						
10	Empresa 7	.1029						
11	Empresa 8	.0000						
12	Empresa 9	.0096						
18	Empresa 10	.0000						

**Ilustración 7. Tabla de ratios de consistencia de las respuestas**

La empresa 3 tiene la mayor inconsistencia, seguida por la empresa 2. El método dice que a partir de un ratio de inconsistencia 0,1 esta respuesta es inconsistente, pero se aceptará un ratio hasta un 20% mayor [3]. Puesto que en este caso estamos muy cerca del límite se darán por válidas. Sin embargo, esta inconsistencia demuestra la eficacia del método, pues es probable que sea debida a las siguientes causas:

- en la empresa 3 la persona que respondió las preguntas era un director de recursos humanos (único caso en que fue así) en lugar de una persona encargada del departamento de logística de la empresa.
- en la empresa 2 se da un caso parecido, el cuestionario fue respondido por un comercial.

En el lado opuesto, una de las empresas que tienen inconsistencia cero es la empresa 5, es la que mostraba más pro actividad para los proyectos piloto tecnológicos. La persona que



respondió a las preguntas era un encargado del I+D a nivel nacional, que está habituado a la evaluación de tecnologías y proyectos.

A continuación se puede observar el ratio de consistencia de los observadores de tecnología. A pesar de que la inconsistencia del evaluador 2 es bastante alta se ha decidido no quitarla, debido a que los otros tres evaluadores son tecnólogos y esta persona tiene un cargo de carácter más comercial. Sus respuestas son rotundas y tienen fallos lógicos, pero no por ello carecen de valor. No obstante esto viene a confirmar una vez más la importancia que tiene en el método la formación de las personas que componen tanto el centro decisor como el que emite los juicios.

## 6. Caso de estudio: empresa 5

En primer lugar es necesario explicar que se escogió la empresa 5 porque era una de las dos únicas empresas con inconsistencia cero. Además se trata de una gran empresa multinacional líder en su sector.

Esta empresa cuenta con 4 divisiones. En Zaragoza visitamos su planta de Supply Chain. La persona que nos recibió y proporcionó la información era la misma que se acaba de mencionar en el apartado anterior. La compañía cuenta con un prestigioso centro de investigación tecnológica en logística, que esta persona que nos recibió había visitado. Estaba informada sobre los últimos avances tecnológicos que su empresa había realizado a nivel global, no solo en la sede de Zaragoza.

La mayor parte de los productos que distribuyen son de gran consumo: de limpieza y alimentación. Cuentan con una planta con 6 muelles, uno de ellos conectado con una pequeña parte del almacén que es de frío. Su funcionamiento es muy sencillo: es una plataforma a la que llegan productos de almacenes reguladores pertenecientes a clientes que trabajan con ellos en exclusividad. A ellos les envían desde un almacén de origen palés numerados, con una lista de desglose que les indica toda la mercancía que compone cada palé y a donde va (estantería, altura, posición, etc.). Deshacen el palé y componen el nuevo pedido con un código de barras propio enviando la mercancía al cliente. En toda esta zona únicamente manejan códigos de barras.

El código bidimensional lo tienen utilizado únicamente en un pequeño almacén de sector tecnológico perteneciente a otra división



de la compañía que funciona completamente aparte. Allí almacenan productos de alto valor económico, marcados con códigos bidimensionales de varios tipos, normalmente unidos: uno tipo apilado PDF417 y otro tipo matricial, Maxicode, que vienen marcados por las empresas debido a que tienen muchas más exigencias de visibilidad, trazabilidad y seguridad. Tal y como se ha explicado anteriormente, el código bidimensional es mucho más difícil de falsificar que el código de barras.

En cuanto a RFID, su compañía ha hecho proyectos piloto en otro país para un cliente concreto, de los que han obtenido la conclusión de que por el momento no es viable. Presenta principalmente dos problemas claros:

- por el momento el RFID no ha superado la barrera económica a partir de la cual para ellos sería rentable.
- a nivel de visibilidad tampoco es suficiente, porque lo tienen a nivel de palé entero. La verdadera ventaja para ellos sería implantarlo también a nivel de caja y a nivel de producto, si no, no resulta rentable.

Además desde la empresa destacaron que cuando han hecho un proyecto para probar el uso del RFID es porque un cliente lo requiere, nunca por opción propia. Para ellos implicaría un mejor nivel de visibilidad y reducir operarios, el nivel de stock bajaría, pero el ahorro de la utilización del RFID va principalmente a parar a los clientes y a los distribuidores. Sin embargo, aseguran que se seguirán haciendo pruebas para adaptar el RFID lo mejor posible a sus necesidades cuando se encuentre un equilibrio económico entre la inversión que supone y el recorte de gastos que se derive de su

utilización y repercuta en su propio negocio y no en el del cliente. Han realizado proyectos también con tags RFID activos con sensores de temperatura, humedad, etc.

En proyectos de códigos de barras no invertirían porque son tecnologías ya completamente estandarizadas en las que en su opinión no merece la pena investigar.

Las respuestas de la empresa por sí solas introducidas en el método resultaron en la jerarquización de sus criterios que se muestra en la ilustración 8:

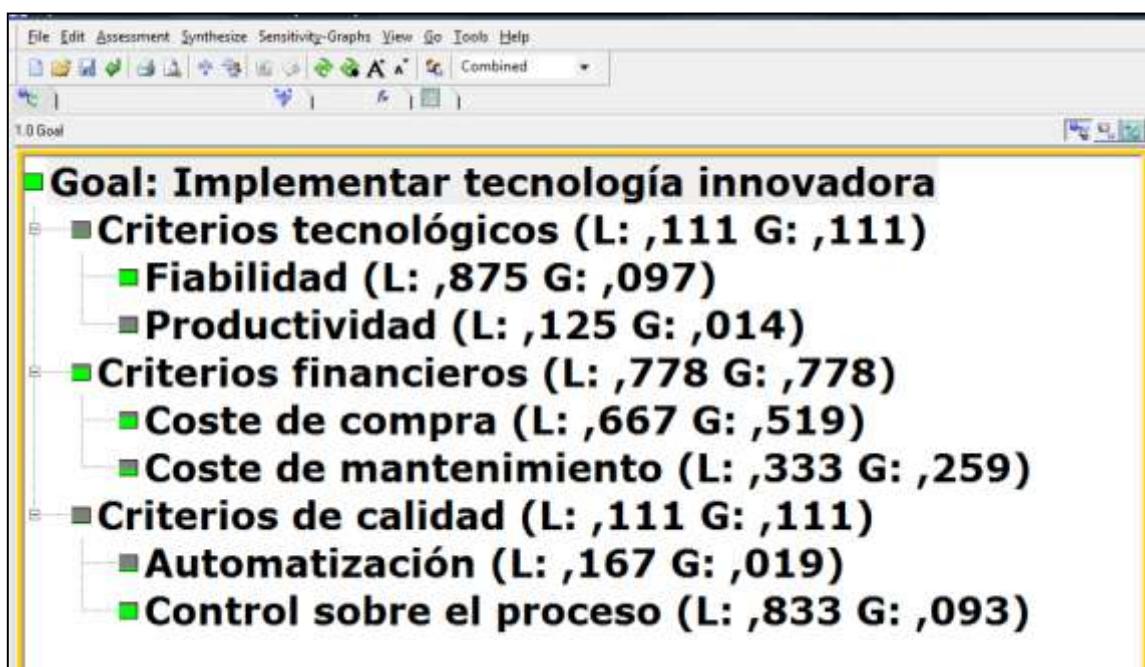
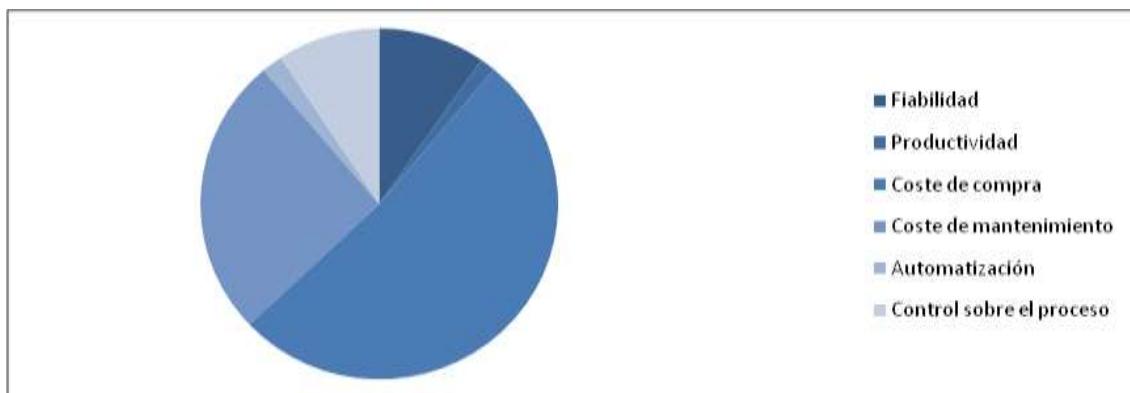


Ilustración 8. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados de la empresa 5

Cabe destacar que en esta empresa se obtiene una jerarquización muy diferente a la de la media, comparemos la siguiente ilustración



9 que muestra los pesos globales de cada uno de los subcriterios de la empresa 5 con la de todo el centro decisor.



**Ilustración 9. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados en la empresa 5**

Para ellos el criterio más importante es el del coste de compra seguido por el coste de mantenimiento, que en el caso del decisor grupal sumados no llegaban al 25% del peso de la decisión. Es decir: más del 75% de la decisión se rige por los criterios financieros.

El resultado del método fue el siguiente:

<b>Código de barras</b>	<b>,505</b>
<b>RFID</b>	<b>,164</b>
<b>Código bidimensional</b>	<b>,330</b>

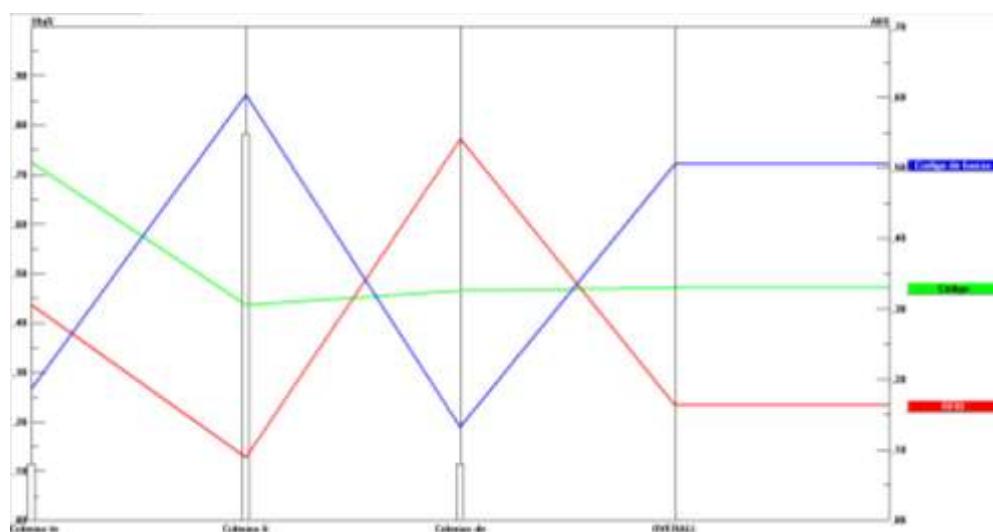
**Ilustración 10. Resultado del método aplicado en la empresa**

La tecnología más adecuada para ellos es por tanto el código de barras, seguido por el código bidimensional y por los tags RFID, con esos pesos globales concretos que vemos en la ilustración 10.

Este resultado es debido al peso de los criterios financieros, y se corresponde exactamente con el razonamiento que la empresa nos ha dado: las limitaciones económicas del RFID impide que lo utilicen,

dominando por tanto el código de barras seguido por el código bidimensional.

Los niveles del resultado se aproximan con la realidad de la empresa: el código de barras es el predominante, seguida por el código bidimensional que es, tal y como hemos podido ver en el almacén, el siguiente más implantado después del código de barras. Esto significa que realmente el valor que más se desvía en el método es el de RFID (cuyo nivel de utilización no es del 16%).



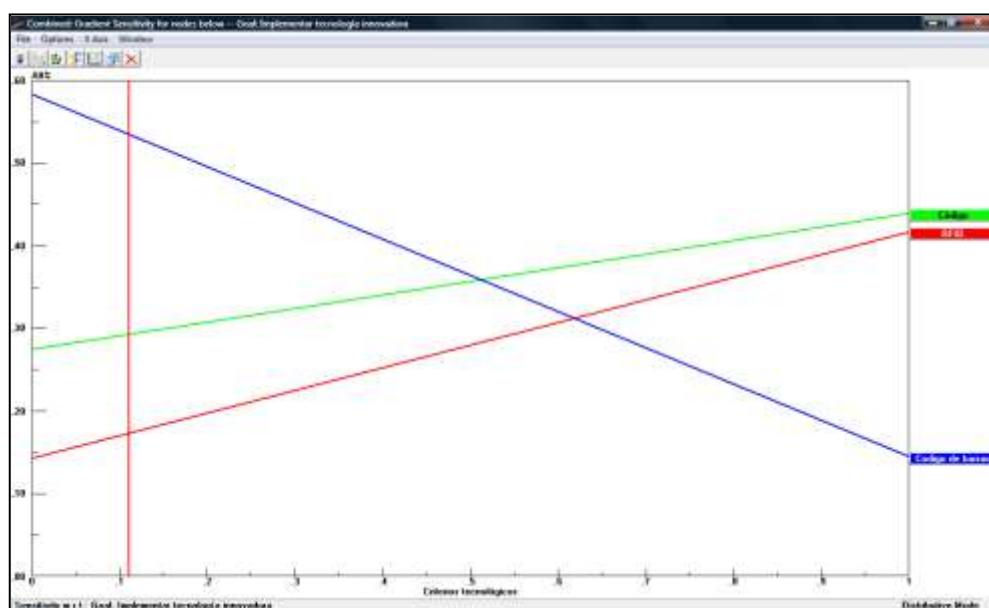
**Ilustración 11. Análisis de resultados para cada criterio de primer nivel en la empresa 5**

Sin embargo, como puede verse en el análisis de sensibilidad de la ilustración 11, que muestra cual es la tecnología óptima para cada criterio de primer nivel, el código de barras es el menos adecuado para el resto de los criterios menos para el financiero. Esto significa que la tecnología óptima es susceptible de cambio en caso de variación de las prioridades de la empresa 5.

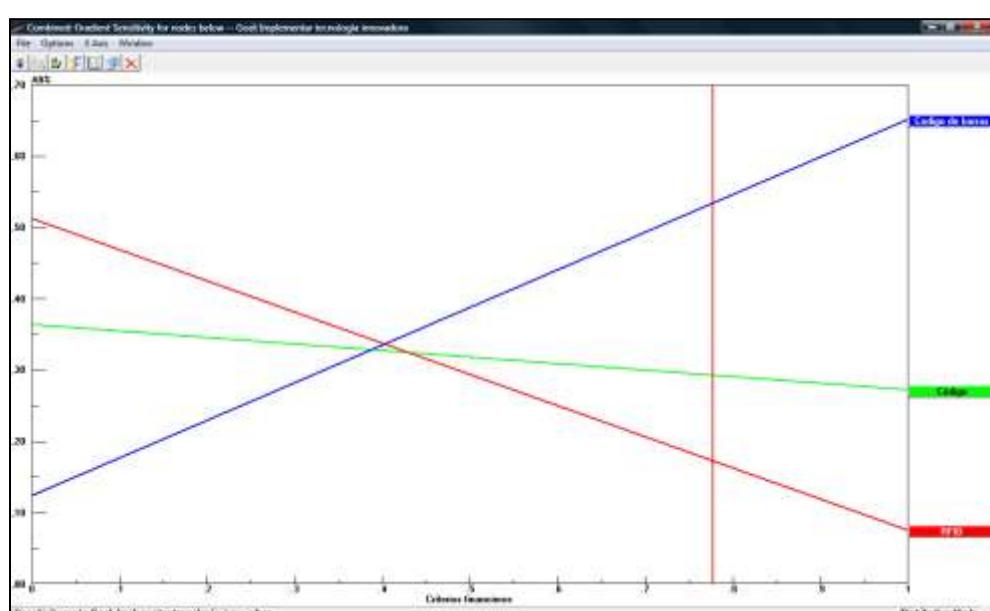
Destaca bastante el hecho de que el código de barras tiene la puntuación más baja con diferencia de las tres alternativas a nivel de



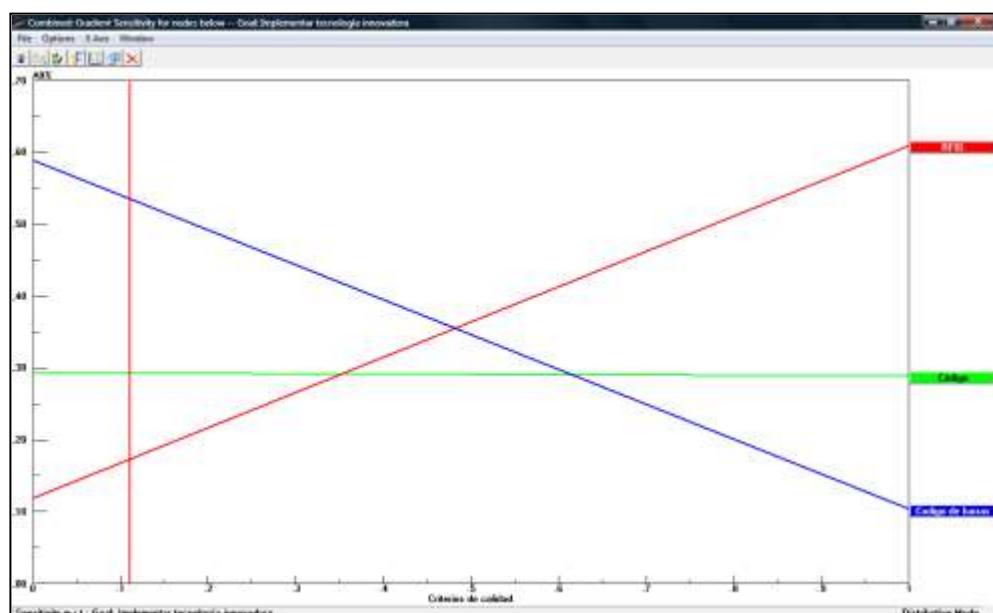
productividad, sin embargo tiene la implantación más alta. Este resultado viene a confirmarse por la intención que la empresa demuestra en seguir investigando en RFID y haciendo proyectos piloto hasta que funcione como debería y su precio disminuya. A continuación analizo individualmente cada uno de los criterios de primer nivel de las respuestas para ver cuán cerca está el resultado de poder cambiar si cambiasesen los criterios.



**Ilustración 12. Análisis de sensibilidad del criterio tecnológico para la empresa 5**



**Ilustración 13. Análisis de sensibilidad del criterio financiero para la empresa 5**



**Ilustración 14. Análisis de sensibilidad del criterio de calidad para la empresa 5**

Las ilustraciones 12, 13 y 14 muestran la sensibilidad de la alternativa óptima según la variación del peso que se dé a cada uno de los criterios de primer nivel, dependiendo de la gráfica. La línea vertical es la prioridad del criterio de nivel primario según el eje X, y el resultado de la alternativa óptima viene dado por el corte de esta línea con cada una de las otras tres horizontales en el eje Y. Si estas tres se cortasen esto implicaría que la alternativa óptima podría cambiar si cambiase el peso de ese criterio. Como vemos en este caso se corta en las tres. La alternativa es más susceptible de cambiar cuanto más cercano esté el punto de corte a la línea vertical.

Aproximadamente las tres son igual de cercanas al cambio. Un aumento de los criterios de calidad conducirían a cambiar del código de barras al RFID, sin embargo un aumento en los criterios tecnológicos llevarían al código bidimensional y no al RFID, a pesar de que es superior a nivel tecnológico, otra vez debido al peso de lo económico frente a las prestaciones.



## 7. Resultados

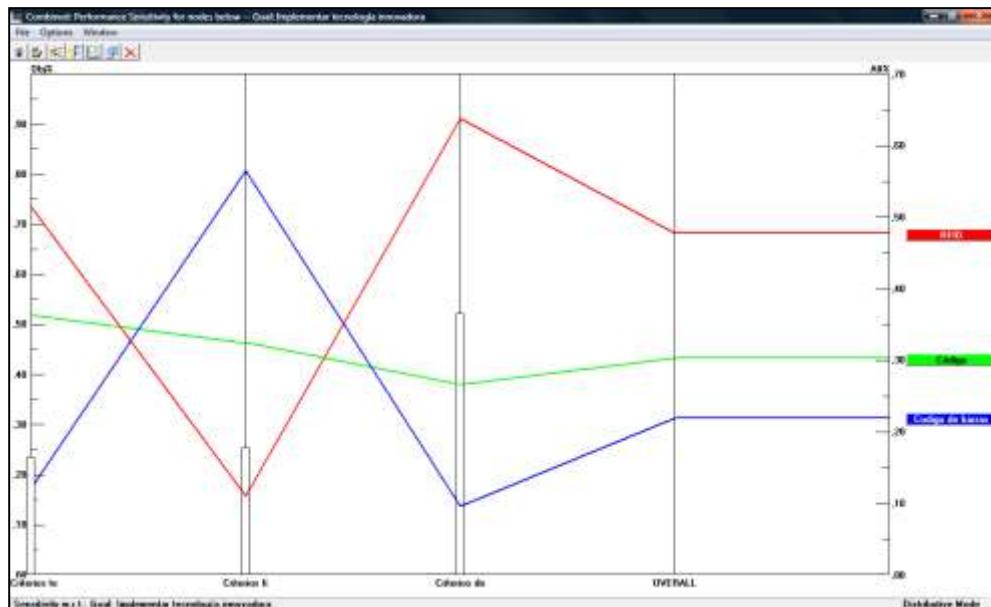
El resultado de Expert Choice para el centro decisor completo es el siguiente que se muestra en la ilustración 15.

<b>Código de barras</b>	,222
<b>RFID</b>	,456
<b>Código bidimensional</b>	,322

**Ilustración 15. Resultado del método aplicado a todo el centro decisor**

La realidad de las tecnologías ya implantadas en las empresas del grupo decisor no corresponde con la distribución que muestra el resultado. Es decir, su realidad se aleja de lo que, según el método, sería para ellos la tecnología óptima. Es lo contrario a lo sucedido en la empresa 5. Sin embargo el resultado es bastante más equilibrado que para esta empresa, es decir, no hay una gran diferencia entre las 3 tecnologías.

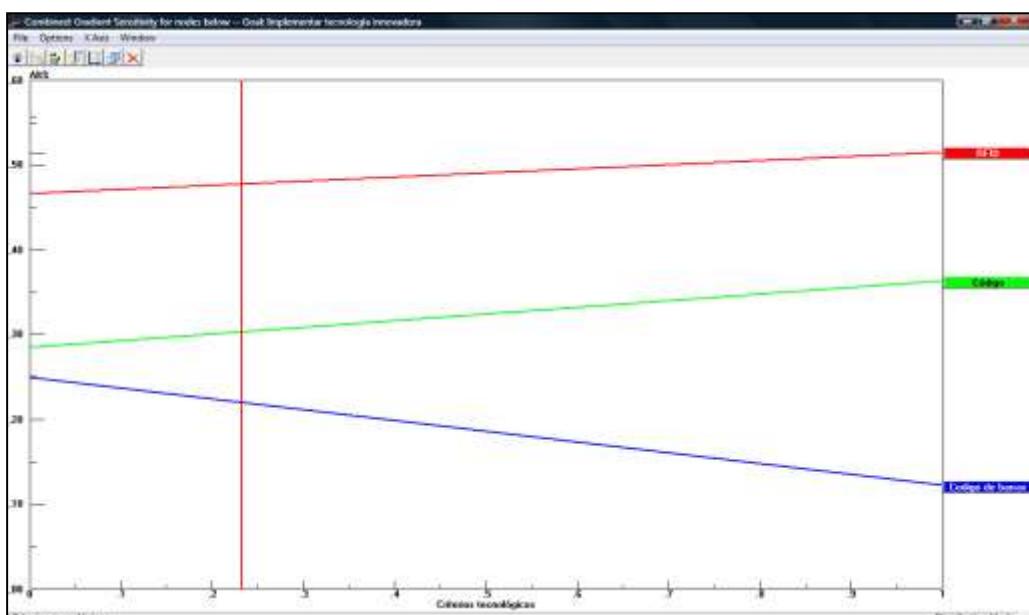
Este resultado es debido principalmente a que el criterio que ellos consideran más importante es el control sobre el proceso seguido por la automatización. El RFID es la tecnología mejor evaluada a este nivel. Por otro lado es la que menos puntuación tiene por parte de los evaluadores a nivel de precios, pero como este criterio no parece ser especialmente relevante para el centro decisor, no tiene un impacto directo sobre el resultado.



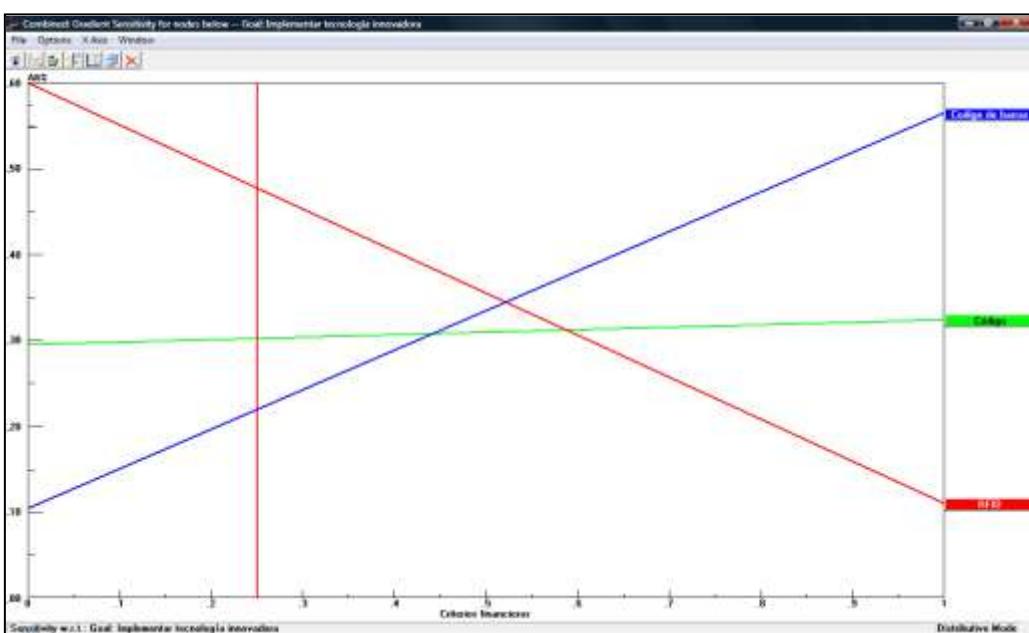
**Ilustración 16. Análisis de resultados para cada criterio de primer nivel para el centro decisor completo**

Como puede verse en el análisis de sensibilidad de la ilustración 16 las tecnologías óptimas son diferentes en cada criterio de primer nivel. Sin embargo, veamos que sucede si analizamos la sensibilidad para cada uno de los criterios de primer nivel por separado.

La ilustración 17 muestra la sensibilidad de la alternativa óptima según la variación del peso que se dé a los criterios tecnológicos. En este caso y según el RFID va a ser siempre la tecnología óptima, pues no existe un cruce entre las líneas. Sin embargo, si hacemos este mismo análisis para los criterios financieros (ilustración 18), nos encontramos con que un cambio en su peso podría cambiar la solución:



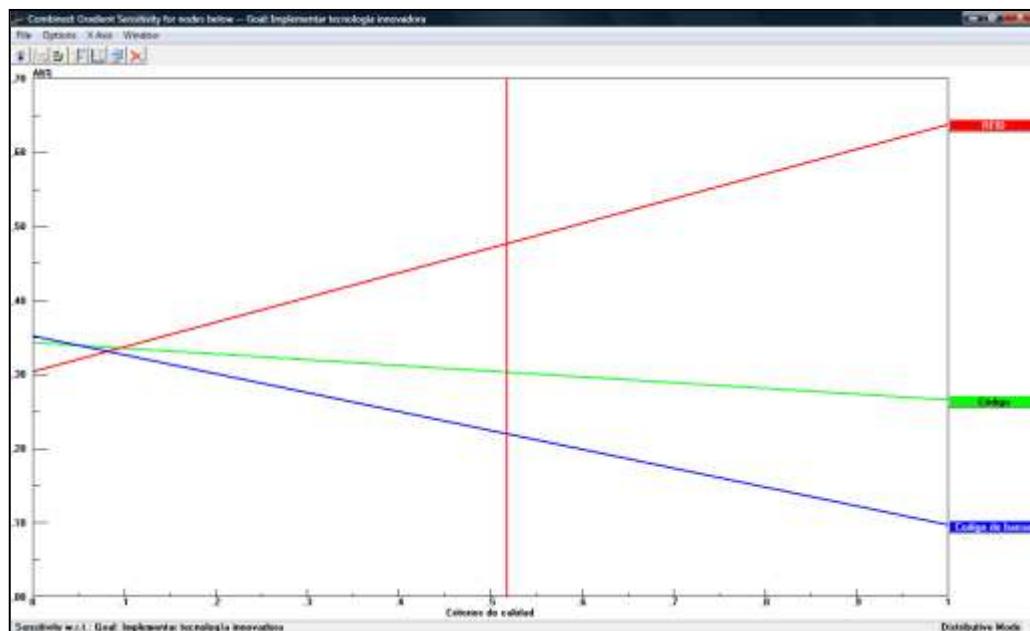
**Ilustración 17. Análisis de sensibilidad del criterio tecnológico para el centro decisor completo**



**Ilustración 18. Análisis de sensibilidad del criterio financiero para el centro decisor completo**

Además, el punto de corte que daría un cambio de decisión no está lejano a la recta, lo cual significa que es un cambio de alternativa óptima que podría darse con relativa facilidad. Tan solo 2,5 decimas bastarían para que la alternativa óptima pasase a ser el código de barras.

Si realizamos el análisis para los criterios de calidad (ilustración 19) podemos concluir que un cambio en el peso de este criterio también cambiaría la alternativa óptima. Sin embargo, esta situación es más lejana que la anterior, puesto que el punto de corte entre las rectas está más lejano a la recta vertical.



**Ilustración 19. Análisis de sensibilidad del criterio de calidad para el centro decisor completo**

Estos análisis de sensibilidad nos han mostrado que la alternativa óptima para el centro decisor es:

- completamente independiente de los criterios tecnológicos
- medianamente dependiente de los criterios de calidad
- altamente dependiente de los criterios financieros



## 8. Conclusiones

A la vista del trabajo realizado se pueden sacar conclusiones tanto del resultado del método como de las diferentes observaciones que se han realizado a lo largo de la aplicación del mismo en los dos casos por separado.

Como se ha podido ver, nos hemos encontrado en dos situaciones extremas: en el caso del centro decisor completo el resultado era totalmente opuesto a la realidad, y en el caso de la empresa 5 aplicándole el método de forma individualizada respondía fielmente a la realidad. Cada una de estas situaciones tiene sus causas y sus conclusiones.

### Conclusiones de la etapa de recogida de la información

1. Es esencial que la persona que responda al cuestionario sea un cargo de la empresa que esté familiarizado con la toma de decisiones a nivel tecnológico y de inversiones en I+D+i. En los casos de la empresas más inconsistentes nos enfrentamos a personas que trabajan en la empresa que resultan no ser las que tomarían la decisión ni las que se plantearían este tipo de proyectos. En la empresa 5 (el caso opuesto) nos enfrentamos con una persona que tenía muy presente que todos los proyectos de implantación de nuevas tecnologías más sofisticadas e innovadoras tenían que pasar por la aprobación financiera del proyecto, y era muy consciente de que esta sería la limitación principal. De este hecho se deriva la solución del método aplicado solo a ella. Dado que está familiarizado con la evaluación de alternativas y proyectos es probable que esto haya hecho que la consistencia de sus respuestas fuese máxima. Por tanto, una persona que trabaje en el ámbito de la I+D+i será la más

adecuada en el caso de aplicar el método como se ha aplicado en este proyecto

2. El método advierte que en los juicios de valor siempre puede haber inconsistencia puesto que a veces aunque A sea mejor que B y B sea mejor que C, A no tiene por qué ser mejor que C. Sin embargo cuando se evalúan las prestaciones de una tecnología esto no sucede. Por lo que el resultado óptimo probablemente se daría cuando se mostrase al decisor sus inconsistencias hasta que las resolviese haciendo juicios lógicos. Dada la imposibilidad de mejorar los resultados (por la falta de tiempo en las entrevistas o por haber enviado el método por correo) la inconsistencia no era mejorable, pero en el mejor caso hubiese sido necesario mostrar a la persona que respondía que sus respuestas eran inconsistentes hasta que llegase a una conclusión totalmente consistente. En el caso de que el método se aplique en el clúster este problema no será tal, pues se realizarán mesas de trabajo en las que las empresas trabajarán juntas y llegarán a consensos en las decisiones.

3. Con la recogida de las evaluaciones de las tecnologías encontramos exactamente el mismo problema: también teníamos un evaluador con inconsistencia alta en las preguntas sobre tecnología. En este caso decidimos que sus respuestas también formasen parte de la muestra igual que en el caso de las empresas, debido a que de esta forma, el grupo de evaluadores es heterogéneo. Los evaluadores pueden obtener la información de situaciones diferentes dependiendo de su oficio: pueden dedicarse a implantar estas tecnologías y tener como fuente de información la experiencia de esos resultados, pueden ser usuarios de estas tecnologías y tener obtenido la evaluación de su propia experiencia o pueden dedicarse por ejemplo



a desarrollarlas y conocerlas perfectamente a nivel científico pero no en la práctica. Es importante que el grupo sea heterogéneo para que la información no esté sesgada.

## **Conclusiones del resultado del método en la empresa 5**

En este caso el método ha obtenido una distribución muy aproximada a la realidad de la tecnología ya implantada en esa empresa. Ellos mismos nos mostraron que las causas que el método jerarquizó como más importantes eran las causas reales, y que en este caso habían sido precisamente las causas de que desecharan el RFID. Así, en vez de obtener una herramienta para apoyar una decisión de cambio, se utiliza para verificar que la decisión que habían tomado era la más acorde con sus criterios y con las realidades tecnológicas del momento. Cuando explicamos el resultado en la empresa atrajo su atención la veracidad de la información que el método había obtenido.

Además es importante el hecho de que el resultado del método se ajustaba más a la realidad en la empresa que precisamente había hecho proyectos para probar esas tecnologías y decidir si las implantaban. Si realmente la persona que responde a las preguntas está expresando los verdaderos criterios de la empresa (menor inconsistencia posible) y esta empresa está al día en innovación y desarrollo como es el caso, el resultado del método se ajustará precisamente a su realidad y servirá tal y como hemos dicho de herramienta de verificación.

## **Conclusiones del resultado del método aplicado en el conjunto de empresas**

La solución del método aplicado al conjunto de las empresas muestra que, si realmente los criterios financieros tienen tan poca relevancia para ellos, es necesario que se planteen realizar pruebas con RFID. Existe un desfase entre sus criterios y las tecnologías que utilizan. Sus criterios primordiales (control sobre el proceso y automatización) son una funcionalidad que el RFID cumple con creces frente a las otras 2 formas de identificación, y sin embargo no la utilizan.

El impacto de los criterios financieros es alto en la sensibilidad del resultado al cambio, porque el gran coste económico del RFID, provoca que un pequeño aumento del peso de este criterio cambie la alternativa óptima del RFID al código de barras. Por lo que aunque para ellos los criterios financieros no sean importantes realmente tienen efecto en el resultado.

## **Conclusiones a nivel de tecnologías**

La empresa 5 ha revelado que para ellos el código de barras y el código bidimensional son tecnologías en las que ya no pueden realizarse grandes avances, y tan solo realizarán pruebas sobre el RFID. Esto viene a confirmar el resultado que se ha obtenido en cuanto a la baja productividad del código de barras.



## BIBLIOGRAFIA

### Libros:

- [1] Cervera Fantoni, Ángel Luis, (2003), *Envase y embalaje: (la venta silenciosa)*, Business & Economics.
- [2] F. J. Espinosa García, L. Hernández Encinas, A. Martin del Rey, *Codificación de información mediante códigos bidimensionales*.
- [3] Saaty, Thomas L. Kearns, Kevin P., (1987), *Analytical planning, the organization of systems*. RWS Publications.
- [4] Saaty , Thomas L., (1982), *Decision making for leaders. The analytic hierarchy process for decisions in a complex world*, RWS publications.
- [5] Barba-Romero, Sergio, (1997), *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá.
- [6] Romero, Carlos, (1993), *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza editorial.
- [7] Roux, Michel, (2009), *Manual de logística para la gestión de almacenes*. Gestión 2000.
- [8] Anaya Tejero, Julio Juan, (2007), *Logística integral. La gestión operativa de la empresa*. Libros profesionales ESIC.
- [9] Pau i Cos, Jordi, (1998), *Manual de logística integral*. Diaz de Santos.

[10] Berumen, Sergio, (2008), *Cambio tecnológico e innovación en las empresas*. Libros profesionales ESIC.

**Páginas web:**

GS1: <http://www.gs1.org>

EAN-128: <http://www.ean128.es>

Image ID: <http://www.imageid.com>

Intermec: <http://www.intermec.es>

Zetes: <http://www.zetes.es>

Mecalux: <http://www.mecalux.es>

Itene: <http://www.itene.com>

Alfaland: <http://www.alfaland.es>

Cámara de Comercio e Industria de Zaragoza:

<http://www.camarazaragoza.com/transporte>

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Empresas y entidades escogidas inicialmente como potenciales miembros del clúster.....	10
Tabla 2. Empresas visitadas o que han respondido al cuestionario ..	11
Tabla 3. Relación de empresas de la muestra .....	13
Tabla 4. Tecnologías que intervienen en la cadena logística .....	15
Tabla 5. Tabla resumen de las tecnologías .....	21
Tabla 6. Resultado de las preguntas a los evaluadores.....	30



## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Factores de competitividad de un operador logístico.....	13
Ilustración 2. Jerarquía genérica AHP.....	24
Ilustración 3. Esquema de la operativa del método.....	26
Ilustración 4. Estructura jerárquica del problema .....	27
Ilustración 5. Jerarquización del problema, pesos locales y globales de los criterios evaluados del conjunto de empresas.....	28
Ilustración 6. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados en el conjunto del centro decisor.....	29
Ilustración 7. Tabla de ratios de consistencia de las respuesta.....	31
Ilustración 8. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados de la empresa 5.....	35
Ilustración 9. Jerarquización de los criterios, pesos locales y globales evaluados en la empresa 5.....	36
Ilustración 10.Resultado del método aplicado en la empresa.....	36
Ilustración 11. Análisis de resultados para cada criterio de primer nivel en la empresa 5.....	37
Ilustración 12. Análisis de sensibilidad del criterio tecnológico para la empresa 5.....	38
Ilustración 13. Análisis de sensibilidad del criterio financiero para la empresa 5.....	38
Ilustración 14. Análisis de sensibilidad del criterio de calidad para la empresa 5.....	39
Ilustración 15. Resultado del método aplicado a todo el centro decisor.....	40
Ilustración 16. Análisis de resultados para cada criterio de primer nivel para el centro decisor completo.....	41
Ilustración 17. Análisis de sensibilidad del criterio tecnológico para el centro decisor completo.....	42

Ilustración 18. Análisis de sensibilidad del criterio financiero para el centro decisor completo.....	42
Ilustración 19. Análisis de sensibilidad del criterio de calidad para el centro decisor completo.....	43

## **Agradecimientos**

Gracias al Consejo Aragonés de Cámaras de Comercio, y a Diego Artigot por el tiempo que me han dedicado y la ayuda que me han prestado. Mi agradecimiento igualmente a Emilio Larrodé, Santiago Blasco, Mario Monsreal, Pablo Pardo, Jaime Mira y Carlos Millán por la amabilidad con la que contestaron a todas mis preguntas, y también a todas las personas que nos recibieron en TNT, Norbert Dentressangle, Transportes Lapuente, DHL, Global Spedition, Rhenus, Bonavia, Marcotran, Sesé, Aralogic, Matra, Bebinter y Prainsa.

