

Análisis de eficiencia y diseño
de modelos participativos
e integrados de gestión de la

PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES:

una focalización para la

P Y M E

e s p a ñ o l a



MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA Y DISEÑO DE MODELOS
PARTICIPATIVOS E INTEGRADOS DE GESTIÓN
DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES:
UNA FOCALIZACIÓN PARA LA PYME ESPAÑOLA**

Jesús Portillo García-Pintos

*MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES
INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD
E HIGIENE EN EL TRABAJO*

Autor:

Jesús Portillo García-Pintos. Centro Nacional de Medios de Protección - Sevilla. INSHT

Diseño de cubierta:

José Miguel Cruz Gala. Servicio de Ediciones y Publicaciones - Madrid. INSHT

Edita e imprime:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid

Composición:

Artes Gráficas Bouncopy
C/ San Romualdo, 26 - 28037 Madrid

NIPO: 211-07-041-6

ISBN: 978-84-7425-736-6

Depósito Legal: M-36878-2007

“En aquello que es ley consentida por todos
es cosa dura hacer novedad”

Elio Antonio de Nebrija (1441-1522)

A mi padre, luz y guía

In memoriam

PRESENTACIÓN

Uno de los objetivos fundamentales del marco normativo español en materia de prevención de riesgos laborales, reconfigurado tras la reforma de la Ley 31/1995 es, sin duda alguna, el lograr una adecuada integración de la acción preventiva en la actividad de la empresa. Esta integración puede admitir, como no puede ser de otra manera, una diversidad de alternativas para su consecución, pero su plasmación efectiva debe ser fundamentalmente entendida en términos de una activa implicación de los miembros de la organización en el planteamiento y desarrollo de la Política Preventiva de la empresa.

En la línea enunciada con anterioridad, este texto puede ser una herramienta que contribuya a orientar la consecución de este logro en aquellas empresas con unas capacidades suficientemente desarrolladas en algunas áreas de la praxis gerencial como son la calidad y la dirección por objetivos, entre otras. Como elemento de apoyo, se introducen una serie de procedimientos analíticos que tienen por finalidad fundamental el abrir un abanico de posibilidades exploratorias para el desarrollo de modelos fiables y contrastados para la medición del grado de despliegue y desarrollo de cualquier sistema gerencial de la empresa en general, y del de gestión de la prevención de riesgos laborales en particular.

Bien es cierto que, en algunos casos, estos modelos matemáticos pueden resultar excesivamente complejos en términos de su comprensión y aplicación, pero no resulta menos cierto que la prevención de riesgos laborales, como una faceta indisoluble más de la actividad gerencial de la empresa que debe y puede contribuir a la consecución de la excelencia empresarial, no debe dar la espalda a aquellos elementos que han mostrado su eficacia en otros ámbitos. Así, la asimilación de conceptos tradicionalmente vinculados a ramas del conocimiento como son la organización industrial y la investigación operativa, y su aplicación a otras disciplinas, como en este caso es la prevención de riesgos laborales, debe constituirse en un elemento de refuerzo de innegable valor para alcanzar la ya aludida y deseada integración.

La PYME, a la par de constituir el principal elemento de desarrollo de la actividad laboral en nuestro país y en los de nuestro entorno socio-económico, presenta una serie de características implícitas como son la multifunción en el desempeño, el trabajo en equipo, la mayor capacidad para las relaciones interpersonales, etc., que, en determinados casos y circunstancias, pueden favorecer el desarrollo de modelos novedosos y eficaces que se configuren como una alternativa a los parámetros de gestión tradicionalmente considerados. Este texto pretende, en dicho contexto, esbozar una serie de posibilidades de desarrollo que puedan facilitar el tránsito por este camino, el que, finalmente, debe conducir a una mejora de la competitividad de la empresa, la cual no puede ser entendible sin un adecuado nivel de las condiciones de trabajo.

Ángel Rubio Ruiz

Director del INSHT

ÍNDICE GENERAL

PRÓLOGO	15
1. RESUMEN Y OBJETIVOS	19
2. INTRODUCCIÓN. ESTADO DEL ARTE	23
2.1 El escenario socioeconómico actual: respuestas necesarias	23
2.2 Necesidades gerenciales en las PYMEs: sus características	29
2.3 Sistemas de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales: estado del arte y tendencias de futuro	35
3. MUESTRA DE REFERENCIA: EL PROYECTO QUALYMAN	45
3.1 Origen del proyecto	45
3.2 Objetivos del proyecto	46
3.3 Metodología	50
3.4 Resultados de la fase diagnóstico	62
3.5 El proyecto como fuente de datos para el estudio. Utilización de resultados	76
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS	81
4.1 Introducción	81
4.2 Aplicación de la técnica de análisis factorial	82
4.3 Indicador global de situación: heurística desarrollada y su validación ...	89
4.3.1 Desarrollo de la heurística	89
4.3.2 Validación de la heurística	94

5. ANÁLISIS DE EFICIENCIA	107
5.1 Introducción	107
5.2 Aplicación de la técnica de análisis por envoltura de datos	108
5.2.1 Modelo aditivo (forma envolvente)	112
5.2.2 Modelo radial con orientación de salida (formulación de Andersen / Petersen)	116
5.3 Resultados y su interpretación	119
5.3.1 Modelo aditivo (forma envolvente)	119
5.3.2 Modelo radial con orientación de salida (formulación de Andersen / Petersen)	124
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN	137
6.1 Introducción y bases de desarrollo	137
6.2 Formulación y contenido	143
6.2.1 Definición y organización de la política preventiva	145
6.2.2 Implantación	147
6.2.3 Medición y revisión de actuaciones. Proceso de auditoría	159
6.3 Acciones de refuerzo	169
6.3.1 Integración en la estructura organizativa	169
6.3.2 Influencia en la política retributiva	172
7. A MODO DE REFLEXIÓN FINAL	187
Apéndice A. Complementos metodológicos sobre la técnica de análisis factorial	191
Apéndice B. Complementos metodológicos sobre la técnica de análisis por envoltura de datos (DEA)	213
Apéndice C. Referencias bibliográficas	239
Apéndice D. Lista de acrónimos	249

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Estado del arte. Compendio de referencias metodológicas y documentales	44
Tabla 3.1	Funciones y factores evaluados para el área de O+RRHH	56
Tabla 3.2	Funciones y factores evaluados para el área de calidad	57
Tabla 3.3	Funciones y factores evaluados para el área de innovación	58
Tabla 3.4	Funciones y factores evaluados para el área de PRL	59
Tabla 3.5	Funciones y factores evaluados para el área de medio ambiente .	61
Tabla 3.6	Puntuación de los distintos factores para el área de O+RRHH . .	64
Tabla 3.7	Puntuación de los distintos factores para el área de calidad	66
Tabla 3.8	Puntuación de los distintos factores para el área de innovación . . .	68
Tabla 3.9	Puntuación de los distintos factores para el área de PRL	70
Tabla 3.10	Puntuación de los distintos factores para el área de medio ambiente	72
Tabla 3.11	Puntuación de los distintos factores para el parámetro interés . . .	74
Tabla 3.12	Errores relativos derivados de la dotación de continuidad de la escala de medida	78
Tabla 4.1	Resultados del análisis factorial para el área de O+RRHH	84
Tabla 4.2	Resultados del análisis factorial para el área de calidad	85
Tabla 4.3	Resultados del análisis factorial para el área de innovación	86
Tabla 4.4	Resultados del análisis factorial para el área de PRL	87
Tabla 4.5	Resultados del análisis factorial para el área de medio ambiente	88
Tabla 4.6	Indicadores globales de situación resultantes	94
Tabla 4.7	Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (O+RRHH)	95
Tabla 4.8	Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (calidad)	98
Tabla 4.9	Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (innovación)	100

Tabla 4.10	Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (PRL) ...	102
Tabla 4.11	Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (medio ambiente)	104
Tabla 5.1	Ratios de facturación por empleado para las distintas empresas	111
Tabla 5.2	Resultados de eficiencia para el modelo aditivo	120
Tabla 5.3	Valores de las holguras para el modelo aditivo	122
Tabla 5.4	Distribución global de la ineficiencia entre las distintas áreas temáticas	123
Tabla 5.5	Distribución sectorial de la ineficiencia entre las distintas áreas temáticas	124
Tabla 5.6	Resultados de eficiencia para el modelo radial	125
Tabla 5.7	Valores de las holguras para el modelo radial	126
Tabla 6.1	Modelo de cuestionario para auditoría vertical	163
Tabla 6.2	Ejemplo de aplicación del modelo de política de retribución variable	174
Tabla 6.3	Valoración de objetivos. Indicadores cuantitativos	176
Tabla 6.4	Valoración de objetivos. Indicadores cualitativos (medios)	177
Tabla 6.5	Valoración de objetivos. Indicadores cualitativos (resultados)	178
Tabla 6.6	Valoración de objetivos. Ejemplo de ficha de recogida y tratamiento de datos	179
Tabla 6.7	Modelo de ficha de valoración de costes no asegurados por accidente laboral	183
Tabla 6.8	Ejemplo de valoración de costes no asegurados por accidente laboral	184
Tabla 6.9	Evaluación del desempeño. Parámetros de valoración	185
Tabla 7.1	Influencia del capital humano en la creación de valor	189
Tabla A.1	Categorización de los métodos de análisis multivariante	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Gráfico de puntuaciones para el área de O+RRHH	65
Figura 3.2	Gráficos de puntuaciones para el área de calidad	67
Figura 3.3	Gráficos de puntuaciones para el área de innovación	69
Figura 3.4	Gráficos de puntuaciones para el área de PRL	71
Figura 3.5	Gráficos de puntuaciones para el área de medio ambiente	73
Figura 3.6	Gráficos de puntuación para el parámetro interés	75
Figura 5.1	Matriz productividad / eficiencia. Modelo genérico	128
Figura 5.2	Matriz productividad / eficiencia. Sector auxiliar de automoción	129
Figura 5.3	Matriz productividad / eficiencia. Sector auxiliar naval	130
Figura 5.4	Matriz productividad / eficiencia. Sector granito	131
Figura 5.5	Matriz productividad / eficiencia. Sector madera	132
Figura 5.6	Matriz productividad / eficiencia. Sector naval	133
Figura 5.7	Matriz productividad / eficiencia. Sector pizarra	134
Figura 5.8	Matriz productividad / eficiencia. Sector textil	135
Figura 6.1	Ciclo de mejora continua de Deming	139
Figura 6.2	La interacción entre los procesos y los sistemas de gestión ...	141
Figura 6.3	Diagrama de flujo GESPREEN	144
Figura 6.4	Las nueve herramientas básicas en la implantación de la política preventiva	149
Figura 6.5	Hoja de trabajo para la detección de elementos y partes críticos	159
Figura 6.6	Ficha de control de desviaciones	167
Figura 6.7	Escala de actitud PRL	168
Figura 6.8	Estructura organizativa de Mintzberg	169
Figura B.1	Gráfico ilustrativo del concepto de “supereficiencia”	237

PRÓLOGO

Resulta para mí un motivo de enorme satisfacción prologar el texto que, bajo el título **Análisis de eficiencia y diseño de modelos participativos e integrados de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales: una focalización para la PYME española**, hoy ve la luz gracias a la fecunda y reconocida actividad editorial del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en un ámbito tan relevante hoy en día para la gestión moderna de la empresa como es el de la prevención de riesgos laborales.

El texto que hoy nos ocupa presenta como novedad fundamental la conjugación los principios rectores clásicos de la actividad preventiva con técnicas analíticas suficientemente contrastadas en el terreno de la Investigación Operativa, como es el caso del Análisis por Envoltura de Datos (Data Envelopment Analysis), que pueden y deben ayudar a mejorar las capacidades gerenciales de las empresas con sistemas organizativos suficientemente avanzados en el escenario actual de los sistemas integrados de gestión.

Formalmente, el trabajo se compone de siete capítulos más cuatro apéndices complementarios, los cuales desde un punto de vista conceptual pueden agruparse en tres grandes bloques temáticos.

El primero de estos grupos conceptuales corresponde a los capítulos 1, 2 y 3 del texto, y esencialmente tiene por objeto la puesta en escena de los contenidos de aportación que vendrán después, cumpliendo adecuadamente con este cometido.

Así, el capítulo 1 resume de una forma clara y concisa los objetivos del texto que se pueden concretar en ofrecer una aportación de interés práctico y riguroso que, formando parte de la explotación de resultados fruto del desarrollo del proyecto QUALYMAN dentro de la iniciativa europea ADAPT, sirva como soporte instrumental para optimizar la gestión de la prevención de riesgos laborales de las PYME.

Por su parte, el capítulo 2 describe en una primera sección las características y necesidades de la PYME española y de su entorno, para, en una segunda parte,

centrar la cuestión en desarrollar un estado del arte de los principales referentes metodológicos que van a servir de soporte para el desarrollo del sistema de gestión que se va a ofrecer como producto final del trabajo. En todo el capítulo, el estilo seleccionado es concreto y escueto, centrándose únicamente en aquellos elementos que van a tener una vinculación efectiva con las fases posteriores de desarrollo del trabajo. Finalmente, el capítulo 3 está destinado a presentar los resultados del desarrollo del proyecto comunitario “Qualyman”, estableciendo los mismos como fuente de datos para las fases de tratamiento analítico posterior. En este sentido, el principal elemento remarcable es la presentación de los datos en un formato fácilmente comprensible y estructurado al objeto de facilitar su ulterior aplicación. Igualmente reseñable es la argumentación (tanto en su planteamiento como en su justificación) relativa a la decisión de dotar de continuidad a la escala de medida para su utilización en fases posteriores del trabajo.

El segundo de los grandes bloques temáticos, aludidos con anterioridad, constituye el núcleo analítico del trabajo y corresponde a los capítulos 4 y 5 del mismo. En el primero de ellos, se procede a un análisis estadístico de los datos basado en técnicas de análisis multivariante (cuya descripción de forma compacta y rigurosa se realiza en el apéndice A), para, partiendo de los resultados del mismo, y como aportación metodológica novedosa, proponer una heurística de ponderación destinada a la otorgación de un indicador global de situación que refleje de una forma resumida el estado de cada una de las empresas para las distintas áreas funcionales analizadas. Complementariamente, y como elemento de validación de la heurística, se realiza un contraste de los resultados de aplicación de la misma con los valores otorgados por los evaluadores de campo, siendo la técnica elegida para el contraste la de regresión lineal (en todos los casos la validez de la aplicación de la técnica se sustenta sobre los pertinentes tests de linealidad, normalidad y homocedasticidad).

El capítulo 5, por su parte, se destina a la realización de un análisis del rendimiento para cada una de las empresas, en función de los indicadores globales de situación extractados en la fase anterior. La técnica analítica utilizada para ello es la de análisis por envoltura de datos (DEA), cuya descripción de forma adecuada y extensa se desarrolla en el apéndice B. La técnica se aplica en sus variantes aditiva y radial, y tanto la modelización, su ilustración en su caso concreto así como su discusión se realizan de una forma correcta y adecuada. Complementariamente, la segunda parte del capítulo se dedica a la interpretación de los resultados. En este sentido, y como elemento novedoso introducido por el autor, el desarrollo de modelos interpretativos para los resultados es especialmente destacable.

Finalmente, el tercero de los bloques temáticos reseñados corresponde al capítulo 6. El capítulo, de considerable extensión conceptual, tiene por objeto presentar un sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales coherente con los actuales sistemas de gestión integrada cada vez más extendidos en las empresas con capacidad de gestión suficientemente desarrollada. El enfoque propuesto resulta a su vez integral e integrador. Por un lado, se propone el desarrollo de un sistema integral de prevención de riesgos laborales, sustentado sobre el desarrollo de 9 herramientas básicas de gestión, dotándosele a su vez de un carácter integrador en términos de su potencial de aplicabilidad. Como elementos de refuerzo para la implementación del sistema, se proponen diferentes herramientas complementarias de gestión como son el diseño de políticas de retribución variable y la integración del sistema en la estructura organizativa de la empresa. Esta parte, en su conjunto, añade, al componente novedoso propio de un trabajo de estas características, un marcado carácter formativo para el empresariado al cual está dirigido, pudiéndose conceptuar como referente válido para la implantación de sistemas análogos al presentado.

El trabajo se completa con un capítulo de conclusiones en la forma de reflexión final en el que se resalta la elevada importancia de una adecuada gestión del factor humano en el seno de las organizaciones como motor que haga posible el cambio asociado a la implantación de las nuevas tecnologías y herramientas de gestión en la empresa, y que debe tener como resultado final la creación de valor que haga posible un crecimiento sólido de la misma que permita su permanencia estable en los cada vez más competitivos escenarios socio-económicos de los entornos globalizados actuales.

No quisiera finalizar estas líneas sin aprovechar la oportunidad de felicitar al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y al autor por la oportunidad de la presente publicación, la cual debe ser entendida como un elemento de soporte para el fomento de la cada vez más extendida “cultura preventiva”, la cual, sin duda, debe redundar en la por todos tan deseada mejora de las condiciones de trabajo.

Prof. Dr. José María Bueno Lidón

Catedrático del Área de Organización de Empresas
Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas
Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla

1. RESUMEN Y OBJETIVOS

El presente Estudio Técnico ha sido elaborado sobre la base de la Tesis Doctoral del autor (“Diseño de modelos participativos e integrados de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales aplicables a poblaciones reales y representativas del tejido industrial de las PYMEs en España”), dirigida por el Prof. Dr. José María Bueno Lidón y defendida para la colación del grado de Doctor Ingeniero Industrial en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla con fecha 30 de enero de 2002, la cual obtuvo la calificación de Sobresaliente “cum laude” con la consideración de “por unanimidad” por parte del tribunal evaluador.

El mismo tiene por objetivo principal ofrecer una aportación de interés práctico y riguroso que, formando parte de la explotación de resultados fruto del desarrollo del proyecto QUALYMAN dentro de la iniciativa europea ADAPT, sirva como soporte instrumental para optimizar la gestión de la Prevención de Riesgos Laborales de las PYMEs, no solo en Galicia y Lorena, regiones directamente implicadas en el citado proyecto, sino a toda empresa con suficiente capacidad de gestión moderna.

Aun siendo el anterior el objetivo principal del trabajo, ya que va a ser el resultado práctico final que va a producir, complementariamente se van a introducir una serie de elementos de desarrollo como aportación novedosa, entre los que cabe mencionar:

- compendio de las publicaciones más relevantes aparecidas en el momento de elaboración del trabajo de campo (1996-2001) en el terreno del diseño de modelos de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, con el fin de sintetizar las futuras líneas de actuación en el diseño de sistemas de estas características;
- realización de un análisis global y modular de los diferentes subsistemas de la empresa considerados en la muestra que se ha tomado como referencia para el trabajo; dicho análisis permitirá detectar los puntos fuertes y débiles de una

serie de PYMEs prototípicas del tejido industrial español y el establecimiento de interrelaciones entre los distintos subsistemas de los cuales la Prevención de Riesgos Laborales es un elemento indisociable;

- desarrollo y validación de una heurística objetivadora de puntuación que, partiendo de los modelos clásicos de análisis multivariante, suponga un enfoque alternativo a los mismos;
- construcción y aplicación de un modelo de evaluación de la eficiencia relativa de los distintos subsistemas de la empresa sobre la técnica de análisis por envoltura de datos, al objeto de cuantificar el grado de desarrollo de los mismos y sus fuentes de ineficiencia.

El referente de partida es la diagnosis de gestión obtenida bajo un criterio globalizador e integral de la actividad industrial, aplicada sobre una muestra de 36 empresas de siete sectores industriales en Galicia (Componentes de Automoción, Construcción Naval, Textil, Extracción y Transformación de Madera, Extracción y Transformación de Granito, Extracción y Transformación de Pizarra y Sector Auxiliar de la Construcción Naval) con un volumen de facturación referencia año 1996 de 80.000 millones de pesetas y que ocupan directamente a un colectivo de 5000 personas e inducen empleo para un colectivo de unas 16.000 personas. Dichos sectores están calificados como de potencial positivo y de desarrollo sostenido, y el trabajo que ahora se propone se desarrolla metodológicamente en tres fases.

En una primera fase se procede a realizar una introducción a las características definitorias del escenario socioeconómico actual y del de las PYMEs en particular, al objeto de establecer una serie de solicitudes básicas a las que habrán de responder las herramientas de gestión que se desarrollen. Complementariamente se focaliza la cuestión para el campo de la Prevención de Riesgos Laborales, enumerando las características básicas de las metodologías clásicas de diseño de sistemas de gestión de esta actividad y sus principales ventajas e inconvenientes. Con ello, se pretende por un lado contextualizar el objeto del estudio en el marco gerencial general del cual como ya se ha indicado es indisociable, y, por otro, presentar los principios básicos que deben regir el diseño de las herramientas de gestión que se instrumenten al objeto de dotarlas de una real y fundamentada operatividad.

En una segunda fase se realiza un análisis de la situación real objetivada para la muestra de referencia, en la que no solo se procede a ejecutar un estudio de situación

de carácter econométrico y estadístico multivariable, mediante el desarrollo de una heurística de ponderación sobre indicadores de gestión seleccionados, sino que además y desde la óptica de poder ofrecer una aportación instrumental de verdadero aprovechamiento real, se procede a analizar el perfil sociológico y nivel de formación tanto del empresariado de los sectores y empresas analizadas, como de los cuadros directivos y cadena de mandos de las empresas y sectores estudiados, con el fin de poder diseñar herramientas de gestión que les sean comprensibles y amigables, para que de esta manera puedan utilizarlas como soporte en la mejora de la capacidad directiva y por ende de gestión, en el escenario socioeconómico del siglo XXI, en cuyo inicio nos encontramos. Igualmente, en esta segunda fase, se procede tanto con carácter personalizado, es decir, empresa a empresa, como sectorial y global, a la evaluación del rendimiento mediante la técnica de “Data Envelopment Analysis” (de aquí en adelante DEA) al objeto de localizar las fuentes de ineficiencia y poder subsanar las carencias detectadas a la hora de desarrollar las herramientas de gestión.

En una tercera fase se diseñan las herramientas y estrategias de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales asociadas a los subsistemas que, bajo el acrónimo GEMA (Gente, Equipos, Materiales y Medio Ambiente), comportan el núcleo de la gestión empresarial, y que permitan, bajo la visión participativa e integradora enunciadas, una mejora de la gestión y consecuentemente un apoyo para el mejor desarrollo de la actividad industrial a medio-largo plazo; es decir, realizar una planificación estratégica y una gestión —fruto de una aplicación instrumental rigurosa—, pero presentada de manera asequible y práctica, ya que durante el desarrollo de QUALYMAN se ha constatado que la mejor forma de potenciar el desarrollo de los Recursos Humanos de estas empresas (y de esta forma aumentar su nivel de competitividad) es la de ofrecerles herramientas que asuman como verdaderamente prácticas y útiles para su gestión, cuestión de verdadero interés general teniendo en cuenta que la muestra utilizada es muy representativa de la realidad industrial mayoritaria tanto en nuestro país como en los de nuestro entorno económico y social.

En síntesis y como hilo conductor para el mejor seguimiento del desarrollo del estudio, diremos que éste se estructura en tres fases interrelacionadas entre sí:

- En la primera fase, se procede a la obtención de información acerca de la gestión en las PYMEs, eligiendo para ello los resultados de la fase de diagnóstico del proyecto europeo QUALYMAN, desarrollada sobre los subsistemas empresariales considerados en dicho proyecto como estratégicos para una adecuada gestión de la empresa: Organización y Recursos Humanos, Calidad, Innovación Tecnológica y de la Información y Comunicación, Prevención de Riesgos

Laborales y Gestión Medioambiental. Igualmente se realiza, en esta primera parte, una revisión acerca del estado del arte, y tendencias de futuro, como punto de partida para el ulterior enfoque del trabajo.

- En una segunda fase, se procede al tratamiento matemático de la información obtenida en el diagnóstico efectuado por QUALYMAN sobre los subsistemas gerenciales enunciados en el párrafo anterior, y a la proposición de actuaciones basadas en las conclusiones extraídas de las técnicas analíticas que se formulan y desarrollan a tal fin en el presente trabajo.
- Finalmente en una tercera fase, y como fruto de las conclusiones obtenidas en la fase anterior, se procede al diseño de GESPREEN: sistema integrado de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, aplicable a las PYMEs en nuestro país.

2. INTRODUCCIÓN. ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo tiene por objeto en su primera parte, introducir los principios básicos que de un modo genérico determinan las solicitudes a las que debe responder la empresa en el entorno socioeconómico actual. Seguidamente, se focaliza la cuestión describiendo el estado evolutivo de los modelos gerenciales de la PYME española y sus principales carencias. En este capítulo el enfoque de los puntos 2.1 y 2.2 es eminentemente divulgativo, siendo su única pretensión la de elemento introductorio a partir del cual articular un estado del arte particularizado para el objetivo principal del estudio que es el desarrollo de modelos gerenciales de la Prevención de Riesgos Laborales (de aquí en adelante PRL) adaptados al perfil de necesidades de las PYMEs en España.

Tras este bloque introductorio, en el punto 2.3, se aborda la cuestión de la presentación del estado del arte en el diseño de modelos gerenciales de la PRL para pequeñas y medianas empresas. La opción seleccionada pasa por la presentación de las soluciones aportadas por las principales organizaciones preventivas en el entorno occidental, destacando sus principales ventajas e inconvenientes y realizando un análisis comparativo de las mismas.

Complementariamente, se presenta una recopilación bibliográfica de publicaciones relacionadas con el objeto de estudio aparecidas en las principales revistas especializadas durante el periodo de realización del trabajo de campo (1996-2001). A partir de aquí se esbozarán las líneas de referencia que pueden marcar el desarrollo de modelos análogos al introducido en el presente trabajo, las cuales serán tenidas en consideración en la concepción y diseño del mismo.

2.1 El escenario socioeconómico actual: respuestas necesarias

Hoy en día se acepta que el mayor reto con que se encuentra la empresa no es la puesta en operación de los sistemas productivos dotados de alta tecnología y sí los

cambios organizativos que hagan que puedan ser operados con eficacia, y para ello un acertado tratamiento de los recursos humanos resulta imprescindible.

Factores como motivación, integración y capacitación son claves para poder acometer los cambios organizativos y de cultura que resultan imprescindibles para poder competir en un mercado de economía abierta.

Las estructuras fuertemente jerarquizadas y piramidales, que hasta no hace muchas décadas se ponían como ejemplo de organizaciones eficaces, son reliquias del pasado. Nos encontramos en un mundo en continua evolución. Lo que hace unas décadas era al menos cuestión de horas (por ejemplo, la difusión de una noticia), hoy en día lo es cuando mucho de unos minutos. Este avance en las comunicaciones es extrapolable a todas las ramas de la actividad humana. Un modelo, un sistema, considerado indiscutible puede ser puesto en cuestión en cualquier momento.

Para poder responder con eficacia a las condiciones impuestas por este nuevo escenario en continua evolución, aparece como la cuarta dimensión de la competitividad el *factor tiempo*; se trata a fin de cuentas de competir contra el tiempo para disponer de esta manera de una nueva fuente de ventaja competitiva (Stalk y Hout, 1991).

Los planteamientos sintéticamente expresados, conforman el actual escenario del mundo de los negocios y en consecuencia las organizaciones industriales deben diseñarse para poder responder a estas solicitudes.

Aquel viejo principio en virtud del cual yo diseño un sistema productivo y a posteriori lo doto de un sistema organizativo acorde con él, carece de sentido. Se trata de *impregnar a las organizaciones de un estilo basado en unos nuevos valores que hagan posible un cambio real*. Si hubiera que optar entre organización y *cultura de empresa*, podría opinarse sin temor a equivocarnos que, asumida e implantada esta última por la organización, la mayoría de los problemas de esta área estarían resueltos.

El profundo cambio social, probablemente el hecho más relevante desde la revolución industrial del siglo XIX y primeras décadas del XX, que ha transformado las estructuras políticas y económicas en el siglo XXI, tiene una traslación práctica de indudable transcendencia en el mundo de las organizaciones industriales. Frente a cantidad, calidad entendiendo esta como *aptitud o adecuación al uso*. En este sentido, un producto o servicio es de calidad cuando satisface las necesidades

del cliente o usuario en cuanto a: Seguridad, Fiabilidad y Servicio, no debiendo confundirse con lujo, complicación, tamaño, excelencia, etc. (Pola, 1988).

Si calidad es sinónimo según Peter Drucker de lo que *“el cliente está dispuesto a pagar en función de lo que obtiene y valora”*, sin duda nos encontramos ante un hecho diferencial respecto al antiguo lema de Henry Ford, el más fiel representante de la economía de escala, *“todos los americanos podrán disponer de un Ford siempre que este sea negro y modelo T”*. Las necesidades del cliente y lo que el cliente valora nos llevan a pensar que nuestro modelo de diseño de los sistemas productivos y su organización deben responder a criterios bien distintos a los propugnados por el mencionado H. Ford. De alguna manera habrá que acudir a un concepto que sintetice lo anterior y este podría ser *“la excelencia del producto o servicio”*.

Partiendo de los condicionamientos anteriores es evidente que, frente a la rigidez del modelo único, se impone la flexibilidad que permita al cliente elegir lo que mejor se adapte a sus necesidades. De alguna manera se trata de anteponer a la economía de escala los criterios que respondan a los gustos del cliente y hay que tener muy en cuenta que estos cambian con cierta rapidez. Ya no sirve el “Ford negro”, habrá que diseñar y organizar nuestros sistemas productivos de manera que, ante una gama de opciones, el cliente pueda elegir. Esto se traduce en que frente a los clásicos sistemas rígidos de fabricación deben implementarse *“Sistemas de Fabricación Flexible”*.

Alrededor de esta idea que conlleva la creación y potenciación de **“Sistemas participativos de gestión en escenarios de calidad total”** se articula hoy una gestión empresarial eficiente y eficaz, siendo sus principios orientadores los que se sintetizan a continuación:

1. Frente al análisis del trabajo que propugnaba su división por fases, la nueva concepción es integradora de manera que, tanto la multifunción en su desempeño, como el trabajo en equipo constituyen aspectos clave de su arquitectura.
2. Por otra parte el cliente aparece como centro de gravedad del sistema de forma que sólo tiene sentido aquello que es competitivo, entendido este concepto como la cualidad de un producto o servicio de satisfacer las necesidades y preferencias del cliente.
3. La arquitectura de la gestión empresarial se sustenta pues sobre lo que algunos autores han venido en denominar “las cuatro patas de la silla”: producción, costes, márketing y calidad total. Si alguna de estas patas o pilares falla, la silla, es decir, el producto o servicio no se sustentará y desaparecerá del mercado.

4. En este nuevo contexto se presta especial atención al papel que una motivadora y acertada gestión de los recursos humanos juega en la generación de recursos y consiguiente incremento de competitividad.
5. Se considera primordial el principio de que si bien las nuevas tecnologías aparecen como fundamentales, desde la óptica de aprovechar los avances en el terreno de las comunicaciones y la informática para implementar sistemas cuya principal característica es la flexibilidad (entendida como capacidad de comandar el sistema introduciendo en el mismo cambios en un muy breve plazo de tiempo), y que si bien tecnologías como la Ingeniería Asistida por Computador (CAE), el Diseño Asistido por Computador (CAD), la Fabricación Asistida por Computador (CAM) y la Fabricación Integrada por Computador (CIM) aparecen como las respuestas tecnológicas al reto de la competitividad, debe entenderse que el disponer de estas herramientas es condición necesaria pero no lo es suficiente. Esta estrategia de innovación necesita una gestión permanente de la innovación, en vez de una base creativa “a golpes”, y esto exige desarrollar un mecanismo de generación, filtro, evaluación, lanzamiento y seguimiento de un flujo continuo y programado de innovaciones (Ruiz y Mandado, 1988).
6. Asimismo se admite el principio de que en no pocas ocasiones fracasan proyectos empresariales por la exclusiva obsesión de que las nuevas tecnologías son el “bálsamo” que cura todas las enfermedades en las empresas. Nada más lejos de la realidad, solo desde la preparación de todos los recursos para poder competir en un mercado en continua evolución pueden sentarse bases sólidas de permanencia en el mismo.

Podría sintetizarse lo expuesto diciendo que mientras que la clásica economía de escala se sustenta sobre los principios de la cantidad y de la división del trabajo, los modelos organizativos que responden a la fabricación flexible lo hacen en los de la competitividad y la integración como factores clave del éxito.

En este escenario, como ya se ha indicado, el tiempo aparece como la cuarta dimensión de la competitividad, y establecer a la vista de lo anterior los modelos organizativos y de gestión, capaces de impulsar cambios innovadores generadores de resultados, es la base de la estrategia empresarial a diseñar e implementar hoy día.

El conocimiento y la inteligencia han sustituido en los modernos sistemas productivos a la fuerza física, por lo que resulta evidente que a estos nuevos operarios a los que no hay que decirles cómo deben ejecutar su trabajo, no le son de aplicación principios tales como “el poder de la organización nace de arriba hacia

abajo”, “tú ejecuta tu trabajo que los demás lo diseñaran y planificarán “, “la toma de decisiones es exclusiva de la cúpula empresarial”, etc. La ineficacia, traducida en pérdida de competitividad, de estos viejos principios sobre los que se han venido sustentando las organizaciones empresariales de carácter fuertemente jerarquizado (y por consiguiente piramidales y por supuesto no participativas en lo sustancial) ha sido reiteradamente sancionada por la experiencia.

Hace pocos años la prensa especializada publicó un diálogo entre Agnelli, el patrón de Fiat, y el Presidente de Toyota. Agnelli se quejaba de que el operario europeo, y en general de cultura occidental, nunca podría compararse con el japonés, “se trata de un problema de cultura, incluso de religión”, argumentaba. En aquella época Fiat estaba consiguiendo sus mejores resultados y sus organizaciones resultaban eficientes por lo que el Presidente de la Toyota con una sonrisa socarrosa no se creyó la argumentación del viejo patrón (Palom, 1991). Este breve resumen del diálogo nos lleva a la consideración de que, si bien existen características y factores diferenciales entre las empresas japonesas y occidentales, la eficiencia es alcanzable según diferentes planteamientos.

El principio de la jerarquía debe situarse en su justo término y “*la participación motivada*” debe ser el referente en los modelos organizativos y en el estilo de gestión.

El reto occidental al estilo japonés lo constituye la filosofía que se viene denominando como “*Filosofía Z, o Empresas Z*”. Los principios en los que se inspiran estas organizaciones, de las que existen múltiples ejemplos en el área occidental tanto en el continente americano como en el europeo (IBM, EASTMAN-KODAK, PROCTER AND GAMBLE, HEWLETT PACKARD, etc.), emanan de la definición de la teoría: “Cuando el factor trabajo, ya sea trabajo intelectual, directivo o del tipo que sea, se involucra libre y decididamente en la organización, los resultados de la empresa cambian”.

Deberá remarcarse que no se pretende anular el talento de la Dirección, sino cambiar la forma de hacer las cosas y crear una cultura empresarial que va asociada a un cambio organizativo basado en el “deslizamiento del poder y en la participación motivada a todos los niveles de la organización.”

La filosofía que impregna a las organizaciones “Z” coincide en lo sustancial con lo reflejado en relación con el estilo de dirección japonés y que podría sintetizarse así:

- Confianza. Es un valor fundamental y debe circular de arriba abajo y de abajo arriba. Debe basarse en un clima moral donde la justicia sea su base principal.

- Equidad. Cada trabajador debe sentir que este principio se practica en “su empresa” como una norma habitual de conducta en la que la justicia aparece suavizada y adecuada a la realidad viva y actual.
- Clima de trabajo comunitario. La pertenencia al grupo propugnada por los psicólogos es una condición básica para que un trabajador adquiera una sensación motivadora perdurable.
- Lealtad. Entendida como un valor que debe circular en ambas direcciones: la empresa debe lealtad a sus empleados y a sus intereses, de igual manera que estos a aquella.
- Humildad. El reconocimiento de las propias limitaciones y capacidades es algo positivo y constructivo en las organizaciones. No se adquiere de hoy para mañana pero es un objetivo a conseguir y que debe formar parte de la cultura organizativa de los sistemas productivos que quieran ser competitivos.

Es primordial elaborar y desarrollar un programa de formación basado en las características de las empresas “Z”, las cuales se pueden resumir en los siguientes términos (Ouchi, 1982):

- Formación de todos sus empleados, desde arriba abajo y viceversa.
- Diseño de un plan de capacitación constante e integral.
- Política de disminución de rotación del personal.
- Adopción de un proceso más lento para la evaluación y promoción del personal.
- Resaltar la necesidad de que los objetivos y las políticas que ha definido la empresa, en su aplicación de la Filosofía “Z”, han de ser totalmente congruentes.

El estilo de gestión japonés se nutrió de las fuentes occidentales y más concretamente norteamericanas, y su rasgo fundamental respecto al occidental es que se aplica practicando los principios anteriores que van más allá de las más modernas técnicas gerenciales, a las que confieren fuerza e inspiración: lealtad, sutileza, espíritu de grupo, participación, confianza. En definitiva toda una cultura organizativa puesta al servicio de la empresa para hacer de ésta algo más que un lugar donde debo hacer lo que me indican. En las empresas “Z” la participación motivada hace que el operario sepa y pueda poner en práctica sus ideas y hacer participe de ellas a su grupo y a la dirección en la confianza de que serán tenidas en

cuenta para extraer de ellas lo que sea útil para el mejor desarrollo de la actividad empresarial.

La teoría Z requiere un tiempo de conocimiento y reflexión. Debe luego aceptarse o rechazarse y si se opta por su aceptación las organizaciones deben prepararse para poder implementarla con éxito, y en ello se juegan mucho. Un fracaso restaría credibilidad difícil de recuperar más tarde y podría poner en peligro la competitividad de la empresa.

Si hemos enunciado cuales son los pilares del sistema, debemos concluir que si se desea obtener:

- Participación motivada,
- Deslizamiento del poder,
- Creación de grupos autónomos,
- Nuevo enfoque en la toma de decisiones,

deben planificarse secuencialmente una serie de etapas para su implementación. Este será uno de los principios básicos de referencia en el diseño de las herramientas básicas de gestión que se desarrollen en el presente trabajo.

2.2 Necesidades gerenciales en las PYMEs: sus características

La PYME española, en un escenario de economía globalizada como el actual, necesita una urgente adecuación de sus sistemas de gestión como principal motor de su competitividad. El empresariado en estos casos presenta un perfil de formación práctica adquirida a lo largo de muchos años de trabajo en sus respectivos sectores de actividad. En general es buen conocedor de los medios de producción que debe poner en juego y también de los mercados, pero su formación es muy deficiente en lo que hoy se conoce como la tecnología punta del mando: las modernas técnicas gerenciales.

Este perfil, que no se diferencia esencialmente del que podemos encontrar en otros países para esta tipología y dimensión de empresa, presenta carencias en el conocimiento y utilización de herramientas profesionales de gestión que puedan ofrecerle una ventaja competitiva, en el cada vez más internacionalizado y abierto mercado definido en el actual escenario socioeconómico.

Es objetivo básico de este trabajo el coadyuvar a cambiar la mentalidad de los directivos de las PYMEs y hacerles jugar en este escenario venciendo las resistencias

naturales, ya que un cambio de “status” y dinámica siempre resulta complicado. Una vez que se ha conseguido que el directivo piense de manera continua en que todas sus decisiones: innovación, estudios de mercado, fabricación, calidad, etc., deben producirse antes y mejor que lo haga la competencia, se acepta el reto y los resultados se miden en “función del tiempo” más que utilizando los parámetros clásicos, ya que el directivo sabe que su estrategia dará el resto por añadidura.

La gestión moderna en la PYME implica en primer lugar preparar a la dirección para que esté convencida de sus necesidades y ventajas y que el nuevo estilo de gestión pasa por el diseño y posterior puesta en operación de sistemas organizativos bien distintos a los tradicionales y en este sentido deben plantearse al equipo directivo, entre otras, las siguientes cuestiones:

- 1) En la actual situación de la empresa ¿es posible sustituir los esquemas organizativos tradicionales y adoptar otros donde se sustituye la acumulación del poder en la cúpula por un deslizamiento hacia los distintos niveles que sea capaz de conseguir la participación motivada a todos los niveles de la empresa?

Si la decisión es seguir adelante debe tenerse en cuenta que frente a las estructuras clásicas “verticales”, donde los mandos intermedios actúan de “mandos sargentos” transmisores de órdenes y vigilantes del trabajo de los demás, deberán adoptarse estructuras “horizontales” en las que sólo serán útiles a la organización aquellos mandos capaces de tomar decisiones y de generar resultados. Es lo que se conoce como mandos “entrepreneurs”.

Esto implica que para que sea posible de los mandos conseguir lo anterior deberán ser formados para que sean capaces de asimilar y poner en juego las herramientas que hagan posible que estos mandos dispongan continuamente de la información necesaria para poder tomar las decisiones. Es desde la puesta en juego de la información que pueden ofrecer las modernas técnicas de gestión, soportados por los avances conseguidos en la informática y las comunicaciones, desde donde se puede hacer realidad una toma de decisiones basada en una participación y responsabilidad fundadas, y esto último a su vez sólo será posible si se consigue “impregnar” a toda la organización del nuevo enfoque y estilo de gestión y hoy por hoy la herramienta que se ha considerado más eficaz es la creación de “grupos autónomos”, “grupos de mejora continua” o “círculos de calidad”, conceptos equiparables y utilizados habitualmente con el mismo significado.

Es necesario reseñar sin embargo que esta forma de gestión es y ha sido frecuentemente cuestionada desde ciertas posiciones, aunque bien es verdad que

desde enfoques no siempre objetivos por falta de conocimiento de lo más profundo de las organizaciones y de su principal riqueza: sus recursos humanos.

- 2) ¿La dirección tiene clara cuál debe ser su política de recursos humanos y la forma de llevarla a la práctica?

Deberá elaborarse un programa cuyo fin sea preparar a los cuadros de mandos y operarios para abordar la creación y desarrollo de los grupos autónomos o círculos de calidad.

Los efectos “rebote” son la razón de su fracaso en muchas ocasiones y sus destructores quizás no hayan reflexionado adecuadamente respecto a lo que significa el estilo y las maneras que deben orientar una moderna y eficaz gestión. En una publicación del IESE (IESE. División de investigación, 1987) titulada “Los círculos de calidad: ¿Panacea o caja de Pandora?”, puede leerse que *“el distanciamiento tanto físico como intelectual de la alta dirección y la base de la empresa, la impaciencia por conseguir resultados, y falta de formación, falta de confianza en la dirección, falta de integración con la estrategia de la empresa”*, son las causas más significativas del fracaso de esta “tecnología”.

Probablemente las organizaciones donde se registraron estos fracasos no conocían a fondo la filosofía “Z” y sustituyeron el principio de la voluntariedad en la participación por algo impuesto, lo cual choca frontalmente con los objetivos a conseguir.

Admitiendo la complejidad que supone la implementación de un sistema que rompe con los viejos moldes, no cabe duda que los círculos de calidad son hoy un instrumento más de apoyo a la gestión, y que la bondad de sus resultados dependerá de cómo los utilicemos. Podría añadirse que hoy por hoy la filosofía que impregna la teoría “Z” es la mejor respuesta a la pregunta: “Los círculos de calidad ¿es exportable esta metodología japonesa?”. Si los principios son bien conocidos sólo debe justificarse su fracaso en el hecho de que los directivos de muchas empresas parecen reacios a emprender el esfuerzo y asumir los riesgos que requiere aplicar técnicas bien conocidas (Ishikawa, 1963).

Es desde el compromiso del directivo impulsor de la innovación desde donde puede abordarse lo que algunos autores denominan visión *holista* de los sistemas productivos en los que *“la empresa y los elementos del entorno componen un único sistema interrelacionado”* (Davis, 1988) y esto comporta que la empresa deba hallarse en continua innovación ante los cambios no siempre previsibles del

entorno. Si empresa y entorno constituyen un sistema interrelacionado, solo desde una visión global podrá darse respuesta a las solicitudes que se nos plantean. Al hablar de entorno siempre pensamos en el “exterior” y pocas veces en el “interior”.

La visión ofrecida sobre el nuevo enfoque en la organización y gestión de los sistemas productivos adquiere su plasmación práctica en el concepto de *calidad total*. Hoy día no se trata sólo de producir mucho, principio “sagrado” en épocas anteriores, sino de producir de manera competitiva y esto solo es posible desde un enfoque como el enunciado y que comporta la buena gestión de *todos los recursos* y para ello es necesario gestionar bajo sistemas de *calidad total*. Esto significa la aplicación del viejo principio de que “la caridad bien entendida comienza por uno mismo”, es decir, mi “primer cliente soy yo mismo”, si no se consigue que la calidad comience por nuestros “*clientes internos*”, difícilmente podremos hablar de la calidad de nuestros productos y servicios.

Es pues desde la participación motivada a través del buen funcionamiento de los grupos autónomos o círculos de calidad y de la asunción como principio del “*auto-control*” como podremos establecer la cadena -*Suministrador-Yo-Cliente*- en el interior de la empresa que sustituya a las tradicionales inspecciones en masa, fuente de despilfarro en organizaciones que han desaparecido del mercado frecuentemente. Se trata de “prevenir antes de curar” y mis sistemas organizativos y de gestión deben asegurar lo anterior. Mi departamento debe recibir productos de calidad del proceso anterior y yo debo suministrarlos en condiciones óptimas al siguiente.

Establecida esta cadena, la empresa se encuentra en la vía de ofrecer productos y servicios de calidad a nuestros clientes externos e incluso de llegar a lo que se conoce como “*excelencia del producto*”, obligándome más allá de donde la legislación me obligaría.

El lema “*si no le gusta le devolvemos su dinero*”, se ha convertido en la plasmación práctica de esta filosofía en las organizaciones eficientes.

Pero calidad total también es innovación continua y anticipación en los mercados y una vez más para conseguir lo anterior el hombre, el ser humano, en la empresa aparece como centro de gravedad, de ahí que los principios ya enunciados y que deben regir la gestión de los recursos humanos resulten trascendentes, es más, dicha gestión constituye el factor clave del éxito empresarial.

Calidad Total, Condiciones de Trabajo y Productividad constituyen los pilares que, soportados por el factor humano, hacen posible que las empresas crezcan de

manera sostenida y perduren en el tiempo. Las condiciones de trabajo no deben solo entenderse como las referidas a los aspectos salariales, sino también a aquellas que van ligadas a los aspectos de seguridad y salud. En ninguna organización moderna y eficaz se carece de una política decidida en esta cuestión como parte integrante de la calidad total.

Si el número de círculos de calidad es cada día creciente en todo el mundo, no es menos cierto que cada vez más entre la temática que abordan está la relacionada con las condiciones de trabajo, no con carácter reivindicativo, sino bajo el principio de concebir el trabajo de manera más sana y segura y arbitrando soluciones para conseguirlo.

Antonio Albesa y Antonio Montoliú en su publicación *“Seguridad e Higiene y Calidad Total”* ofrecen una excelente visión de como se imbrican, se integran, las políticas preventivas en la calidad total: *“en las acciones que se emprendan en relación con el factor humano debemos prever unas inyecciones periódicas de refuerzo o estímulo a la ilusión pretendida. La dirección de la empresa deberá establecer un mecanismo de detección de la situación de ilusión colectiva en el proyecto y establecer los mecanismos moderadores tanto de la excesiva euforia como del decaimiento del interés. Este aspecto es muy importante porque está demostrado que después del esfuerzo inicial de los líderes o animadores de grupo, si estos decaen, toda su labor por bien hecha y estimulante que haya sido, decae, y a veces este decaimiento genera un efecto de frustración que puede hacer retroceder no sólo la cota de calidad alcanzada, sino incluso la cota inicial”* (Albesa y Montoliú, 1992).

Este principio que se puede resumir en la máxima *“nadie es imprescindible, todos somos necesarios”* no basta por consiguiente expresarlo, sino ponerlo en práctica, y la dirección debe entender que ello solo es posible con su decidido y sostenido apoyo y con un sistema organizativo ágil y eficaz que lo haga posible. El plan estratégico en el nuevo escenario económico y social en el ya siglo veintiuno, une junto a las variables clásicas de Producción, Márketing, Finanzas y Calidad, otras que son determinantes en la organización de los sistemas y estas son:

- El Tiempo
- Las Nuevas Tecnologías
- La función Recursos Humanos

Las ventajas competitivas que se derivan del factor tiempo hacen de éste, como ya se ha mencionado, que hoy en día sea considerado como la *cuarta dimensión*

de la competitividad. Se trata de ganar y conservar mercados luchando contra el tiempo y a ello se debe el éxito de empresas de muy diversas ramas de actividad desde Benetton, por ejemplo, a lo que se ha dado en llamar “el milagro del acero japonés”. La primera se ha convertido en una de las cadenas líderes en las prendas para el público joven y la siderurgia japonesa ha sufrido con mucha menor intensidad la crisis del sector.

¿Cuáles son sus secretos? Si nos centramos en los aspectos organizativos deberíamos contestar a la pregunta ¿qué distingue a una organización que compite basándose en el factor tiempo de una tradicional? Básicamente en que se ha planteado dos cuestiones fundamentales: ¿qué desean mis clientes?, ¿qué organización y qué proceso de trabajo satisfarán más efectivamente estos deseos? Una empresa sólo llega a competir basándose en el factor tiempo, si logra una comprensión notable de lo que los clientes valoran y construyen la empresa sobre esta base.

Las empresas tradicionales mejoran función por función, el trabajo lo hacen por partidas, reducen los embotellamientos para agilizar el trabajo e invierten para reducir costes. Una empresa que considera el tiempo como variable estratégica, se centra sobre todo en el sistema y en la secuencia principal, genera un flujo continuo de trabajo, practica los cambios aguas arriba para reducir los síntomas en las fases terminales e invierte para reducir tiempo. Por otra parte, crea *cadenas de suministros* con sus proveedores de manera que sincronizan sus producciones y hacen que los tiempos de ciclo se reduzcan sustancialmente. Se trata de dotar a la dirección de una visión globalizadora que va mucho más allá de lo que es su organización interna y en este sentido la cadena de suministro enunciada es una prueba de la necesidad de establecer relaciones a largo plazo y estables con los suministradores de manera que los métodos y organización de trabajo de estos se incardinan con los nuestros y el resultado sea el apetecido.

Para que lo anterior sea posible es necesaria la puesta en juego de las nuevas tecnologías. En muchos cursos y seminarios se destacan las excelencias de sistemas de gestión de la producción como el “Just in Time”, MRP II, etc. invocando su simplicidad. A primera vista parece que se trata de algo simple y casi evidente. Nada más lejos de la realidad. Detrás de estas técnicas de organización y gestión existen complejos sistemas operativos y organizaciones milimétricamente establecidas que hacen que lo complejo parezca como algo simple y en esto reside el secreto de las organizaciones eficientes. Esto debe ser claramente asimilado no solo por la dirección de las empresas sino a todos los niveles, ya que la participación motivada conlleva también disciplina en la aplicación de las tecnologías de gestión disponibles para que estas resulten eficaces.

Debe destacarse una vez más que al hablar de nuevas tecnologías se está incluyendo la que en este trabajo se va a considerar clave, *“una inteligente gestión de los recursos humanos”*. De esta manera empresas como Ford, Honda, Deere, Toyota, Mitsubishi, Hewlett Packard, Du Pont, por citar sólo unas pocas y de distinta procedencia, son líderes en el mercado mundial en sus respectivos sectores de actividad. Deberemos afirmar por consiguiente que, si bien las técnicas CIM de fabricación integrada por computador constituyen una herramienta de extraordinario valor, no resulta menos cierto que el fracaso que se ha registrado a veces en su implantación se debe, según estudios realizados, en un 80%, al rechazo de las mismas por el personal que debía utilizarlos, y que dicho rechazo ha sido el fruto de una incompetente política de gestión de los recursos humanos.

El desarrollo del presente trabajo, bajo los principios enunciados, pretende ser una contribución a la gestión empresarial bajo un enfoque integral de su actividad y su soporte, que se detalla en el siguiente apartado, se fundamenta en el privilegiado conocimiento de la realidad de las PYMEs, obtenido merced al desarrollo del proyecto “QUALYMAN” en el marco de la iniciativa europea ADAPT, cuya excelente base de datos es punto de partida para la elaboración del estudio.

2.3 Sistemas de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales: estado del arte y tendencias de futuro

Como ya se ha indicado en el capítulo 1 “Resumen y objetivos”, el subsistema gerencial seleccionado para el desarrollo específico de herramientas de gestión es el relativo a la Prevención de Riesgos Laborales. Aparte de su importante valor estratégico, el cual se argumentará en capítulos posteriores del presente trabajo, este subsistema presenta unas características específicas que determinan el elevado interés de su desarrollo particularizado, entre las que cabe citar:

- El sistema de Prevención de Riesgos Laborales es el único sistema gerencial de implantación preceptiva en el marco jurídico español.
- Una adecuada y eficaz política de PRL puede arrastrar la implantación en las empresas de otros sistemas de gestión e introducir innovación y progreso tecnológico. A este respecto baste considerar, a modo de ejemplo, las evidentes concomitancias entre los cumplimientos relativos a la PRL y diversos puntos (4.1,c; 5.1; 5.3; 5.4.2; 5.6.3; 6.6.2; 6.3; 6.4; 7.1) de la nueva norma de gestión de sistemas de la calidad ISO 9001: 2000 (Sanz, 2000).
- El sistema de gestión de la PRL entronca directamente entre otros con los de calidad y medio ambiente, y ello puede reportarle ventajas y sinergias deseables.

Independientemente del desarrollo normativo (el cual encuentra sus primeros referentes institucionalizados en 1919 con la creación de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) evolucionando hasta el actual marco supranacional derivado del Acta Única Europea, aprobada el 17 de febrero de 1986, en el cual nos vemos inmersos), el siglo XX ha sido testigo de una tremenda evolución en los conceptos relativos a la organización y gestión de la prevención de riesgos laborales.

La evolución tendente a la integración de la seguridad como un sistema gerencial profesionalizado experimentó muchos avances significativos en los años de mediados del siglo pasado (1940, 1950 y 1960). De una forma lenta pero progresiva, se comenzó a ampliar la imagen mental de la “seguridad” y la mejor manera de garantizarla. Los libros y los artículos de las revistas comenzaron a enfatizar la *gestión de la seguridad*, el enfoque de *sistemas* para la prevención y control de los accidentes y la *profesionalización* de la gestión. Publicaciones que suponen un hito de inexcusable referencia en esta época son las que a continuación se indican:

- 1943. Blake, Ronald, “Seguridad Industrial”, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- 1958. De Reamer, R., “Prácticas modernas de seguridad”, John Wiley and Sons Inc., N.Y.
- 1961 Bird., Frank E. jr., “Control de daños. Un nuevo horizonte en la prevención de accidentes”. National Safety News, octubre.
- 1963. Simmonds, R.H. y Grimaldi, J.V., “Administración de la seguridad”. Richard D. Irwin Inc., Homewood, Illinois.
- 1965. Pope, W.C. y Creswell, T.J., “Un nuevo enfoque para la administración de programas de seguridad”, ASSE Journal, febrero.
- 1966. Bird, Frank E. jr. y Germain, George L., “Control de daños”, American Management Association, Inc.

Especialmente reseñable es la última referencia. En ella se recoge el programa iniciado por la Lukens Steel Company una década antes y que marcó rumbos en términos de eficiencia y éxito en la implantación de este tipo de programas de una forma hasta entonces desconocida. El enfoque planteado por Bird es totalmente revolucionario, poniendo su énfasis en todos los accidentes y no sólo en aquellos que dan como resultado una lesión. Describe un programa práctico de acciones y costos, desarrollado por la Lukens Steel Company para reducir las lesiones potenciales, mejorar la calidad del producto y elevar la motivación de los trabajadores.

A partir de este punto y en décadas posteriores, se produce la que se podría llamar “internacionalización” en la evolución de la gestión de la PRL (creación del NIOSH (National Institute for Safety and Health) en EE.UU. en 1970, creación del I.N.S.H.T. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) en España, en 1973, etc.).

Es una época caracterizada por la profusión de publicaciones especializadas en las distintas especialidades de la actividad preventiva, con la aplicación de modelos y herramientas en algunos casos altamente sofisticadas (método HAZOP, árboles de sucesos, etc.). No obstante, para el punto específico que nos atañe en el presente trabajo, dos son las publicaciones de obligada referencia por lo innovador de sus planteamientos y el pragmatismo de las herramientas desarrolladas:

1973. Fine, W.T., “Mathematical Evaluations for Controlling Hazards” en “Selected Readings in Safety”, Widner, Joanne T.. Academic Press. International Safety Academy, Macon (Georgia).

1985. Bird, Frank E. jr., Germain, George L.. “Liderazgo práctico en el control de pérdidas”. Institute Publishing. Longanville (Georgia).

El primero de los trabajos señalados supone la aportación germinal de referencia en términos de cuantificación de los riesgos relativos al terreno de la seguridad. De hecho, todas las metodologías posteriores desarrolladas son adaptaciones más o menos particularizadas del mismo.

El segundo de los trabajos supone la modelización y presentación práctica de un programa de acción integral fundamentado en 116 puntos de control con unas aportaciones metodológicas que en alguno de los casos aún no han sido superadas. Se trata de un texto cuyo carácter “emblemático” es aceptado sin discusión en los más reputados foros del contexto preventivo.

Aparte de estos dos referentes ineludibles, para el terreno específico del diseño de sistemas de gestión orientados a pequeñas y medianas empresas, las metodologías más relevantes publicadas hasta la fecha son las que a continuación se reseñan:

- En Estados Unidos, dos son las grandes entidades reconocidas a nivel internacional en el terreno de la PRL que aborden dicha actividad desde una óptica integral: la OSHA (Occupational Safety and Health of America), dependiente del Departamento de Trabajo, y el ya referido NIOSH. Ambas tienen estudios publicados en la materia cuyas principales características son las que a continuación se describen:

– La metodología propuesta por la OSHA supone una particularización de un programa de acción más completo, para el caso de las PYMEs. Fundamenta sus actuaciones sobre un programa sustentado sobre cuatro puntos básicos, a saber (OSHA, 1996):

- Compromiso de la dirección e implicación del trabajador
- Análisis del lugar de trabajo
- Prevención de peligros y control
- Formación de empleados y mandos intermedios y superiores

Focaliza la cuestión especialmente en el tema del análisis de las condiciones de trabajo, proponiendo unos “check-lists” de verificación.

– La filosofía del NIOSH pasa por el desarrollo de guías específicas (“fact sheets”) para cuestiones específicas de la actividad preventiva. En esta línea, en su publicación “Safety and Health Resource Guide for Small Business” (NIOSH, 2000), ofrece un directorio de recursos para la resolución de diversa tipología de problemas inherente al desarrollo de la práctica preventiva.

- En España, a mitad de la década de los años 90 del siglo pasado, el INSHT desarrolló una metodología encaminada específicamente al control del riesgo en las PYMEs (Bestratén, Nogareda et al., 1994). Esta metodología se focaliza en el proceso de evaluación de riesgos, planteando unos cuestionarios prácticos similares a los presentados por la OSHA.

N.B.:

Posteriormente al desarrollo del trabajo de campo del presente Estudio Técnico, el INSHT, sobre la base de los cuestionarios de la publicación anteriormente referida (Bestratén, Nogareda et al., 1994), elaboró una publicación específica para la gestión integral de la prevención en PYMEs planteando un desarrollo específico de los distintos elementos integrantes del Plan de Prevención de Riesgos Laborales (Bestratén y Marrón, 2005).

- Para el resto de Europa, dos han sido las organizaciones contempladas en el presente estudio en virtud de su reconocido prestigio y solvencia a nivel internacional, a saber: el INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) de Francia y el HSE (Health and Safety Executive) del Reino Unido. Las características generales de las publicaciones de ambas organizaciones en la materia son las que a continuación se indican:

- El INRS mantiene una postura similar al NIOSH, en tanto en cuanto presenta publicaciones particularizadas para problemas específicos de la acción preventiva. Su principal publicación desde la óptica de la organización de la PRL (INRS, 1996) se centra fundamentalmente en la satisfacción de los aspectos legales.
- El HSE desarrolla un enfoque del problema bajo parámetros de calidad (HSE, 1994), incidiendo especialmente en los aspectos de planificación.
- En cuanto a la normativa internacional, las normas elaboradas (básicamente la serie OHSAS 18000 como estándar generalmente reconocido, y las directrices de la OIT como documento “oficial”) estipulan de un modo genérico las características que debiera poseer la organización de la PRL en el seno de la empresa, así como el control de su evolución y desarrollo en términos de calidad, explicitando específicamente sus nexos de unión con la serie de normas ISO 9000. No obstante, no llegan a un grado de especificidad que permita su aplicabilidad directa por parte de una organización sin experiencia en la materia.

Complementariamente al enfoque global de la cuestión, planteado por estas Instituciones, cuyas principales características se han descrito, tratamientos particularizados de cuestiones específicas relacionadas con la actividad preventiva, pueden encontrarse de forma profusa en las publicaciones periódicas especializadas en la materia.

Para el desarrollo del presente trabajo, la tarea de síntesis bibliográfica se ha concentrado en el periodo relativo al trabajo de campo del mismo (1996-2001), por estimarse que una recopilación de dichas fuentes puede definir el posicionamiento de la comunidad preventiva en términos de desarrollo y fijación de las tendencias de futuro, las cuales lógicamente deben ser tenidas en consideración en las herramientas prácticas de gestión que se desarrollen finalmente como resultado práctico de gestión del presente estudio.

Así, las principales referencias consultadas se presentan a continuación agrupadas por campos temáticos.

A. Referencias relativas al diseño de la política preventiva

(European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 1997)

Se hace especial referencia a enfatizar las razones de la dirección para introducir la participación directa y sus relaciones con la estrategia organizativa. Igualmente se incide en la importancia de factores tales como la formación y la integración en los sistemas de remuneración.

(Ormazábal, 1997)

Se describen las experiencias de la APA (Asociación para la Prevención de Accidentes) en la implantación de sistemas de gestión integrada de la seguridad para las PYMEs. Se hace especial hincapié en el valor del desarrollo del trabajo en equipo y el complemento con herramientas de refuerzo que faciliten la integración en el sistema gerencial de la empresa.

(Narocki, 1997)

Se evalúa la efectividad de mecanismos tales como “presión interna”, “control externo”, “asesoramiento y formación”, contemplados en el ordenamiento jurídico español, concluyéndose que a priori resultan poco efectivos si no se desarrollan sistemas complementarios de marcado contenido práctico.

(Cru y Gau, 1997)

Se resalta el creciente papel que ha adquirido la potenciación de la colaboración y diálogo con los interlocutores sociales en el diseño de programas eficaces para la PRL.

(Giovanni y Linquier, 1997)

Los autores remarcan cómo no es suficiente con introducir una tecnología innovadora para ser competitivo, siendo imprescindible que la organización y los recursos humanos de la empresa permitan extraer el mejor partido.

(Quinn et al., 1998)

El autor mantiene que para que una empresa llegue a una producción sostenible, los técnicos prevencionistas necesitarán participar en equipos interdisciplinarios para diseñar y construir nuevos procesos de producción y evaluar y rediseñar continuamente los procesos existentes.

(Mikheev, 1998)

El autor presenta las líneas estratégicas de referencia de la OMS en el campo de la gestión de la PRL en las PYMEs, entre las que cabe destacar el importante papel de la formación y flujo de información.

(Butel et al., 1998)

El autor expone que si bien ciertas empresas solo pretenden la obtención de un certificado válido para el exterior, otras quieren inscribir su proceso en una estrategia generada encaminada a la vez a la eficiencia de la organización, al rendimiento económico y al desarrollo social. Es importante que las empresas conduzcan su proyecto teniendo en cuenta su funcionamiento real y que impliquen a todos los trabajadores, sin que ello suponga presiones suplementarias para estos.

(Goodman, 1998)

El autor destaca la importancia de la toma de decisiones participada en el terreno de PRL e ilustra la cuestión con una particularización para el caso de la elección de un equipo de protección individual.

(Chouchan, 1998)

Se resalta la importancia del desarrollo de unos buenos canales informativos en el seno de la empresa como elemento clave para conciliar una política de PRL eficaz con los imperativos de la competitividad.

(Knox, 2000)

El autor estudia un método de organización para abordar la introducción de una cultura sin incidentes: el objetivo cero.

B. Referencias relativas al diseño de herramientas de desarrollo y control de la política de PRL

(Redinger y Levine, 1998)

Se describen las características principales de un sofisticado sistema de evaluación de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo constituido por 27 secciones, 118 principios de los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo y 486 criterios de medición. En su elaboración ha participado un grupo de 16 expertos.

(Elsigan y Saksvik, 1998)

Los autores destacan la importancia de disponer en la empresa de un eficaz programa de control de las distintas tareas de la actividad preventiva, exponiendo, como Noruega ha introducido en 1992, su sistema "Internal Control" como deber legal para todas las empresas.

(Chambers, 1998)

Se destaca la importancia de la utilización de medidas proactivas en el terreno de la PRL frente a las medidas reactivas. El análisis se ilustra con la descripción del sistema utilizado por una compañía minera australiana para registrar las acciones reactivas y proactivas, el cual cambió la forma de actuar del equipo de seguridad y salud. A consecuencia de esta situación, los índices de siniestralidad han disminuido y las acciones proactivas han sustituido a las reactivas.

(Flanz y Schecker, 1999)

Se resalta la importancia del desarrollo de metodologías para la evaluación de riesgos de carácter cuantitativo y se describen las condiciones para el

desarrollo y verificación de métodos matriciales de criba para dichas evaluaciones.

(Piringer y Wittig, 2000)

Se remarca la importancia de desarrollar herramientas sencillas de evaluación para las PYMEs, mostrándose los “check-lists” como una de las más utilizadas y útiles.

(Pasman, 2000)

El autor incide sobre el hecho de que, en épocas de calma económica, la decisión de hacer inversiones en seguridad es más difícil que cuando hay fondos abundantes. El artículo trata de sugerir acciones que permitan ayudar en estas decisiones mejorando la evaluación cuantitativa de riesgos.

C. Referencias relativas a la integración de la PRL en la estructura gerencial

(Bormans, 1997)

Se destaca la importancia de la realización de un análisis coste – beneficio de cara a integrar la PRL en la práctica gerencial de la empresa.

(Cusso, 1997)

El autor remarca cómo la seguridad, conjuntamente con la calidad del producto y la gestión medioambiental, es un pilar básico en la gestión empresarial moderna.

(De Craecker, 1998)

Se destaca que el modelo de gestión de la calidad de la EFQM es un sistema de gestión que cada vez encuentra más aplicaciones en una eficaz política de tratamiento de los riesgos.

(European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 1998)

Se recopilan los resúmenes de las actas de la conferencia celebrada en La Haya en 1997 sobre la cuestión de la evaluación del balance coste – beneficio en el campo de la PRL.

(Krüger, et al., 1998)

Se incide en la importancia de la realización del análisis coste – beneficio como herramienta potenciadora de la integración de la PRL en el contexto gerencial.

(Deacon, 1998)

El autor expone que la determinación del valor añadido en la gestión de la seguridad y salud contribuye a fomentar la inversión en prevención.

(Dyjack et al., 1998)

Numerosas organizaciones de fabricación y servicios han integrado, o lo están considerando, la implantación de auditorías de calidad en la gestión de la salud y seguridad en el trabajo según los sistemas de gestión de calidad ISO 9000 o sistemas de gestión ambiental ISO 14000. El artículo intenta identificar los factores clave para escoger el modelo más apropiado.

(Carazo, 1998)

El autor describe cómo RENFE estableció en 1990 un modelo de gestión de calidad obteniendo una evidente mejora en cuanto a resultados económicos y en la imagen de la compañía. Uno de los elementos más importantes ha sido la creación de grupos y equipos de iniciativa y mejora, a través de los cuales los empleados son parte activa en la detección de ineficacias y en la identificación de soluciones.

(Weinstein, 1998)

El autor estudia la relación entre la seguridad basada en la conducta y la gestión de la calidad total, e indica que los principios de la gestión de la calidad total pueden utilizarse para describir y mejorar la efectividad de los programas de seguridad. Se exponen los principios y conceptos básicos de la gestión de la calidad total y se comparan con los objetivos del programa de seguridad.

(Anónimo. Prevención Express, 1999)

Se hace eco de la tendencia actual hacia un manual único que combine coherentemente todos los sistemas y procedimientos para lograr un óptimo nivel de calidad, seguridad, protección medioambiental y cualquier otro subsistema gerencial. Es la idea del “Sistema Integrado de Gestión” (S.I.G.).

Un análisis conjunto de todas estas referencias permite extraer como tendencias generalizadas en el desarrollo actual y en un futuro próximo de los sistemas de gestión de la Prevención de Riesgos Laborales las siguientes:

- Los sistemas desarrollados deben dotarse de elementos que faciliten y potencien el desarrollo del trabajo en equipos multidisciplinares y modelos participativos en la toma de decisiones.
- Es muy importante buscar una verdadera integración de la PRL con los demás subsistemas de la empresa. En este sentido la consideración económica de la PRL mediante el análisis coste – beneficio se muestra como una de las herramientas de refuerzo más utilizadas y eficaces para lograr dicha integración.

- El diseño de nuevos sistemas para la gestión de la PRL se enmarca hoy en día en el contexto determinado por los principios de la calidad.
- El desarrollo de herramientas de evaluación de los diversos elementos del sistema (especialmente en términos de la evaluación de riesgos) debe tener prioritariamente carácter cuantitativo.
- Los sistemas diseñados deben disponer de elementos que faciliten el desarrollo de las tareas básicas de formación e información.

Todas estas líneas de actuación serán tenidas en consideración para el desarrollo del sistema de gestión presentado en el capítulo 6 del presente estudio.

A modo de resumen, y como referente relacional de partida para el referido capítulo 6 del presente trabajo, a continuación se incluye un compendio estructurado de las referencias metodológicas (véase tabla 2.1) y bibliográficas que se han tenido en consideración para la definición del estado del arte y la fijación de las líneas evolutivas en el diseño de sistemas de gestión de la PRL como el considerado en este estudio.

Tabla 2.1
Estado del Arte. Compendio de referencias metodológicas y documentales

COMPENDIO DE REFERENCIAS METODOLÓGICAS Y DOCUMENTALES		
CAMPO TEMÁTICO	REFERENTES METODOLÓGICOS	COMPLEMENTOS BIBLIOGRÁFICOS (*)
Diseño de la política preventiva	<ul style="list-style-type: none"> – Control total de pérdidas (Frank E. Bird) – HSE 	(European Foundation ..., 1997), (Ormazábal, 1997), (Narocki, 1997), (Cru y Grau, 1997), (Giovanni y Linquier, 1997), (Quinn et al., 1998), (Mikheev, 1998) (Butel et al., 1998), (Goodman, 1998), (Chouchan, 1998), (Knox, 2000)
Diseño de herramientas de desarrollo y control de la política de PRL	<ul style="list-style-type: none"> – Evaluaciones matemáticas para el control de riesgos (William T. Fine) – Control total de pérdidas (Frank E. Bird) – INSHT – OSHA – NIOSH 	(Redinger y Levine, 1998), (Elsigan y Saksvik, 1998), (Chambers, 1998), (Flanz y Schecker, 1999), (Piringer y Wittig, 2000), (Pasman, 2000)
Integración en la estructura gerencial	<ul style="list-style-type: none"> – Control total de pérdidas (Frank E. Bird) – HSE 	(Bormans, 1997), (Cusso, 1997), (De Craecker, 1998), (European Foundation ..., 1998), (Krüger et al., 1998), (Deacon, 1998), (Dyjack et al., 1998), (Carazo, 1998) (Weinstein, 1998), (Anónimo. Prevención Express, 1999)

(*) Conforme a la relación presentada en el Apéndice C.

3. MUESTRA DE REFERENCIA: EL PROYECTO QUALYMAN

3.1 Origen del proyecto

El Secretariado para la Coordinación Científica Internacional, del Plan Nacional de I+D dependiente de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, organizó un Seminario sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico en la Unión Europea, a celebrar en el marco de los cursos de verano de la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo, en Santander, durante el verano de 1994.

En nombre de CEOE-CEPYME, fue invitado por el Secretariado para la Comisión Científica Internacional del Plan Nacional de I+D a participar como ponente, en el Panel “Problemas de competitividad en las PYMEs: aporte de estrategias y soluciones”, el que posteriormente sería el director del proyecto Qualyman, Dr. Ing. Jesús Portillo Sosa. En dicho Seminario sostuvo la tesis de que uno de los mayores problemas de la falta de competitividad de las PYMEs estaba asociado a la falta de preparación de sus Recursos Humanos y no, como comúnmente se entendía, a la tecnología asociada a los procesos productivos. En esta línea expresaba que es principio generalmente aceptado la necesidad de una mayor tecnificación en nuestras empresas y muy particularmente en las de pequeño y mediano tamaño, y, si bien esta aseveración es cierta, no lo es tanto si se compara con la falta de formación para la gestión de los recursos humanos en estas empresas y muy particularmente en el caso de las PYMEs en nuestro país. No debemos olvidar que nuestro retraso en la tecnificación ha comportado no sólo serios inconvenientes, sino también alguna ventaja, entre ellas el que podamos disponer de tecnologías y medios de producción de generación avanzada y que por consiguiente nos encontramos con frecuencia, más ante un problema de tratamiento de Recursos Humanos que de la propia tecnología aplicada al proceso productivo. Igualmente constataba que se ha detectado en las organizaciones empresariales la necesidad de un abordaje en profundidad de la gestión en la empresa como herramienta fundamental para

incrementar su competitividad en un mercado cada vez más abierto e internacionalizado (Portillo Sosa, 1994).

Por otro lado, tanto la Consellería de Industria e Comercio de la Xunta de Galicia como el Instituto Tecnológico de Galicia desde su creación vienen trabajando y apostando en esta línea de acción, es decir, la de la formación integral de los Recursos Humanos de las empresas como pilar fundamental de su competitividad en el marco de lo que se viene denominando “calidad total”.

Por consiguiente, lo anterior justifica el que tras ser elaborada y aprobada la iniciativa europea ADAPT (iniciativa comunitaria europea nacida en 1996 con el objeto de cofinanciar, con aportaciones de hasta un 70% del coste, proyectos comunitarios de investigación focalizados en la mejora de la competitividad de las PYMEs europeas mediante la potenciación de las capacidades del factor humano en la empresa como elemento clave para su mayor eficiencia), gestada por la DG V de la Comisión de las Comunidades Europeas, competente entre otros, de los asuntos sociales, y gestionada por el FSE (Fondo Social Europeo), la Xunta de Galicia a través de su Consellería de Industria e Comercio como entidad promotora y del Instituto Tecnológico de Galicia como órgano gestor, encargaran la elaboración de un proyecto de investigación en este sentido, así como su posterior dirección al profesor Portillo Sosa. Dicho proyecto, denominado “Qualyman”, una vez redactado y presentado ante el FSE, mereció la aprobación de dicho organismo para ser desarrollado en el bienio 1996-1997.

3.2 Objetivos del proyecto

El objetivo básico del proyecto se centró en ofrecer una aportación para la mejora de la competitividad de las empresas de pequeño y mediano tamaño en Galicia a través del reforzamiento de la capacidad de gestión de sus Recursos Humanos, lo que comporta a efectos prácticos la optimización de sus capacidades directivas y de organización a todos sus niveles, así como la mejora de la productividad mediante el diseño y puesta en operación de métodos y herramientas eficaces de actuación, bajo el principio de que el resultado estará directamente ligado a la capacidad y asunción por las empresas de *sistemas participativos de gestión*. Hoy día es principio aceptado que no es posible, sin el aporte de ideas y el trabajo en grupo, conseguir metas de competitividad que permitan a la empresa mantenerse en el mercado.

Aceptado el principio anterior como objetivo y fin esencial en el diseño y desarrollo del proyecto, se trataba de poder articular con eficacia su desarrollo. Para ello se

partió de la concepción propugnada por Frank E. Bird, Jr. y George L. Germain en su tratado “Liderazgo práctico en el Control de Pérdidas” (Bird y Germain, 1990) y conocida bajo las siglas GEMA. Basándose en este planteamiento, mediante las personas (**G**ente), los medios de producción (**E**quipos), la calidad del producto (**M**ateriales) y la preservación del entorno (Medio **A**mbiente), es posible trabajar sobre los recursos humanos que operan estos subsistemas denominados “diana” para conseguir incrementar la competitividad de las empresas.

En este contexto de concepción de la identidad de la empresa (G-E-M-A) se identificaron cinco áreas temáticas a través de las cuales el Proyecto realizaría la aproximación a la realidad de la misma: Organización y Recursos Humanos, Calidad, Innovación, PRL y Gestión Medioambiental, focalizándose objetivos y pautas concretas de desarrollo para cada una de ellas, según se describe a continuación.

1. Organización y Recursos Humanos

La acción del Proyecto en las empresas participantes comprendería tanto el diagnóstico de la función O+RRHH, como la formación en tecnologías punta del mando y su implementación a nivel piloto. Así, las empresas podrían disponer de criterios y procedimientos para:

- optimizar el diseño de las estructuras organizativas
- acometer un mejor dimensionamiento de las plantillas
- establecer estructuras salariales eficaces y motivadoras
- optimizar la definición, descripción y valoración de puestos de trabajo
- establecer sistemas de retribución variable según los resultados
- adoptar sistemas de gestión por objetivos
- establecer criterios para la evaluación del desempeño
- mejorar la adecuación del capital humano a los puestos de trabajo
- instaurar con éxito sistemas de formación continua
- mejorar de forma continua de los sistemas de información y comunicación, como pilares del sistema
- instaurar un eficaz programa de sugerencias
- planificar a medio – largo plazo los recursos humanos

2. Calidad

Las actuaciones comprenderían tanto el diagnóstico de la función calidad, como la formación en modelos participativos de gestión y sistemas de aseguramiento, así como su desarrollo e implementación en aquellas empresas aptas para ello. Con ello las empresas participantes podrían disponer de criterios y procedimientos para:

- la gestión integrada de la calidad de los recursos y las tecnologías puestas en juego
- la implantación con éxito de grupos de mejora continua como pilar fundamental de la competitividad
- el diseño y puesta en operación de Manuales de Calidad y Procedimientos, de conformidad con las normas internacionales más reconocidas: serie UNE-EN-ISO 9000

3. Innovación

Entendiendo el concepto de innovación de forma amplia, el área se dividió en tres subáreas, dos de nuevas técnicas y tecnologías (gestión de la producción y gestión de la información y las comunicaciones) y una tercera dedicada a la gestión de actividades de I+DT (optimización del par recursos internos / recursos externos destinados a la innovación).

La acción Qualyman comprendería tanto el diagnóstico de las tecnologías puestas en juego por las empresas participantes, como la formación en tecnologías innovadoras y la implementación a nivel piloto de las técnicas apropiadas, y aportaría a la empresa las siguientes capacidades:

- Tecnologías de la producción
 - Seleccionar los sistemas y herramientas de gestión más eficaces para sus sistemas productivos: planificación estratégica e integral de todo tipo de recursos exigidos para el mejor funcionamiento del sistema productivo, gestión de stocks, MRP II, sistemas JIT, en aquellas actividades susceptibles de implantación y criterios para el establecimiento de cadenas de suministros con proveedores.
 - Criterios de selección que permitan optimizar la adquisición y operatividad de las denominadas nuevas tecnologías: CAD, CAM y sentar las bases para el desarrollo del CIM.

- Criterios y procedimientos que les permitan el diseño de fabricaciones flexibles, fabricaciones focalizadas y la reestructuración de procedimientos productivos mediante el sistema de “fábricas dentro de la fábrica”.
- Tecnologías de la información y las comunicaciones
 - Análisis del software empleado y sugerencias para mejorar sus sistemas de información.
 - Formación específica al personal de la empresa.
 - Demostración de conexiones a las principales redes.
 - Preparación de prototipos para servir información de la empresa.
- Gestión de la innovación
 - Promoción e implementación de acciones de investigación y desarrollo tecnológico dirigidas a satisfacer necesidades específicas de orden tecnológico.
 - Diagnóstico y sistematización de aquellas necesidades de mayor importancia en el sector de actividad.
 - Posibles colaboraciones científico – tecnológicas con centros tecnológicos e instituciones de investigación existentes en el entorno.

4. Prevención de Riesgos Laborales (PRL)

La actuación del Proyecto comprendería tanto el análisis de la función PRL en las empresas participantes, como la formación en las técnicas más idóneas de la Prevención y su implementación. Las empresas podrían, entonces, proveerse de:

- Auditoría de PRL con inventario de problemas.
- Criterios y procedimientos para el diseño y puesta en operación de planes de prevención integrados en el conjunto de la actividad empresarial y por consiguiente gestionados bajo criterios de calidad.
- Criterios y herramientas que les permitan realizar una eficaz evaluación de los riesgos asociados a la actividad empresarial desde la óptica de la seguridad, la higiene y la ergonomía de los sistemas productivos.
- Criterios y procedimientos que les permita el correcto seguimiento y control técnico de los riesgos identificados y evaluados.

- Criterios y procedimientos de actuación frente a situaciones de emergencia con potencial daño a personas e instalaciones.

5. Medio ambiente

Igualmente, las acciones comprenderían tanto el análisis de la gestión medioambiental como la formación en las técnicas más idóneas y su implementación a nivel piloto con los siguientes beneficios:

- Auditoría medioambiental con inventario de problemas.
- Formación específica que les permita disponer de criterios para la implantación con éxito de políticas medioambientales de acuerdo con sus actividades específicas.
- Implantación de sistemas de gestión medioambiental, tanto en sus aspectos organizativos como en los más específicos de definición de programas, medios necesarios y protocolos específicos.

3.3 Metodología

La metodología de desarrollo del proyecto se fundamentó en la técnica de inmersión en el seno de la empresa, para desde el conocimiento de la misma abordar la etapa de una eficaz formación y ulterior acción a través de la proposición de acciones a medida. Así, la planificación del mismo se articuló sobre tres fases básicas de actuación, a saber:

- Diagnóstico de situación en la empresa y el sector.
- Diseño de material didáctico para la formación y gestión del proyecto.
- Planes específicos de actuación en el seno de las empresas participantes.

Se seleccionaron para el desarrollo del proyecto siete sectores con un potencial de futuro estable. Los criterios para su selección se sustentaron sobre los siguientes principios: carácter estratégico de la actividad, potencial asimilación de resultados, complementariedad, posibilidad de sinergias y capacidad de efecto multiplicador, con los que tanto su representatividad como la potencial extrapolación de resultados a empresas de similares características quedaban asegurados. Es de destacar que al pertenecer las empresas a sectores tan diversos, desde aquellos de primera transformación a otros de avanzada elaboración y alto valor añadido, la muestra ha sido compleja y extensa y constituyó un amplio abanico que engloba multitud de situaciones muy distintas en cuanto a cultura de empresa y estilos de

gestión, con las ventajas que de ello se derivan para el estudio presentado en este trabajo.

Los sectores y empresas participantes en Qualyman fueron:

Sector Madera

- Costiña, S.L.
- Dans Rodríguez y Cía, S.L.
- Financiera Maderera, S.A. (FINSA)
- Luis Lamas/Eucatar, S.L.
- Maderas Betanzos, S.L.

Sector Textil - Confección

- Adolfo Domínguez, S.A.
- Antonio Pernas, S.A.
- Jealfer, S.A.
- Géneros de Punto Montoto, S.L.
- Selmark, S.L.
- Unicen, S.L.
- Volvoreta, S.A.

Construcción Naval

- Factoría Naval de Marín
- Factoría Vulcano, S.A.

Granito

- Comercial de Rocas Ornamentales del Mundo, S.A. (CROMSA)
- Digafer, S.A.
- Fernández y Martínez de Granitos, S.A. (FERYMAG. S.A.)
- Granitos de Atios, S.A. (GRANISA)

Pizarra

- Pizarras Morniau-Casayo, S.A. (CAPIMOR S.A.)
- Industrias de Rocas Ornamentales, S.A. (IROSA)
- Pizarras de Quiroga, S.A. (PIQUISA)
- Samaca, S.A.

Auxiliar de Automoción

- Ferroplast, S.L.
- Matricería Galega, S.A. (MATRIGALSA)
- Precisiones de Galicia, S.L. (PRECISGAL, S.L.)
- Talleres Viza, S.A.
- Viguesa de Calderería, S.A. (VICALSA)

Auxiliar de la Construcción Naval

- Elaborados y Montajes, S.A. (EYMOSA)
- Montajes Industriales del Noroeste, S.A. (INDUNOR)
- Industrias y Talleres Franco, S.L. (INTAF, S.L.)
- Intelme, S.L.
- Montajes Cruz, S.L.
- Tecnología y Montaje, S.A. (TECNYMO, S.A.)

Sobre esta base se definieron tres tipologías de empresa, a partir de las cuales se pudieron precisar los programas y actuaciones en cada una de las treinta y tres participantes en el Proyecto.

Las tres tipologías de empresa se definieron así:

• Empresas tipo A

Se encuadraron en esta tipología aquellas que, disponiendo de la estructura capaz de soportar el programa, fueran capaces de mejorar sus conocimientos en la gestión de las áreas temáticas abordadas, utilizar las herramientas “ad hoc” diseñadas e implementar, en su caso, al menos a nivel piloto, el contenido de lo actuado en las mismas.

- Empresas tipo B

Se agruparon aquí aquellas que, disponiendo de una estructura de tipo medio, fueran capaces tanto de asimilar el conocimiento asociado a los programas para ellas diseñados, como realizar simulaciones en la utilización de las herramientas de gestión avanzada.

- Empresas tipo C

Fueron aquellas que, disponiendo de una mínima estructura, han sido capaces de familiarizarse en el conocimiento y utilización de las herramientas de gestión diseñadas para las mismas.

De esta manera y dada la heterogeneidad, enriquecedora por otra parte, de las empresas participantes por su dimensión y medios tanto humanos como materiales, se estableció esta tipología de A a C, con programas y actuaciones de mayor a menor complejidad, sin perder de vista en todo caso el fin último perseguido, que no ha sido otro que la mejora de la gestión a través de la participación y la utilización de probadas herramientas de gestión, que ofrecían la posibilidad de poder aumentar su competitividad.

La dimensión transnacional del mismo se garantizó mediante la activa participación del consorcio formado finalmente con Francia a través de la Confederación General de la Pequeña y Mediana Empresa (CGPME) de la región de Lorraine, participando igualmente la Escuela Superior de Ingeniería de Nancy (ENSGSI) y el Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).

Al haber establecido para el desarrollo del proyecto una verdadera arquitectura transnacional, se ha obtenido como valor añadido —e incorporado al desarrollo del proyecto tanto en España como en Francia— no sólo el intercambio de experiencias mutuas, sino las metodologías y herramientas “ad hoc”, diseñadas y puestas en juego, a través de un proceso de verdadero trabajo en equipo interdisciplinar, con las ventajas que de ello se derivan. En este sentido, tanto por parte española como francesa, han participado expertos de reconocida solvencia internacional en las diferentes áreas abordadas y lo actuado ha sido fruto de un trabajo extenso y profundo.

Como ya se ha indicado, el proyecto se estructuró en tres grandes fases: diagnóstico de situación, formación e implementación de sistemas, métodos y herramientas de gestión en aquellas empresas más avanzadas. Para los fines propuestos en el presente estudio, la fase que realmente resulta de interés es la relativa al diagnóstico de situación, pues va a ser la fuente de datos sobre la cual se

articulen las demás fases del trabajo. Por ello el resto de este apartado va a dedicarse a la descripción de la metodología de desarrollo y resultados de esta fase, pudiendo remitirse el lector interesado en datos adicionales sobre el proyecto Qualyman al informe final del mismo, editado por el Instituto Tecnológico de Galicia (ITG, 1998).

La metodología seleccionada para esta fase de diagnóstico fue la de entrevista al equipo directivo de la empresa y visita a sus instalaciones. Para ello se utilizaron protocolos de síntesis, claros y comprensibles para los interlocutores del proyecto, empresarios y cúpulas directivas. Para el desarrollo de las entrevistas, se estimó un período de duración media de dos a tres horas.

Las distintas funciones evaluadas dentro de cada una de las áreas funcionales son las que a continuación se indican.

• Área Organización y Recursos Humanos (O+RRHH)

- Estructura organizativa
- Dimensionamiento de plantillas
- Definición y valoración de puestos
- Retribuciones
- Gestión por objetivos
- Evaluación del desempeño
- Adaptación laboral
- Formación continua
- Información/Comunicación/Participación
- Representación sindical

• Área Calidad

- Estrategia/Necesidades
- Gestión de la calidad
- Herramientas

- Área Innovación
 - Estrategia
 - Objetivos
 - Gestión de la innovación
 - Herramientas/métodos
 - Consorcios
 - Financiación
 - Tecnologías de la comunicación
- Área Prevención de Riesgos Laborales (PRL)
 - Política de Seguridad
 - Indicadores
 - Evaluación de riesgos
 - Formación
 - Investigación siniestralidad
 - Integración de la prevención
 - Emergencias
- Área Medio Ambiente
 - Responsabilidad
 - Prevención técnica
 - Prevención de comportamientos
 - Formación
 - Gestión medioambiental

Los cuestionarios de síntesis utilizados para la evaluación de cada una de estas funciones son los que a continuación se insertan.

Tabla 3.1
Funciones y factores evaluados para el área de O+RRHH

ÁREA: ORGANIZACIÓN Y RECURSOS HUMANOS	
FUNCIÓN: Estructura organizativa	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Tipo de definición	<ul style="list-style-type: none"> formal y estructurada nivel de definición: mandos / todos los empleados
FUNCIÓN: Dimensionamiento de plantillas	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> medio - largo plazo análisis propio o externo decisión unilateral de la dirección / decisión colegiada
FUNCIÓN: Definición y valoración de puestos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> formal y escrita manuales de valoración propios / externos
FUNCIÓN: Retribuciones	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemas	<ul style="list-style-type: none"> diferenciado / único rígido / flexible en función de resultados
FUNCIÓN: Gestión por objetivos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> objetivos personales por unidades productivas o grupos de función generales
FUNCIÓN: Evaluación del desempeño	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> por niveles por criterios objetivos apreciación directa del mando asociados a la promoción y/o desarrollo profesional
FUNCIÓN: Adaptación laboral	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemática	<ul style="list-style-type: none"> acceso por selección mediante pruebas / por recomendación promoción por aptitudes / antigüedad / designación existencia de procedimiento escrito
FUNCIÓN: Formación continua	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> observación / adiestramiento por los mandos
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> programación formal y estructurada promocionada por la empresa / esporádica e informal instructores internos / externos

Tipo	<ul style="list-style-type: none"> teórica / práctica específica en el puesto de trabajo
FUNCIÓN: Información / Comunicación / Participación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> reglado y escrito / verbal directo a través de la línea de mandos / representantes sindicales
Sistema de gestión	<ul style="list-style-type: none"> tradicional / participativo nivel de participación en toma de decisiones tipos de decisiones participativas
FUNCIÓN: Representación sindical	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Relaciones	<ul style="list-style-type: none"> cumplimiento estricto de la legislación / información complementaria tipo de información consulta y/o participación en toma de decisiones tipos de decisiones sometidas a consulta

Tabla 3.2
Funciones y factores evaluados para el área de calidad

ÁREA: CALIDAD	
FUNCIÓN: Estrategia / Necesidades	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Nivel de motivación	<ul style="list-style-type: none"> dirección / resto de la organización comprensión de su finalidad
Necesidades certificación	<ul style="list-style-type: none"> presión clientes y/o suministradores competencia / deficiencias internas necesidades de verificación: medios materiales y personas nivel de conocimientos
Estado de situación	<ul style="list-style-type: none"> certificada, en curso: manual de calidad, de procedimientos necesidades urgentes: nuevas herramientas nueva organización, formación, trabajo en equipo entre todos los Dptos. de la empresa Tipo de certificación conseguida o deseada: ISO 9001, 9002, 9003, otras
FUNCIÓN: Gestión de la calidad	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Política de calidad	<ul style="list-style-type: none"> verbal /documentada / certificada Dpto. o persona encargada de la función calidad: su nivel de conocimientos examen y revisión periódica del sistema de calidad

Plan de calidad	<ul style="list-style-type: none"> nivel de cumplimiento del plan calidad desde el diseño: oferta y redacción proyectos control estadístico de proceso calidad interna y externa. Calidad total
FUNCIÓN: Herramientas	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemas utilizados	<ul style="list-style-type: none"> AMFE, Q.F.D., Análisis de valor, Diagrama causa-efecto, otros medios disponibles para su utilización sistemática

Tabla 3.3
Funciones y factores evaluados para el área de innovación

ÁREA: INNOVACIÓN	
FUNCIÓN: Estrategia	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Visión de la actividad	<ul style="list-style-type: none"> percepción como creación de productos arma competitiva función de la dirección / acción participativa Aplicación sólo a productos / al management
FUNCIÓN: Objetivos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Razones para innovar	<ul style="list-style-type: none"> aumento de mercado optimización precio productos mejora de calidad ampliación gama ofertada potenciar "status" empresa salvaguardar independencia
Razones para no innovar	<ul style="list-style-type: none"> cuenta de resultados satisfactoria miedo al riesgo falta de competencia falta de tiempo
FUNCIÓN: Gestión de la innovación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Infraestructura y sistemática	<ul style="list-style-type: none"> organización propia / asociación con terceros contactos con clientes y suministradores explotación derechos de patentes sistema de difusión de la actividad en la empresa: sistema de recompensas existencia de grupos de mejora continua existencia de consultoras: sus tipos y nivel de participación

FUNCIÓN: Herramientas / Métodos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ formal con herramientas profesionales: estudios de mercado, análisis funcional, Pert, Gant... ▪ existencia de Dpto. propio
Formación I+D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ interna y autodidacta / externa / mixta
Nivel de acción	<ul style="list-style-type: none"> ▪ estudios básicos, de mercado, elaboración proyectos, desarrollo proyectos, industrialización, comercialización ▪ proceso realizado sólo por la empresa. Con participación de terceros. Nivel de participación
FUNCIÓN: Consorcios	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Política	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Joint-venture” / contractuales / licencias / llave en mano / informales
FUNCIÓN: Financiación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Estrategia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ recursos propios / ayudas oficiales ▪ tipos y cuantías de las ayudas ▪ créditos bancarios
FUNCIÓN: Tecnologías de la comunicación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Nivel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tipo de tecnologías puestas en juego y grado de utilización

Tabla 3.4
Funciones y factores evaluados para el área de PRL

ÁREA: PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES	
FUNCIÓN: Política de Seguridad	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemática de actuación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ verbal /escrita / para todo el personal ▪ nivel de conocimiento y cumplimiento de la legislación vigente
Servicio de Prevención	<ul style="list-style-type: none"> ▪ persona o personas encargadas de la seguridad: su nivel y tipo de conocimientos
Plan de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ su existencia y contenido ▪ nivel de concertación del mismo con los representantes de los trabajadores

FUNCIÓN: Indicadores	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Siniestralidad	<ul style="list-style-type: none"> número y tipo de accidentes registrados en los tres últimos años índices de frecuencia y gravedad
Enfermedades profesionales	<ul style="list-style-type: none"> número y tipo en los tres últimos años
Costes de accidentes y enfermedades profesionales	<ul style="list-style-type: none"> su conocimiento y cuantía
Absentismo	<ul style="list-style-type: none"> su incidencia sobre el general de la empresa
FUNCIÓN: Evaluación de riesgos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> procedimiento de identificación, cuantificación, jerarquización y control medios: internos, externos, mixto
FUNCIÓN: Formación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> formación generalista y básica / específica para las funciones a desarrollar actualización ante cambio de funciones periodicidad formación especial ante situaciones de trabajo pertinentes
FUNCIÓN: Investigación de siniestralidad	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemática	<ul style="list-style-type: none"> investigación causas inmediatas / básicas metodología de investigación medidas correctoras puestas en juego: su nivel real de implementación y eficacia medios humanos y financieros disponibles
FUNCIÓN: Integración de la prevención	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Estrategia	<ul style="list-style-type: none"> plan de actuación nivel y tipo de integración en los diferentes subsistemas de la empresa: compras, ingeniería, fabricación, mantenimiento composición de los órganos colegiados de prevención. Sus funciones reales tratamiento de empresas contratistas
FUNCIÓN: Emergencias	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Plan de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> su existencia y contenido reglamentación aplicable recursos humanos y materiales coordinación con el exterior simulacros

Tabla 3.5
Funciones y factores evaluados para el área de medio ambiente

ÁREA: MEDIO AMBIENTE	
FUNCIÓN: Responsabilidad	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Nivel y tipo de implicación	<ul style="list-style-type: none"> con relación al efecto medioambiental: emisiones con relación al grado de cumplimiento de la legislación: Ley y Reglamento de Aguas, Ley de Protección del medio ambiente atmosférico, Ley y Reglamento RTP. Legislación futura. requerimientos legales y sistemas de actualización de dichos requerimientos
FUNCIÓN: Prevención técnica	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> naturaleza del proceso productivo, tecnología utilizada y tipo de medidas anticontaminantes de carácter técnico puestas en juego: su conocimiento y grado de eficacia nivel de inversión. recursos financieros: su origen cánones y tasas mantenimiento de equipos y sistemas. Inversiones procedimientos de vigilancia y control de la contaminación
FUNCIÓN: Prevención de comportamientos	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemática	<ul style="list-style-type: none"> existencia de planes de educación medioambiental: su contenido y nivel de conocimiento por la organización. Nivel real de cumplimiento implicación de mandos y trabajadores en la buena práctica del trabajo formación: sus modalidades
FUNCIÓN: Formación	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Sistemática	<ul style="list-style-type: none"> generalista / específicas de la actividad a desarrollar por cada grupo de trabajo preparación para las emergencias medio ambientales
FUNCIÓN: Gestión medioambiental	
Factores evaluados	Criterios de valoración
Plan de gestión	<ul style="list-style-type: none"> su existencia Reglamento 1836/93 de 29 de Junio sobre Ecogestión y Ecoauditoria diagnóstico política medioambiental: sus objetivos y programas de acción auditorías y revisiones. Informes medidas correctoras: nivel real de compromiso

3.4 Resultados de la fase diagnóstico

Complementariamente a las estimaciones generales de la situación, las cuales el lector interesado puede consultar en la Memoria del Proyecto Qualyman (ITG, 1998), se procedió, por parte de los analistas y particularmente para cada empresa, a realizar una evaluación cualitativa de las distintas funciones.

Para ello, y tras reunión en Nancy (junio de 1996) del grupo ejecutivo encargado de la fase de diagnóstico, bajo la coordinación del Profesor Vincent Boly (Departamento de Organización de la Escuela Superior de Ingeniería de Nancy), se decidió adoptar como escala de valoración una escala cualitativa ordinal, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Cada una de las funciones analizadas en las distintas empresas se evalúa por una escala de diferencial semántico conforme a las cinco categorías que a continuación se presentan:
 - Nivel 1. Deficiente
 - Nivel 2. Aceptable
 - Nivel 3. Buena
 - Nivel 4. Muy buena
 - Nivel 5. Excelente
- Efectuada esta evaluación, a la vista de los resultados se valoraría cada área temática globalmente analizada, utilizando una escala de puntuación entre 1 y 5, cuya interpretación es la siguiente:
 - Nivel 1. Situación inadecuada. Requiere actuaciones profundas.
 - Nivel 2. Situación regular. Carencias a corregir.
 - Nivel 3. Situación aceptable.
 - Nivel 4. Potencial positivo.
 - Nivel 5. Situación satisfactoria. Bucle de mejora.

Teniendo en cuenta que ambas escalas son de tipo ordinal, el paso de una a otra requeriría un análisis de tipo categórico acerca de las relaciones existentes entre las funciones de partida y la valoración otorgada al constructo que define la

situación global de cada área temática (suponiendo que ésta se hubiera otorgado independientemente sin suponer la existencia de ninguna relación funcional con las funciones que lo caracterizan).

Ante esta situación, considerando la previsiblemente pequeña magnitud del potencial error que se podría cometer en comparación con la elevada utilidad práctica de las puntuaciones que se iban a obtener, el equipo de coordinación decidió, en la referida reunión, adoptar el criterio de suponer que todos los conceptos (funciones analizadas) para la evaluación de un constructo tienen igual influencia, y que la distancia entre intervalos de la escala ordinal se puede considerar constante para todos ellos. A efectos prácticos, esta actuación supone una “linealización” implícita de las escalas utilizadas. De hecho, las puntuaciones globales de cada empresa, para las diferentes áreas temáticas, se obtuvieron como media aritmética (estadístico propio de una escala de intervalo o de razón) de las puntuaciones de las funciones integrantes de la misma, discretizando posteriormente el resultado por aproximación al elemento más próximo de la escala ordinal (en el siguiente apartado del presente trabajo se valorará la magnitud del error resultante de proceder en estos términos).

En otro orden de cosas, se estimó que el interés mostrado por cada empresa en relación con cada una de las áreas temáticas era otro parámetro de gran importancia a la hora de realizar una evaluación global de la empresa. Así este parámetro se valoró en los mismos términos que cada una de las funciones analizadas.

Sobre la base de estas consideraciones, a continuación se presentan sectorialmente los resultados obtenidos y una síntesis de los mismos mediante dos tipos de representaciones gráficas, a saber:

- el primer gráfico de síntesis será un gráfico de barras en el cual se representan los valores medios (de las 33 empresas participantes) obtenidos para las diferentes funciones analizadas dentro de cada área temática.
- el segundo gráfico de síntesis será un gráfico de estrella donde se consignen los valores globales medios obtenidos dentro de cada sector para cada una de las áreas temáticas.

Lógicamente, por evidentes razones de confidencialidad, las empresas se han denotado por un alias formado por una o dos letras indicativas del sector de actividad, y un número correlativo dentro del sector. Igualmente para denotar las funciones analizadas dentro de cada área temática, se ha utilizado un acrónimo formado por la primera o las dos primeras letras de su sustantivo.

Figura 3.1
Gráfico de puntuaciones para el área de O+RRHH

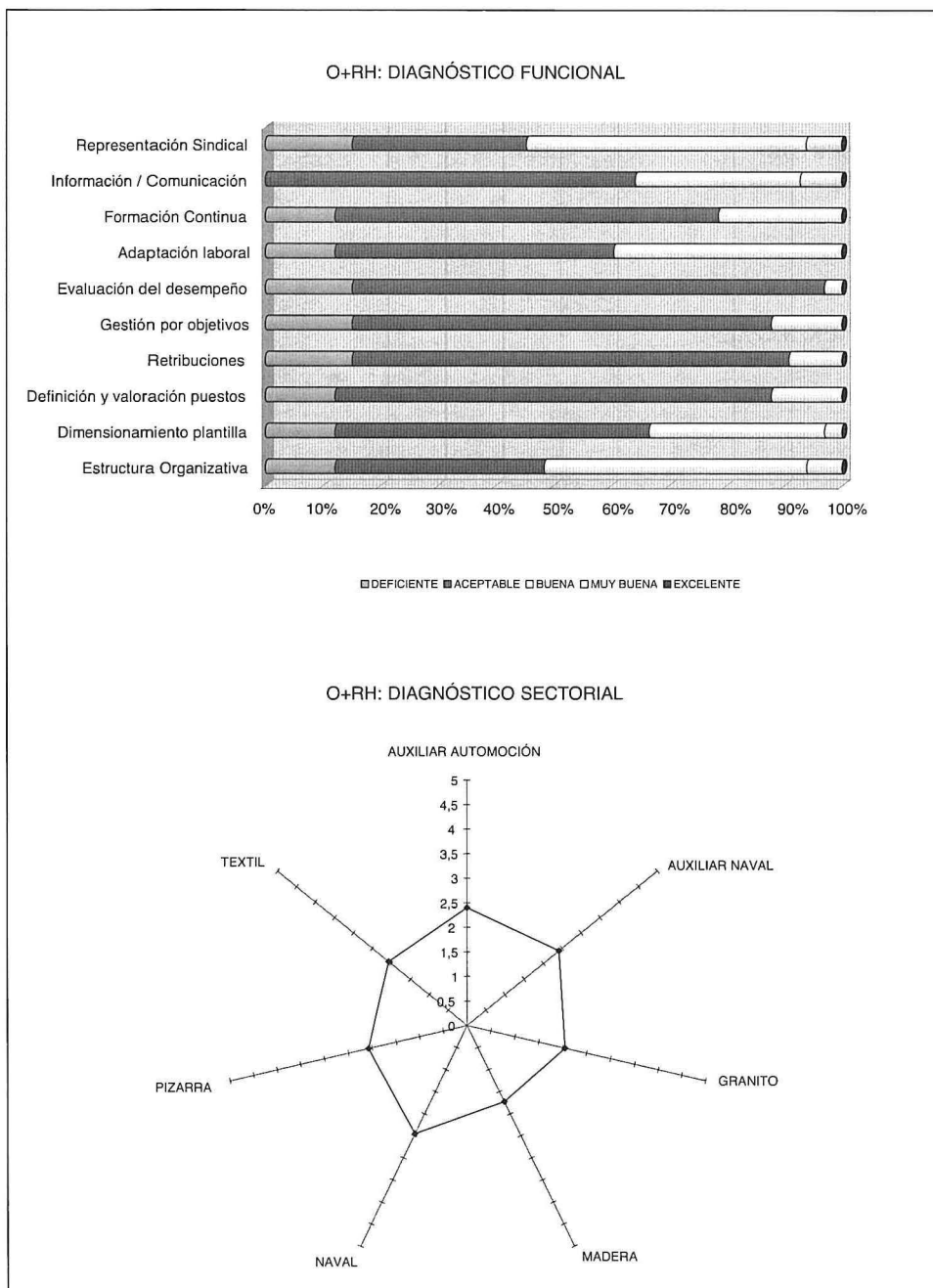


Tabla 3.7
Puntuación de los distintos factores para el área de calidad
 (Fuente: Qalyman Project; CEE. 1997)

ÁREA TEMÁTICA: CALIDAD		FUNCIONES		
SECTOR	ALIAS	EN	GC	HE
AUX. AUTOM.	1AA	3	3	4
	2AA	5	5	4
	3AA	3	1	1
	4AA	5	4	5
	5AA	4	4	2
AUX. NAVAL	1AN	3	2	1
	2AN	4	2	1
	3AN	4	3	1
	4AN	4	5	1
	5AN	4	4	2
	6AN	4	3	2
GRANITO	1G	3	1	1
	2G	2	2	1
	3G	3	2	1
	4G	3	2	1
MADERA	1M	2	2	1
	2M	3	3	2
	3M	1	1	1
	4M	1	1	1
	5M	4	4	2
NAVAL	1N	3	2	1
	2N	5	5	4
PIZARRA	1P	3	2	2
	2P	3	3	2
	3P	3	3	2
	4P	1	2	1
TEXTIL	1T	4	5	2
	2T	5	3	2
	3T	4	5	2
	4T	2	2	1
	5T	4	3	3
	6T	3	4	4
	7T	3	3	2

Figura 3.2
Gráficos de puntuaciones para el área de calidad

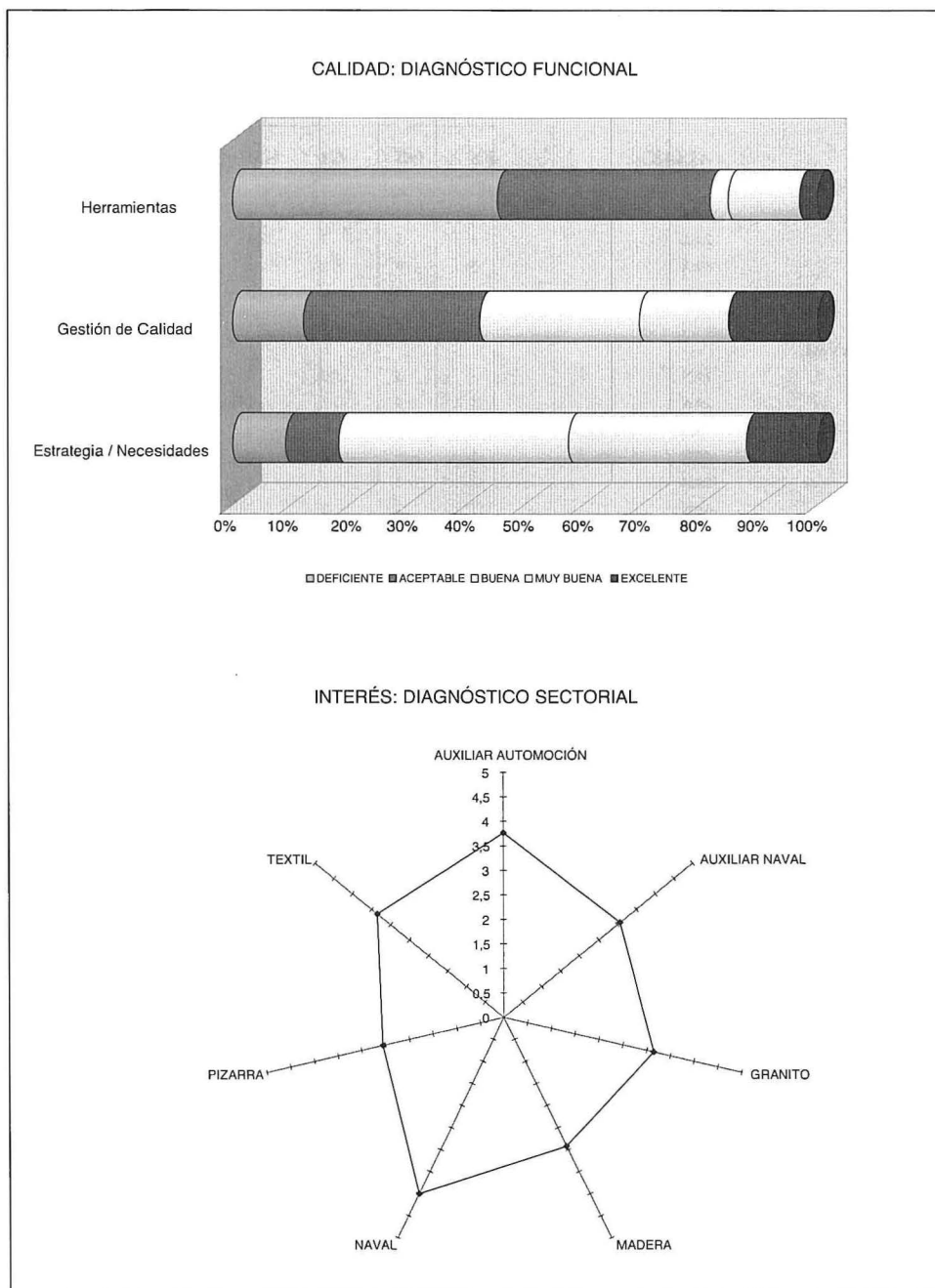


Tabla 3.8
Puntuación de los distintos factores para el área de innovación
 (Fuente: Qalyman Project; CEE. 1997)

ÁREA TEMÁTICA: INNOVACIÓN								
SECTOR	ALIAS	FUNCIONES						
		ES	OB	GI	HM	CO	FI	TC
AUX. AUTOM.	1AA	4	4	3	2	1	1	4
	2AA	5	5	3	4	5	3	4
	3AA	3	3	2	2	2	3	2
	4AA	4	4	4	3	3	3	3
	5AA	4	4	4	2	2	2	4
AUX. NAVAL	1AN	3	3	2	2	2	2	1
	2AN	4	4	3	2	3	3	3
	3AN	2	2	2	2	2	2	2
	4AN	5	5	3	2	3	4	4
	5AN	2	2	2	2	2	2	2
	6AN	2	2	2	2	2	2	2
GRANITO	1G	4	4	3	2	2	3	2
	2G	1	2	1	1	1	2	2
	3G	4	4	3	3	2	3	3
	4G	4	4	2	3	3	2	2
MADERA	1M	3	3	2	2	2	2	2
	2M	4	4	2	2	4	4	3
	3M	3	3	2	2	2	2	2
	4M	2	2	2	2	2	2	2
	5M	3	3	2	2	2	2	2
NAVAL	1N	2	2	1	1	1	2	4
	2N	5	5	3	2	3	3	4
PIZARRA	1P	4	4	3	2	3	3	2
	2P	4	4	2	2	2	2	2
	3P	4	4	2	2	2	2	2
	4P	4	4	2	2	2	2	2
TEXTIL	1T	2	3	2	2	2	2	3
	2T	5	4	2	2	3	3	3
	3T	4	4	2	2	2	3	4
	4T	4	4	2	2	2	3	4
	5T	4	4	2	3	3	4	4
	6T	3	3	2	2	2	2	4
	7T	3	3	2	2	2	3	4

Figura 3.3
Gráficos de puntuaciones para el área de innovación

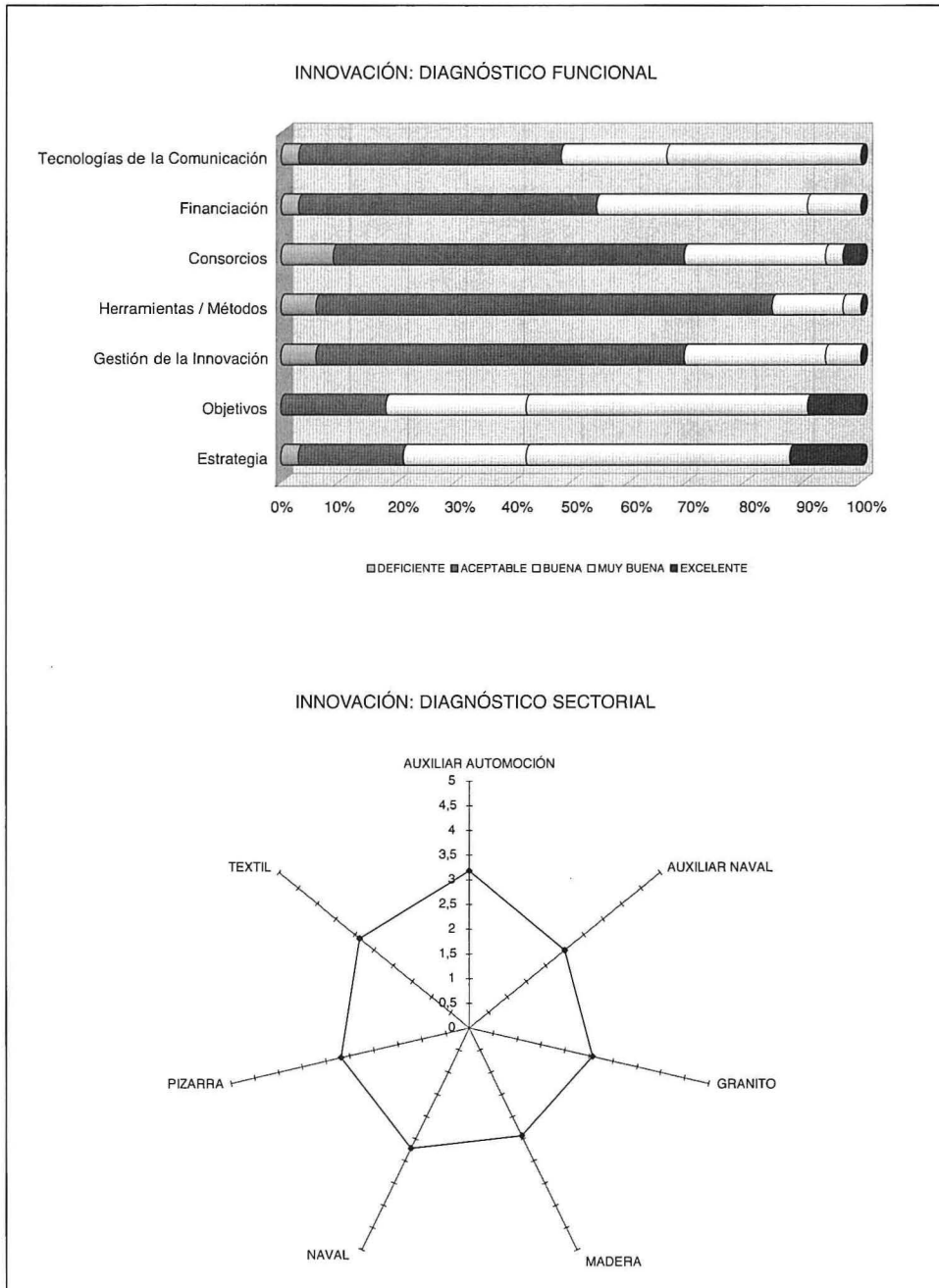


Tabla 3.9
Puntuación de los distintos factores para el área de PRL
 (Fuente: Qualyman Project; CEE. 1997)

ÁREA TEMÁTICA: PREVENCIÓN RIESGOS LABORALES								
SECTOR	ALIAS	FUNCIONES						
		PS	IN	ER	F	IA	IP	EM
AUX. AUTOM.	1AA	1	1	1	1	1	1	1
	2AA	3	2	4	2	4	2	1
	3AA	1	2	1	1	1	1	1
	4AA	2	3	2	2	4	2	1
	5AA	1	2	1	1	1	1	1
AUX. NAVAL	1AN	1	1	1	1	1	1	1
	2AN	1	1	1	3	1	2	1
	3AN	2	2	2	2	2	2	2
	4AN	3	2	2	5	2	1	1
	5AN	2	1	1	2	2	2	2
	6AN	2	1	1	2	1	1	1
GRANITO	1G	1	1	1	1	1	1	1
	2G	1	3	1	2	1	1	1
	3G	1	2	3	1	1	1	1
	4G	1	1	2	1	1	1	1
MADERA	1M	1	1	1	1	1	1	1
	2M	3	3	2	2	3	2	2
	3M	1	2	1	1	1	1	1
	4M	1	1	1	1	1	1	1
	5M	1	2	1	1	2	1	1
NAVAL	1N	3	1	2	2	2	1	1
	2N	4	3	5	5	3	4	2
PIZARRA	1P	1	3	2	1	2	1	1
	2P	1	2	2	1	2	1	1
	3P	1	2	2	1	2	1	1
	4P	1	1	1	1	1	1	1
TEXTIL	1T	1	1	1	1	1	1	1
	2T	1	1	1	1	1	1	1
	3T	3	1	2	1	1	1	1
	4T	1	1	1	1	1	1	1
	5T	1	1	1	1	1	1	1
	6T	1	2	1	1	1	1	1
	7T	1	1	1	2	1	1	1

Figura 3.4
Gráficos de puntuaciones para el área de PRL

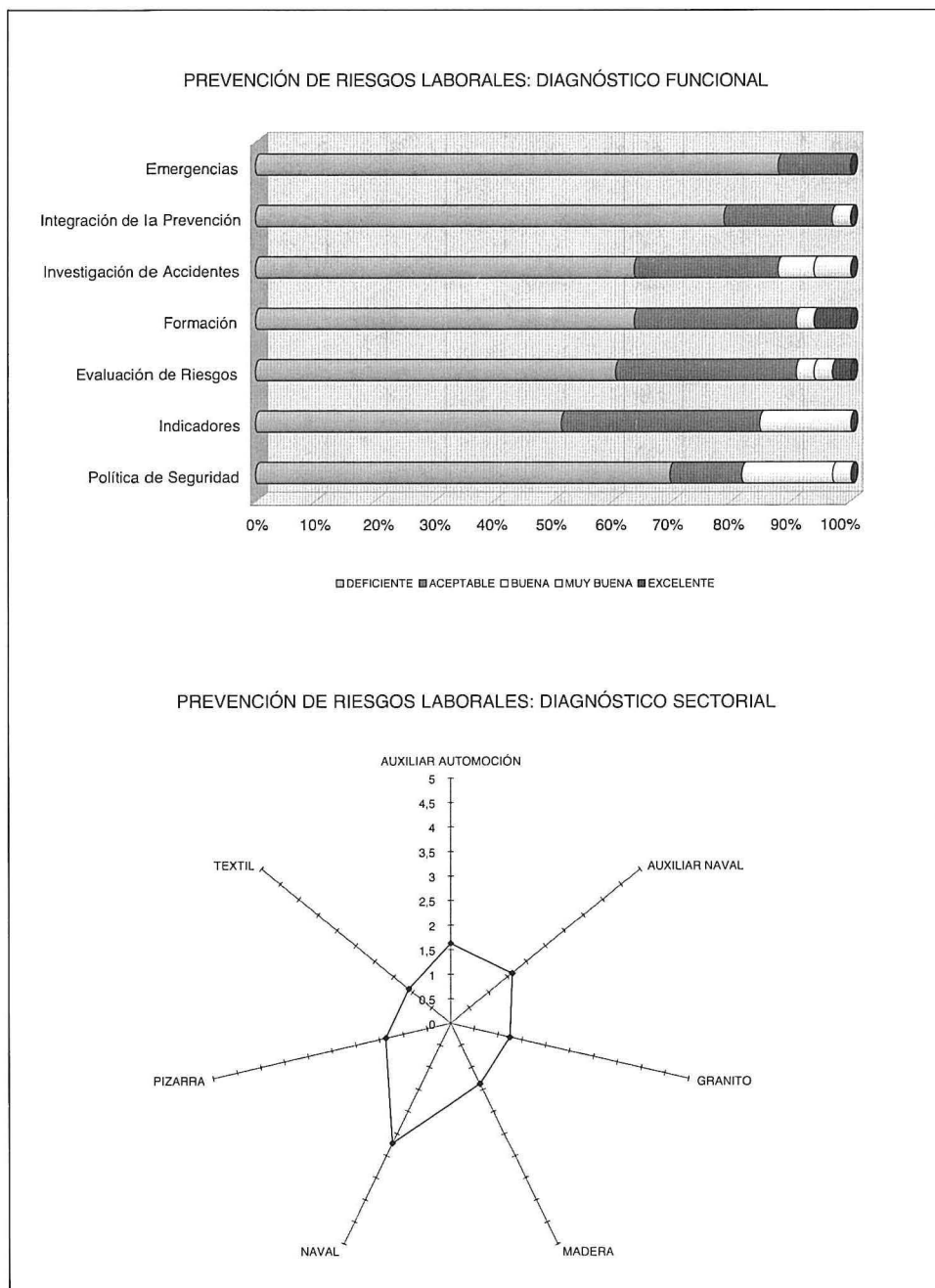


Tabla 3.10
Puntuación de los distintos factores para el área de medio ambiente
 (Fuente: Qalyman Project; CEE. 1997)

ÁREA TEMÁTICA: MEDIO AMBIENTE						
SECTOR	ALIAS	FUNCIONES				
		R	PT	PC	F	G
AUX. AUTOM.	1AA	2	2	2	2	2
	2AA	2	2	2	2	2
	3AA	2	2	2	2	2
	4AA	2	2	2	2	2
	5AA	2	2	2	2	2
AUX. NAVAL	1AN	2	2	3	2	2
	2AN	2	3	2	2	2
	3AN	2	2	2	2	2
	4AN	2	4	2	2	2
	5AN	2	4	2	2	2
	6AN	4	4	2	2	2
GRANITO						
	1G	2	3	2	2	2
	2G	2	3	2	2	2
	3G	2	3	2	2	2
MADERA	4G	1	1	1	1	1
	1M	2	2	2	2	2
	2M	2	2	1	1	1
	3M	2	2	2	2	2
	4M	1	1	1	1	1
NAVAL	5M	2	3	2	2	2
	1N	2	2	2	2	2
PIZARRA	2N	2	3	2	2	2
	1P	2	2	2	2	2
	2P	3	3	3	3	3
TEXTIL	3P	1	2	1	1	1
	4P	1	1	1	1	1
	1T	2	3	2	2	2
	2T	2	4	2	2	2
	3T	1	4	2	2	2
	4T	2	3	2	2	2
	5T	2	4	1	2	2
	6T	2	4	2	1	2
	7T	2	4	2	2	1

Figura 3.5
Gráficos de puntuaciones para el área de medio ambiente

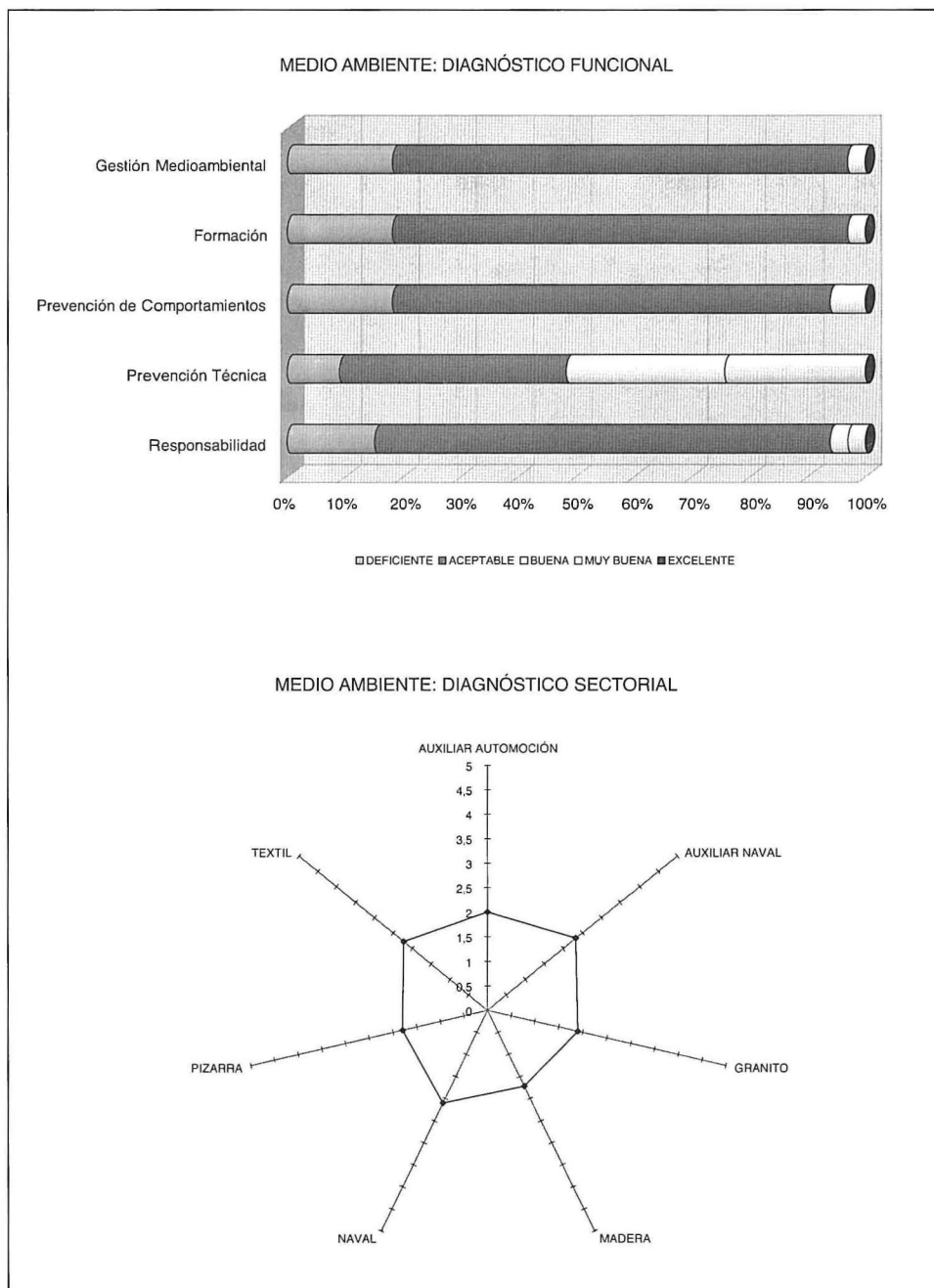
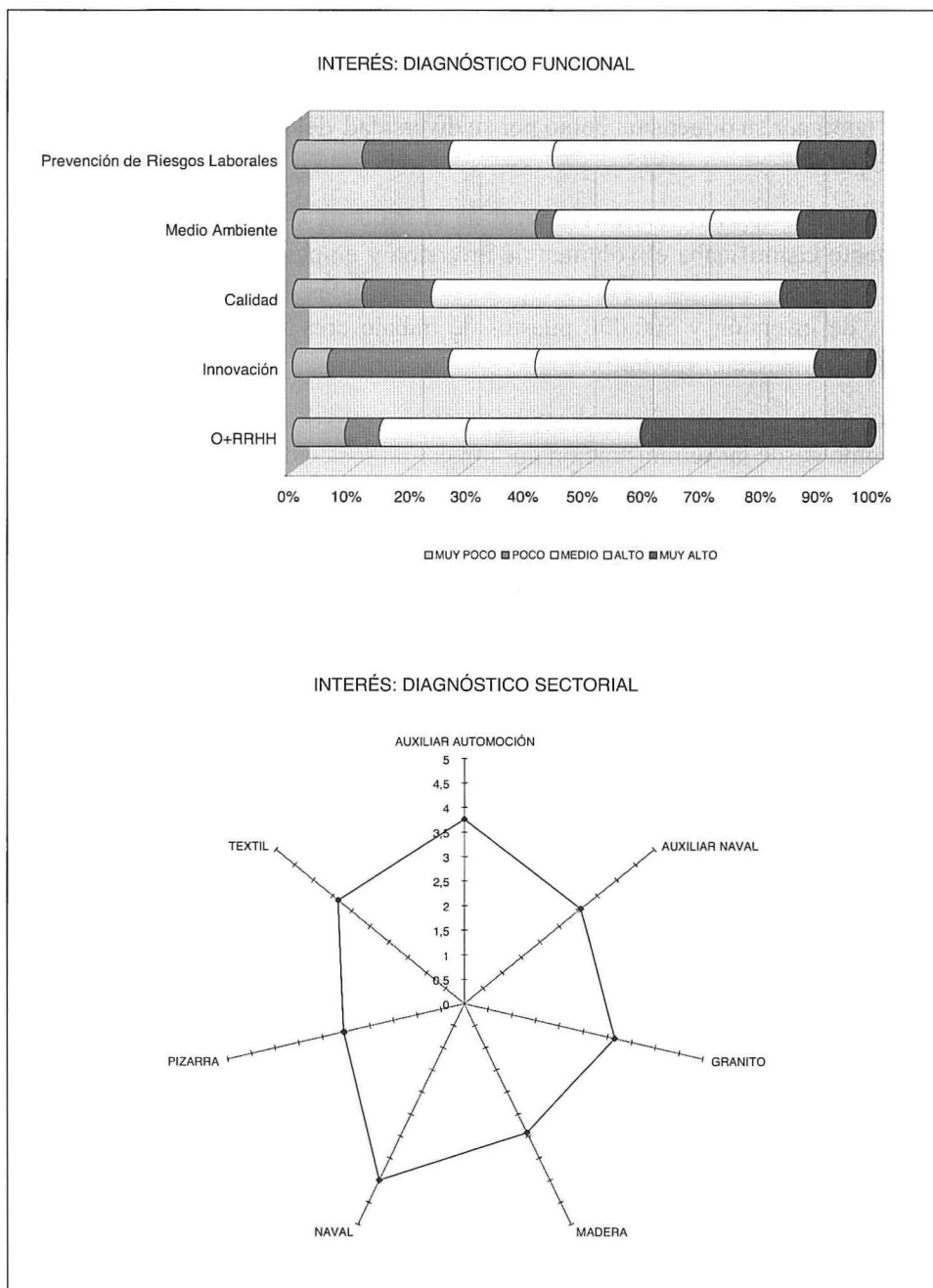


Tabla 3.11
Puntuación de los distintos factores para el parámetro interés
 (Fuente: Qalyman Project; CEE. 1997)

PARÁMETRO: INTERÉS						
SECTOR	ALIAS	SUBSISTEMA				
		O-RH	I	Q	MA	PRL
AUX. AUTOM.	1AA	4	4	4	3	4
	2AA	5	5	3	5	4
	3AA	4	3	3	3	2
	4AA	5	4	3	5	4
	5AA	4	4	3	2	4
AUX. NAVAL	1AN	3	2	4	0	1
	2AN	5	4	5	5	3
	3AN	2	2	2	1	2
	4AN	5	2	5	4	5
	5AN	3	5	3	3	2
	6AN	3	2	4	4	1
GRANITO	1G	4	4	4	4	4
	2G	1	1	2	0	2
	3G	4	4	4	4	3
	4G	5	4	3	1	5
MADERA	1M	5	4	3	5	3
	2M	2	2	1	3	4
	3M	3	2	2	4	1
	4M	1	2	1	1	3
	5M	5	4	5	3	4
NAVAL	1N	4	4	4	3	5
	2N	4	3	5	3	5
PIZARRA	1P	3	4	3	3	2
	2P	5	4	0	3	4
	3P	5	4	3	1	4
	4P	1	1	0	1	0
TEXTIL	1T	5	3	3	1	3
	2T	5	5	4	1	4
	3T	4	4	2	1	4
	4T	5	4	4	1	4
	5T	4	4	4	1	4
	6T	5	3	5	1	4
	7T	4	3	4	1	3

Figura 3.6
Gráficos de puntuación para el parámetro interés



3.5 El proyecto como fuente de datos para el estudio. Utilización de resultados

Los sectores y empresas participantes en Qualyman, mayoritariamente PYMEs con un buen potencial de futuro, componen una extraordinaria muestra representativa tanto por su dimensión como por su diversidad, del mayoritario tejido industrial español.

En informe de la Dirección General de la Pequeña y Mediana Empresa, este estamento cuantificaba el volumen de inversión y empleo en el cuatrienio 1996-1999, generado por las PYMEs españolas. Los datos son elocuentes: 800.000 MPTA de inversión y 500.000 puestos de trabajo creados entre empleo directo (33.000) e inducido (470.000).

Estos datos ponen de relieve el creciente interés tanto desde los sectores económicos, como desde la Administración por ofrecer un sostenido apoyo para la creación y desarrollo de este tipo de empresas, muchas de las cuales se empiezan a denominar como empresas EIBT (Empresas Innovadoras de Base Tecnológica) con el deseo de que estas siglas respondan a los conceptos que engloban. En tal sentido, es primordial que tanto las metodologías como los instrumentos que se pongan en juego resulten adecuados para conseguir un crecimiento mantenido en estas empresas.

En esta línea, programas como ADAPT han ofrecido desde la Comisión de las Comunidades Europeas la oportunidad de desarrollar proyectos pilotos como Qualyman y poder disponer así de una excelente base de datos, para, partiendo de ella poder articular productos y diseñar infraestructuras que desde la óptica del realismo y el pragmatismo coadyuven a la mejor potenciación y desarrollo de las PYMEs europeas y particularmente las españolas.

Los resultados obtenidos en las empresas participantes en Qualyman, en los diferentes subsistemas analizados, conforman una extensa y variada base de datos de primer orden para poder abordar el diseño de aportaciones válidas para una mejor explotación de resultados, y lo es más en tanto y en cuanto esta base de datos se fundamenta en un conocimiento directo obtenido del prolongado contacto con los empresarios y personal de estas empresas, de sus inquietudes, carencias y riesgos derivados de su entorno tanto interno como externo.

Sobre esta base se articula el presente estudio, con el propósito de ofrecer criterios metodológicos e instrumentos de carácter eminentemente práctico, y por ende operativos, que ayuden al establecimiento real de sistemas participativos de gestión

generadores de resultados, centrando el trabajo sobre las carencias y necesidades más relevantes en el terreno de la PRL.

Para poder establecer un tratamiento analítico de los datos con un elevado poder explicativo es preciso disponer de una escala continua con propiedades de escala de intervalo. Como ya se ha indicado, la filosofía de este tipo de escalas subyace en los criterios seguidos por los analistas para otorgar las puntuaciones de campo. Como también se ha indicado, las mayores diferencias a la hora de adoptar una escala continua estribarán en las desviaciones del proceso de discretización final al que los analistas sometieron los resultados. Esta dificultad puede atenuarse mediante la consideración de dos elementos.

Desde el punto de vista interpretativo, se definen los siguientes intervalos en la escala continua así como su correspondencia con los niveles de la escala ordinal:

Intervalo de la escala continua	Nivel de la escala ordinal	Interpretación
[0-1,5]	1	Situación inadecuada
(1,5-2,5]	2	Situación regular
(2,5-3,5]	3	Situación aceptable
(3,5-4,5]	4	Potencial positivo
(4,5-5]	5	Situación satisfactoria

Complementariamente se estima el error relativo máximo de las diferencias existentes entre las puntuaciones globales otorgadas por los analistas mediante la discretización y las que se hubieran obtenido si no se hubiera efectuado tal operación (es decir, si se utilizara una escala continua). Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.12
Errores relativos derivados de la dotación
de continuidad de la escala de medida

ALIAS	O+RRHH			Q			INNOVAC.			PRL			M. AMB.		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1AA	2,0	2,4	16,7	3,0	3,3	10,0	3,0	2,7	10,5	1,0	1,0	0,0	2,0	2,0	0,0
2AA	2,0	2,3	13,0	5,0	4,7	7,1	4,0	4,1	3,4	3,0	2,6	16,7	2,0	2,0	0,0
3AA	2,0	2,2	9,1	2,0	1,7	20,0	2,0	2,4	17,6	1,0	1,1	12,5	2,0	2,0	0,0
4AA	3,0	2,6	15,4	5,0	4,7	7,1	3,0	3,4	12,5	2,0	2,3	12,5	2,0	2,0	0,0
5AA	3,0	2,5	20,0	3,0	3,3	10,0	3,0	3,1	4,5	1,0	1,1	12,5	2,0	2,0	0,0
1AN	2,0	2,2	9,1	2,0	2,0	0,0	2,0	2,1	6,7	1,0	1,0	0,0	2,0	2,2	9,1
2AN	3,0	2,6	15,4	2,0	2,3	14,3	3,0	3,1	4,5	1,0	1,4	30,0	2,0	2,2	9,1
3AN	2,0	2,4	16,7	3,0	2,7	12,5	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0	0,0
4AN	3,0	2,7	11,1	3,0	3,3	10,0	4,0	3,7	7,7	2,0	2,3	12,5	2,0	2,4	16,7
5AN	3,0	2,5	20,0	3,0	3,3	10,0	2,0	2,0	0,0	2,0	1,7	16,7	2,0	2,4	16,7
6AN	2,0	2,1	4,8	3,0	3,0	0,0	2,0	2,0	0,0	1,0	1,3	22,2	3,0	2,8	7,1
1G	2,0	2,3	13,0	2,0	1,7	20,0	3,0	2,9	5,0	1,0	1,0	0,0	2,0	2,2	9,1
2G	2,0	2,2	9,1	2,0	1,7	20,0	1,0	1,4	30,0	1,0	1,4	30,0	2,0	2,2	9,1
3G	3,0	2,7	11,1	2,0	2,0	0,0	3,0	3,1	4,5	1,0	1,4	30,0	2,0	2,2	9,1
4G	1,0	1,0	0,0	2,0	2,0	0,0	3,0	2,9	5,0	1,0	1,1	12,5	1,0	1,0	0,0
1M	2,0	2,2	9,1	2,0	1,7	20,0	2,0	2,3	12,5	1,0	1,0	0,0	2,0	2,0	0,0
2M	2,0	2,2	9,1	3,0	2,7	12,5	3,0	3,3	8,7	2,0	2,4	17,6	1,0	1,4	28,6
3M	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	2,0	2,3	12,5	1,0	1,1	12,5	2,0	2,0	0,0
4M	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	2,0	2,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0
5M	2,0	2,2	9,1	3,0	3,3	10,0	2,0	2,3	12,5	1,0	1,3	22,2	2,0	2,2	9,1
1N	2,0	2,3	13,0	2,0	2,0	0,0	2,0	1,9	7,7	2,0	1,7	16,7	2,0	2,0	0,0
2N	3,0	2,6	15,4	5,0	4,7	7,1	4,0	3,6	12,0	4,0	3,7	7,7	2,0	2,2	9,1
1P	2,0	2,0	0,0	2,0	2,3	14,3	3,0	3,0	0,0	2,0	1,6	27,3	2,0	2,0	0,0
2P	2,0	2,1	4,8	3,0	2,7	12,5	3,0	2,6	16,7	1,0	1,4	30,0	3,0	3,0	0,0
3P	2,0	2,1	4,8	3,0	2,7	12,5	3,0	2,6	16,7	1,0	1,4	30,0	1,0	1,2	16,7
4P	2,0	2,1	4,8	1,0	1,3	25,0	3,0	2,6	16,7	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0
1T	1,0	1,0	0,0	4,0	3,7	9,1	2,0	2,3	12,5	1,0	1,0	0,0	2,0	2,2	9,1
2T	2,0	1,9	5,3	3,0	3,3	10,0	3,0	3,1	4,5	1,0	1,0	0,0	2,0	2,4	16,7
3T	2,0	2,2	9,1	4,0	3,7	9,1	3,0	3,0	0,0	1,0	1,4	30,0	2,0	2,2	9,1
4T	2,0	2,2	9,1	2,0	1,7	20,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0	2,0	2,2	9,1
5T	3,0	2,7	11,1	3,0	3,3	10,0	3,0	3,4	12,5	1,0	1,0	0,0	2,0	2,2	9,1
6T	3,0	2,5	20,0	4,0	3,7	9,1	3,0	2,6	16,7	1,0	1,1	12,5	2,0	2,2	9,1
7T	2,0	2,0	0,0	3,0	2,7	12,5	3,0	2,7	10,5	1,0	1,1	12,5	2,0	2,2	9,1

Leyenda:

- (1) = puntuación otorgada por el evaluador en escala discreta (ordinal)
- (2) = puntuación media obtenida en escala continua
- (3) = error relativo $(= [(1)-(2)/(2)] \times 100)$

Como se puede observar, lógicamente los mayores errores corresponden a aquellos valores menores dentro de la escala continua (ya que en todos los casos el error absoluto máximo sería media división de escala). Por otro lado, estos errores se mantienen dentro de unos límites inferiores al 30%.

Por las ya aludidas razones de beneficio en términos de riqueza interpretativa, aportada por las diferentes metodologías analíticas que se desarrollarán en los siguientes apartados del presente trabajo, se asumen estos errores como aceptables para los fines propuestos y se resuelve dotar de continuidad a la escala en los términos descritos.

Complementariamente, cabe señalar que esta decisión, habitual en el terreno de las denominadas “prácticas conductistas”, encuentra también manifestaciones en otras disciplinas tradicionalmente “analíticas”. En este sentido, un referente ilustrativo sobre el particular, temporalmente coherente con el momento de realización del estudio, puede encontrarse en los trabajos de Malecki et al., por ejemplo (Malecki et al., 1999).

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

4.1 Introducción

El tratamiento analítico de una muestra de las características de la presentada pasa por el desarrollo de técnicas de análisis multivariante. De un modo genérico, los valores presentados para cada una de las áreas temáticas de la empresa analizadas, se recogen en “p” variables de análisis intercorrelacionadas, siendo el número de individuos analizados, “N”, igual a 33 (nº de empresas). Así pues, genéricamente la matriz de partida tendrá unas dimensiones de $N \times p$.

Atendiendo a la clasificación de Kendall (ver apéndice A del presente trabajo), las metodologías de aplicación para el tratamiento de una muestra de las características de la especificada son la técnica de análisis de componentes principales y la técnica de análisis factorial. Ambas metodologías se encaminan a reducir la dimensión del espacio muestral original al número mínimo de dimensiones necesarias para reproducir la información relevante contenida en el conjunto inicial de observaciones, estribando la diferencia entre ambas en el tipo de información que retienen. En el presente trabajo, la técnica que se va a emplear es la de análisis factorial.

De un modo general, la técnica de análisis factorial consiste en resumir la información contenida en una matriz de datos referente a muestras de varias variables, mediante un número sensiblemente menor de nuevas variables (llamadas factores) que representen lo mejor posible a las variables originales con una pérdida mínima de información. El criterio que preside la síntesis es el de la detección de unos factores comunes a las “p” variables de análisis y en número $n < p$, de manera que el contenido común a las variables originales pueda ser explicado por los “n” factores.

Una descripción detallada de los fundamentos y desarrollo del método puede encontrarse en el ya aludido apéndice A.

En estas condiciones, el tratamiento estadístico de los datos, que se desarrollará en el presente capítulo, seguirá la siguiente secuencia de actuación:

1. Aplicación de la técnica de análisis factorial a la muestra objeto de estudio. Dicho análisis se realizará para cada una de las áreas temáticas analizadas, y las variables de análisis serán las correspondientes a las funciones analizadas para cada área, más la relativa al parámetro interés para dicha área.
2. Sobre la base de los resultados obtenidos por la aplicación de la técnica de análisis factorial, desarrollo de una heurística encaminada a la obtención de un indicador global de situación que refleje en una sola cifra el estado general de situación de la empresa para cada una de las áreas temáticas.
3. Validación de la heurística, mediante la comparación (por análisis de correlación) entre los valores arrojados por la misma y los otorgados por los analistas de campo.

4.2 Aplicación de la técnica de análisis factorial

Conforme a lo indicado en el apéndice A, se ha optado por la aplicación de un análisis factorial con rotación Varimax normalizada, y como test de contraste se ha seleccionado el de esfericidad de Barlett para la hipótesis nula de incorrelación.

Como herramienta informática de apoyo para la resolución se ha empleado el software “Statgraphics V 5.0” desarrollado por STSC Inc. y Statistical Graphics Corporation. En concreto, dentro del bloque “Advanced Procedures” se ha seleccionado el módulo relativo a “Multivariate Methods” y dentro de éste la opción “Factor Analysis”. Como parámetros de operación de la heurística se han seleccionado los siguientes (STSC Inc., 1987):

- Standardize: Yes
- Type of rotation: Varimax
- Convergence criterion: 1E-5
- Iterations: 100

Los resultados se presentan empleando para la codificación de las variables el mismo criterio que el presentado en el capítulo 3.

La estructura de presentación de los resultados es la siguiente:

- En un primer bloque se presentan los resultados de realizar una factorización de la matriz inicial de partida. Los datos recogidos son las comunidades estimadas

para cada variable, los autovalores y el porcentaje de variabilidad explicado por cada factor.

Sobre estos datos se sustenta la decisión del número de factores a extraer en la siguiente fase del análisis para la síntesis de los datos originales. Como se indica en el apéndice A, el criterio seguido en el presente trabajo es el de extraer un número de componentes tal que acumulen al menos un 80% de la varianza total.

- En el segundo bloque, se presenta la matriz de estructura factorial resultante de la extracción de los factores, a la cual, al objeto de maximizar / minimizar las correlaciones de los factores con las variables de partida, se le ha aplicado una rotación según el criterio VARIMAX.
- A continuación, se presentan los resultados de las comunalidades obtenidas por las variables de partida tras la extracción de los factores.
- Finalmente, se realiza un test de esfericidad (normalidad e independencia) de Barlett, en virtud del cual se contrasta la hipótesis nula de incorrelación en la matriz de partida, cuyo no rechazo supondría que la técnica de factorización carecería de sentido. El nivel de significación empleado para el test es 0.5. Como se puede observar en los resultados que se van a presentar, en todos los casos el valor del test está por encima del valor de rechazo, con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa (existencia de correlación en las variables de partida, con lo que la aplicación de la técnica de factorización está justificada).

Sobre estos presupuestos, los resultados obtenidos para las distintas áreas temáticas son los que a continuación se presentan.

Tabla 4.1
Resultados del análisis factorial para el área de O+RRHH

ÁREA TEMÁTICA: ORGANIZACIÓN Y RECURSOS HUMANOS					
Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	CumPercent
ORH-EO	0,75987	1	6	54,1	54,1
ORH-DP	0,71385	2	1	11,7	65,8
ORH-DV	0,71652	3	0,88394	8	73,8
ORH-RT	0,91919	4	0,81538	7,4	81,2
ORH-GO	0,76885	5	0,59451	5,4	86,6
ORH-ED	0,87191	6	0,44757	4,1	90,7
ORH-AL	0,61226	7	0,3686	3,4	94
ORH-FC	0,76864	8	0,2872	2,6	96,6
ORH-IC	0,70331	9	0,18894	1,7	98,4
ORH-RS	0,57056	10	0,13755	1,3	99,6
ORH-INTERES	0,22959	11	0,04235	0,4	100

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX				
Variable/Factor	1	2	3	4
ORH-EO	0,26375	0,79171	0,30007	0,1682
ORH-DP	0,21208	0,898	0,08832	0,089
ORH-DV	0,21551	0,65158	0,44379	-0,02291
ORH-RT	0,92256	0,24239	0,18144	-0,09134
ORH-GO	0,81934	0,17982	0,33678	-0,00059
ORH-ED	0,82945	0,34907	0,21847	0,06509
ORH-AL	0,32645	0,59169	0,46981	-0,02627
ORH-FC	0,27327	0,47636	0,67082	0,05394
ORH-IC	0,40687	0,16968	0,72812	0,19439
ORH-RS	0,16023	0,22535	0,8434	0,01852
ORH-INTERÉS	-0,03325	0,10591	0,09112	0,97436

Variable	Communality
ORH-EO	0,8147
ORH-DP	0,86711
ORH-DV	0,66847
ORH-RT	0,95113
ORH-GO	0,81707
ORH-ED	0,8618
ORH-AL	0,67808
ORH-FC	0,75451
ORH-IC	0,76228
ORH-RS	0,78813
ORH-INTERÉS	0,97

Test	N	p	n	g.l.	Valor	Rechazo (0.5%)	Decisión
Barlett	33	11	4	55	255.22	85.76	Correlación

Tabla 4.2
Resultados del análisis factorial para el área de calidad

ÁREA TEMÁTICA: CALIDAD

Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
Q-EN	0,62776	1	2,45172	61,30000	61,30000
Q-GC	0,59497	2	0,87403	21,90000	83,10000
Q-HE	0,39804	3	0,44349	11,10000	94,20000
Q-INTERÉS	0,24458	4	0,23076	5,80000	100,00000

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX

Variable/Factor	1	2
Q-EN	0,76924	0,46989
Q-GC	0,89777	0,12645
Q-HE	0,85128	0,04652
Q-INTERÉS	0,11919	0,97478

Variable	Communality
Q-EN	0,81252
Q-GC	0,82198
Q-HE	0,72685
Q-INTERÉS	0,96441

Test	N	p	n	g.l.	Valor	Rechazo (0.5%)	Decisión
Barlett	33	4	2	6	45.26	18.55	Correlación

Tabla 4.3
Resultados del análisis factorial para el área de innovación

ÁREA TEMÁTICA: INNOVACIÓN					
Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
I-ES	0,93313	1,00000	4,17868	52,20000	52,20000
I-OB	0,93245	2,00000	1,03994	13,00000	65,20000
I-GI	0,43234	3,00000	0,97376	12,20000	77,40000
I-HM	0,59845	4,00000	0,72057	9,00000	86,40000
I-CO	0,70885	5,00000	0,49959	6,20000	92,70000
I-FI	0,53368	6,00000	0,37033	4,60000	97,30000
I-TC	0,30484	7,00000	0,18236	2,30000	99,60000
I-INTERÉS	0,34955	8,00000	0,03477	0,40000	100,00000

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX				
Variable/Factor	1	2	3	4
I-ES	0,75815	0,42459	0,1646	0,30226
I-OB	0,78597	0,41811	0,09527	0,31148
I-GI	0,87086	0,08313	0,18724	0,01359
I-HM	0,37664	0,60303	0,52247	-0,20968
I-CO	0,30951	0,87641	0,17776	-0,01733
I-FI	0,13412	0,79698	-0,14126	0,43089
I-TC	0,19717	0,09194	0,18527	0,88055
I-INTERÉS	0,1739	0,03419	0,90688	0,22872

Variable	Communality
I-ES	0,87353
I-OB	0,89866
I-GI	0,80056
I-HM	0,82245
I-CO	0,89579
I-FI	0,85878
I-TC	0,85703
I-INTERÉS	0,90615

Test	N	p	n	g.l.	Valor	Rechazo (0.5%)	Decisión
Barlett	33	8	4	28	160,55	51,10	Correlación

Tabla 4.4
Resultados del análisis factorial para el área de PRL

ÁREA TEMÁTICA: PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES					
Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	CumPercent
PRL-PS	0,76919	1	4	54,9	54,9
PRL-IN	0,49274	2	1	13,8	68,7
PRL-ER	0,71283	3	0,9108	11,4	80,1
PRL-F	0,65677	4	0,51837	6,5	86,6
PRL-IA	0,69037	5	0,42512	5,3	91,9
PRL-IP	0,82322	6	0,32125	4	95,9
PRL-EM	0,66931	7	0,24585	3,1	99
PRL-INTERÉS	0,24316	8	0,0817	1	100

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX			
Variable/Factor	1	2	3
PRL-PS	0,75665	0,23746	0,42289
PRL-IN	0,13661	0,92678	-0,03696
PRL-ER	0,50316	0,54796	0,45259
PRL-F	0,75533	0,13055	0,30904
PRL-IA	0,41944	0,72726	0,30083
PRL-IP	0,84522	0,36565	0,08035
PRL-EM	0,83441	0,18884	-0,22961
PRL-INTERÉS	0,05299	0,07691	0,91458

Variable	Communality
PRL-PS	0,80775
PRL-IN	0,87896
PRL-ER	0,75827
PRL-F	0,68307
PRL-IA	0,79533
PRL-IP	0,85455
PRL-EM	0,78462
PRL-INTERÉS	0,84518

Test	N	p	n	g.l.	Valor	Rechazo (0.5%)	Decisión
Barlett	33	8	3	28	149,99	51,10	Correlación

Tabla 4.5
Resultados del análisis factorial para el área de medio ambiente

ÁREA TEMÁTICA: MEDIO AMBIENTE					
Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	CumPercent
MA-R	0,48427	1	3,59829	60	60
MA-PT	0,27561	2	1,02150	17	77
MA-PC	0,77206	3	0,66510	11,1	88,1
MA-F	0,77206	4	0,39471	6,6	94,7
MA-G	0,77206	5	0,16019	2,7	97,3
MA-INTERÉS	0,2295	6	0,16019	2,7	100

VARIMAX ROTATED FACTOR MATRIX			
Variable/Factor	1	2	3
MA-R	0,46569	0,54019	0,49338
MA-PT	0,2202	0,93302	-0,08091
MA-PC	0,90319	0,21096	0,17552
MA-F	0,90319	0,21096	0,17552
MA-G	0,90319	0,21096	0,17552
MA-INTERÉS	0,18071	-0,05795	0,94765

Variable	Communality
MA-R	0,7521
MA-PT	0,92556
MA-PC	0,89106
MA-F	0,89106
MA-G	0,89106
MA-INTERÉS	0,93405

Test	N	p	n	g.l.	Valor	Rechazo (0.5%)	Decisión
Barlett	33	6	3	15	107,87	32,94	Correlación

4.3 Indicador global de situación: heurística desarrollada y su validación

En el apartado anterior se ha desarrollado una metodología encaminada a la reducción del conjunto inicial de variables analizadas para cada una de las áreas temáticas consideradas, mediante la extracción de un número determinado de factores representativos de la información del conjunto.

Aun siendo ésta una simplificación notable, desde el punto de vista gerencial resulta muy útil disponer de un único indicador que pueda soportar de un modo rápido y fiable las actuaciones del decisor. Este indicador se va a denominar “**indicador global de situación**” (IG_{SN}). A continuación se describe la fundamentación y metodología de desarrollo para la obtención del mismo.

4.3.1 Desarrollo de la heurística

Conforme al planteamiento de tratamiento de los datos presentado hasta este punto, dos son los elementos capitales desde el punto de vista de aporte informativo para la metodología desarrollada, a saber: los autovalores y los elementos de la matriz rotada de la estructura factorial.

Como se indica en el apéndice A, los autovalores representan la cantidad total de varianza extraída, teniendo, en términos de variables normalizadas como es el caso, un rango de variación posible entre cero y p (número inicial de variables o componentes de la variable vectorial de partida). En consecuencia, un primer estándar en términos de cuantificación del total de información inicial extractada pasa por ponderar estos autovalores respecto a una escala normalizada. La ponderación se va a efectuar considerando únicamente el número de factores que van a ser extraídos en el proceso de factorización.

Por su parte, los elementos de la estructura factorial determinan el nivel de correlación existente entre las variables originales y los factores extraídos, resultando por tanto un elemento interpretativo de consideración básica. Ya en 1960 Kaiser reflejó con gran claridad el hecho indicando que “un factor es un vector de coeficientes de correlación” (Kaiser, 1960). En concreto, el cuadrado de la correlación (determinada por el elemento correspondiente de la matriz de estructura factorial) entre la variable i con el factor j indica la parte de varianza extractada para esa variable por el factor considerado o, lo que es lo mismo, la importancia relativa de esa variable dentro del peso total del factor. Por tanto, una segunda etapa de la metodología pasará por ponderar más aquellas variables que tengan un mayor grado de correlación con los factores.

En una tercera etapa del desarrollo se combinarán ambos elementos de ponderación para obtener un único elemento de ponderación global normalizado, el cual finalmente será aplicado a los valores iniciales de las variables componentes del área temática considerada al objeto de obtener el “indicador global de situación” para dicha área.

Para el desarrollo de la heurística de ponderación se ha adoptado la siguiente notación:

N = nº de individuos de la muestra (=33).

p = nº de elementos (variables iniciales) para la variable vectorial representativa del área temática.

n = nº de factores extraídos en el análisis factorial.

λ = autovalores resultantes del análisis factorial.

M = Matriz rotada de la estructura factorial. Sus dimensiones serán $(p \times n)$

m_{ij} = Elemento genérico de la matriz M .

Analíticamente el desarrollo de la heurística se puede explicitar en los siguientes términos:

1. Ponderación de los autovalores

Los autovalores ponderados, A_j , vendrán dados por:

$$A_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

2. Ponderación de la estructura factorial

Dada la matriz M de la estructura factorial rotada, definida por:

	f_1	f_2	...	f_n
v_1	m_{11}	m_{12}	...	m_{1n}
v_2	m_{21}	m_{22}	...	m_{2n}
...	...	...	...	...
v_p	m_{p1}	m_{p2}	...	m_{pn}

donde:

v_i = variables iniciales del área funcional ($i=1,...,p$)

f_j = factores extraídos en el análisis factorial ($j=1,...,n$)

Los elementos ponderados M_{ij} de dicha estructura vendrán dados por:

$$M_{ij} = \frac{m_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p m_{ij}^2} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

3. Obtención del peso de ponderación global

Combinando los elementos de ponderación anteriores y normalizando en una escala (0,1), se obtiene el peso de ponderación global, W_i . Analíticamente el proceso queda reflejado en los siguientes términos:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n (A_j M_{ij})}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (A_j M_{ij})} \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

4. Obtención del índice global de situación

Aplicando el peso de ponderación, obtenido conforme a lo indicado en el punto anterior, a cada una de las variables iniciales del área temática, se obtiene finalmente el indicador global de situación para dicha área funcional. Algebraicamente, el proceso vendrá definido por:

$$IGS_N = \sum_{i=1}^p W_i V_i \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

donde:

IGS_N = Indicador global de posición de la empresa N .

Aplicando la heurística presentada a las distintas áreas temáticas, se obtienen los siguientes resultados (al objeto de evitar una excesiva reiteración en la presentación, se incluyen los cálculos completos para el área temática de calidad —ya que al ser la que tiene menos variables hace menos voluminosa su presentación desarrollada—, incluyéndose para las demás áreas directamente los resultados del cálculo).

ÁREA TEMÁTICA: CALIDAD

• Ponderación de los autovalores

Factor	Eigenvalue	A_p
1	2,45172	0,737193
2	0,87403	0,262807

• Ponderación de la estructura factorial

Variable/Factor	f1	M_{i1}	f2	M_{i2}
Q-EN	0,76924	0,276949	0,46989	0,185677
Q-GC	0,89777	0,37723	0,12645	0,013446
Q-HE	0,85128	0,339172	0,04652	0,00182
Q-INTERÉS	0,11919	0,006649	0,97478	0,799057

• Obtención del peso de ponderación global

Variable	A_1	M_{i1}	A_2	M_{i2}	W_i
Q-EN	0,7371931	0,2769488	0,2628069	0,1856766	0,2529618
Q-GC	0,7371931	0,3772297	0,2628069	0,0134463	0,2816249
Q-HE	0,7371931	0,3391725	0,2628069	0,0018199	0,2505139
Q-INTERÉS	0,7371931	0,006649	0,2628069	0,7990573	0,2148993

• Obtención del indicador global de situación

ALIAS	Q-EN	W_i	Q-GC	W_i	Q-HE	W_i	Q-INTERÉS	W_i	IG_{SN}
1AA	3	0,2530	3	0,2816	4	0,2505	4	0,2149	3,47
2AA	5	0,2530	5	0,2816	4	0,2505	3	0,2149	4,32
3AA	3	0,2530	1	0,2816	1	0,2505	3	0,2149	1,94
4AA	5	0,2530	4	0,2816	5	0,2505	3	0,2149	4,29
5AA	4	0,2530	4	0,2816	2	0,2505	3	0,2149	3,28
1AN	3	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	4	0,2149	2,43
2AN	4	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	5	0,2149	2,90
3AN	4	0,2530	3	0,2816	1	0,2505	2	0,2149	2,54
4AN	4	0,2530	5	0,2816	1	0,2505	5	0,2149	3,74
5AN	4	0,2530	4	0,2816	2	0,2505	3	0,2149	3,28
6AN	4	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	4	0,2149	3,22
1G	3	0,2530	1	0,2816	1	0,2505	4	0,2149	2,15
2G	2	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	2	0,2149	1,75
3G	3	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	4	0,2149	2,43

4G	3	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	3	0,2149	2,22
1M	2	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	3	0,2149	1,96
2M	3	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	1	0,2149	2,32
3M	1	0,2530	1	0,2816	1	0,2505	2	0,2149	1,21
4M	1	0,2530	1	0,2816	1	0,2505	1	0,2149	1,00
5M	4	0,2530	4	0,2816	2	0,2505	5	0,2149	3,71
1N	3	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	4	0,2149	2,43
2N	5	0,2530	5	0,2816	4	0,2505	5	0,2149	4,75
1P	3	0,2530	2	0,2816	2	0,2505	3	0,2149	2,47
2P	3	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	0	0,2149	2,10
3P	3	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	3	0,2149	2,75
4P	1	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	0	0,2149	1,07
1T	4	0,2530	5	0,2816	2	0,2505	3	0,2149	3,57
2T	5	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	4	0,2149	3,47
3T	4	0,2530	5	0,2816	2	0,2505	2	0,2149	3,35
4T	2	0,2530	2	0,2816	1	0,2505	4	0,2149	2,18
5T	4	0,2530	3	0,2816	3	0,2505	4	0,2149	3,47
6T	3	0,2530	4	0,2816	4	0,2505	5	0,2149	3,96
7T	3	0,2530	3	0,2816	2	0,2505	4	0,2149	2,96

Procediendo en términos análogos para el resto de las áreas temáticas, se obtiene el siguiente conjunto de indicadores globales de situación para las 33 participantes en el proyecto:

Tabla 4.6
Indicadores globales de situación resultantes

ALIAS EMPRESA	IGS _N				
	O+RRHH	CALIDAD	INNOVAC.	P.R.L.	MEDIO AMBIENTE
1AA	2,39	3,47	3,16	1,25	2,10
2AA	2,40	4,32	4,28	2,55	2,30
3AA	2,28	1,94	2,53	1,16	2,10
4AA	2,59	4,29	3,68	2,27	2,30
5AA	2,43	3,28	3,52	1,33	2,00
1AN	2,19	2,43	2,28	1,00	2,01
2AN	2,57	2,90	3,37	1,62	2,44
3AN	2,21	2,54	2,00	2,00	1,90
4AN	2,61	3,74	3,67	2,48	2,48
5AN	2,64	3,28	2,32	1,81	2,38
6AN	1,70	3,22	2,00	1,29	2,73
1G	2,33	2,15	3,21	1,25	2,34
2G	2,30	1,75	1,33	1,39	1,94
3G	2,81	2,43	3,39	1,45	2,34
4G	1,34	2,22	3,12	1,43	1,00
1M	2,36	1,96	2,58	1,16	2,30
2M	2,09	2,32	3,10	2,49	1,46
3M	1,17	1,21	2,36	1,08	2,20
4M	1,00	1,00	2,00	1,16	1,00
5M	2,34	3,71	2,58	1,42	2,24
1N	2,32	2,43	1,99	1,98	2,10
2N	2,62	4,75	3,71	3,82	2,24
1P	2,08	2,47	3,29	1,44	2,10
2P	2,29	2,10	2,94	1,53	3,00
3P	2,29	2,75	2,94	1,53	1,14
4P	1,95	1,07	2,62	0,92	1,00
1T	1,34	3,57	2,37	1,16	2,04
2T	2,22	3,47	3,45	1,25	2,18
3T	2,28	3,35	3,16	1,66	2,06
4T	2,35	2,18	3,16	1,25	2,04
5T	2,54	3,47	3,41	1,25	1,97
6T	2,61	3,96	2,63	1,33	1,97
7T	2,17	2,96	2,70	1,31	1,97

4.3.2 Validación de la heurística

Como elemento de validación de la heurística propuesta se procede a continuación, para cada una de las áreas temáticas, a comparar las puntuaciones medias obtenidas en escala continua a partir de los datos de campo de los evaluadores (véase tabla 3.12) con las obtenidas aquí mediante la aplicación de la heurística.

Sobre ambos grupos de valores, para cada una de las áreas temáticas, se aplica un análisis de regresión al objeto de determinar el nivel de relación de unos valores con otros. Complementariamente para el ajuste obtenido se aplican los contrastes de linealidad, normalidad y homocedasticidad al objeto de certificar la validez del mismo.

Como herramienta informática de apoyo para la resolución se ha empleado el software “Statgraphics V 5.0” desarrollado por STSC Inc. y Statistical Graphics Corporation. Los resultados obtenidos y su valoración se indican a continuación.

ÁREA: ORGANIZACIÓN Y RECURSOS HUMANOS

Los resultados asignados por los evaluadores de campo, conjuntamente con los resultados de aplicación de la heurística se recogen a continuación:

Tabla 4.7
Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (O+RRHH)

ALIAS EMPRESA	Heurística	Evaluadores
1AA	2,39	2,4
2AA	2,40	2,3
3AA	2,28	2,2
4AA	2,59	2,6
5AA	2,43	2,5
1AN	2,19	2,2
2AN	2,57	2,6
3AN	2,21	2,4
4AN	2,61	2,7
5AN	2,64	2,5
6AN	1,70	2,1
1G	2,33	2,3
2G	2,30	2,2
3G	2,81	2,7
4G	1,34	1,0
1M	2,36	2,2
2M	2,09	2,2
3M	1,17	1,0
4M	1,00	1,0
5M	2,34	2,2
1N	2,32	2,3
2N	2,62	2,6
1P	2,08	2,0
2P	2,29	2,1
3P	2,29	2,1
4P	1,95	2,1
1T	1,34	1,0
2T	2,22	1,9
3T	2,28	2,2
4T	2,35	2,2
5T	2,54	2,7
6T	2,61	2,5
7T	2,17	2,0

a) Resultados del ajuste – linealidad

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: ORRHH-Heurística Independent variable: ORRHH-Evaluador

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0,373239	0,114049	3,27262	0,00262
Slope	0,852016	0,0517531	16,4631	0,00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	5,44624	1	5,44624	271,0330	0,00000
Residual	0,622926	31	0,020094		
Lack-of-fit	0,1464048	8	0,0183006	0,883306	0,54507
Pure error	0,476521	23	0,020718		

Total (Corr.) 6,069164 32
 Correlation Coefficient = 0,947292 R-squared = 89,74 percent
 Std. Error of Est. = 0,141755

Como se puede observar, el coeficiente de determinación es bastante elevado (89,74 %), mientras que el error estándar de estimación es pequeño. Ambas situaciones soportan la afirmación de elevada dependencia e hipótesis de linealidad satisfactoria.

b) Normalidad

Para contrastar la hipótesis de normalidad, se evalúa la normalidad de los residuos. Para ello se aplican los tests Chi-cuadrado y el de Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de significación del 95% ($\alpha=0,05$). Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

b.1 Test Chi-cuadrado

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		-0,1000	6	7,8	0,4209
	-0,1000	0,0000	8	8,7	0,0543
	0,0000	0,1000	9	8,7	0,0113
above	0,1000		10	7,8	0,6120

Chisquare = 1,09841 with 1 d.f. Sig. level = 0,294616

b.2 Test Kolmogorov-Smirnov

```
Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0,133256  
Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0,117899  
Estimated overall statistic DN = 0,133256  
Approximate significance level = 0,601146
```

Como se puede observar en ambos casos, la hipótesis nula es lo suficientemente significativa como para rechazarla y aceptar la hipótesis de normalidad.

c) Homocedasticidad

La consideración de homocedasticidad supone una distribución aleatoria de los residuos. Para contrastar dicha hipótesis se van a utilizar dos tests de aleatoriedad a un nivel de significación del 99% ($\alpha=0,01$), a saber: test de aleatoriedad basado en contraste de la mediana y test de aleatoriedad basado en contraste de rachas. Los resultados de aplicación de ambos tests se indican a continuación:

c.1 Test de contraste de la mediana

```
Median = 0,0315203 based on 33 observations.  
Number of runs above and below median = 16  
Expected number = 17,4848  
Large sample test statistic Z = -0,348697  
Two-tailed probability of equaling or exceeding Z = 0,727313
```

c.2 Test de contraste de rachas

```
Number of runs up and down = 22  
Expected number = 21  
Large sample test statistic Z = 0,215833  
Two-tailed probability of equaling or exceeding Z = 0,829114
```

NOTE: 1 adjacent values ignored.

Como se puede observar, para ambos tests la hipótesis nula es altamente significativa, con lo que debe rechazarse y aceptarse la hipótesis de aleatoriedad y, en consecuencia, la de homocedasticidad.

ÁREA: CALIDAD

La metodología y su interpretación es idéntica a la del área anterior, con lo cual, y en aras de evitar reiteraciones innecesarias, únicamente se presentan a continuación los resultados de aplicación de la misma. La misma sistemática se adoptará para las áreas restantes.

Tabla 4.8
Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (calidad)

ALIAS EMPRESA	Heurística	Evalúadores
1AA	3,47	3,3
2AA	4,32	4,7
3AA	1,94	1,7
4AA	4,29	4,7
5AA	3,28	3,3
1AN	2,43	2,0
2AN	2,90	2,3
3AN	2,54	2,7
4AN	3,74	3,3
5AN	3,28	3,3
6AN	3,22	3,0
1G	2,15	1,7
2G	1,75	1,7
3G	2,43	2,0
4G	2,22	2,0
1M	1,96	1,7
2M	2,32	2,7
3M	1,21	1,0
4M	1,00	1,0
5M	3,71	3,3
1N	2,43	2,0
2N	4,75	4,7
1P	2,47	2,3
2P	2,10	2,7
3P	2,75	2,7
4P	1,07	1,3
1T	3,57	3,7
2T	3,47	3,3
3T	3,35	3,7
4T	2,18	1,7
5T	3,47	3,3
6T	3,96	3,7
7T	2,96	2,7

a) Resultados del ajuste – linealidad

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: CALIDAD-HEURÍSTICA Independent variable: CALIDAD-EVALUADOR

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0,414963	0,142415	2,91375	0,00657
Slope	0,885608	0,0494476	17,91	0,00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	25,59152	1	25,59152	320,7698	0,00000
Residual	2,473229	31	0,079782		
Lack-of-fit	1,2171953	8	0,1521494	2,786100	0,02586
Pure error	1,256034	23	0,054610		
Total (Corr.)	28,064752	32			
Correlation Coefficient = 0,954921			R-squared = 91,19 percent		
Stand. Error of Est. = 0,282456					

b) Normalidad

b.1 Test Chi-cuadrado

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	-0,23750	-0,23750	8	6,5	0,355
	-0,23750	-0,05000	6	7,7	0,360
	-0,05000	0,13750	7	8,6	0,301
above	0,13750		12	10,2	0,301

Chisquare = 1,31695 with 1 d.f. Sig. level = 0,251139

b.2 Test Kolmogorov-Smirnov

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0,0763535
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0,137765
 Estimated overall statistic DN = 0,137765
 Approximate significance level = 0,558197

c) Homocedasticidad

c.1 Test de contraste de la mediana

Median = 0,0338214 based on 33 observations,
 Number of runs above and below median = 15
 Expected number = 17,4848
 Large sample test statistic $Z = -0,702759$
 Two-tailed probability of equaling or exceeding $Z = 0,482204$

c.2 Test de contraste de rachas

Number of runs up and down = 25

Expected number = 21,6667

Large sample test statistic $Z = 1,20329$

Two-tailed probability of equaling or exceeding $z = 0,228865$

ÁREA: INNOVACIÓN

Tabla 4.9
Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (innovación)

ALIAS EMPRESA	Heurística	Evaluadores
1AA	3,16	2,7
2AA	4,28	4,1
3AA	2,53	2,4
4AA	3,68	3,4
5AA	3,52	3,1
1AN	2,28	2,1
2AN	3,37	3,1
3AN	2,00	2,0
4AN	3,67	3,7
5AN	2,32	2,0
6AN	2,00	2,0
1G	3,21	2,9
2G	1,33	1,4
3G	3,39	3,1
4G	3,12	2,9
1M	2,58	2,3
2M	3,10	3,3
3M	2,36	2,3
4M	2,00	2,0
5M	2,58	2,3
1N	1,99	1,9
2N	3,71	3,6
1P	3,29	3,0
2P	2,94	2,6
3P	2,94	2,6
4P	2,62	2,6
1T	2,37	2,3
2T	3,45	3,1
3T	3,16	3,0
4T	3,16	3,0
5T	3,41	3,4
6T	2,63	2,6
7T	2,70	2,7

a) Resultados del ajuste – linealidad

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: INNOV-HEURÍSTICA Independent variable: INNOV-EVALUADOR

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0,0539789	0,130417	0,413896	0,68180
Slope	1,03987	0,046985	22,132	0,00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	12,45176	1	12,45176	489,8266	0,00000
Residual	0,788043	31	0,025421		
Lack-of-fit	0,394452	14	0,028175	1,21694	0,34605
Pure error	0,393592	17	0,023152		

Total (Corr.) 13,239806 32

Correlation Coefficient = 0,969783

R-squared = 94,05 percent

Std. Error of Est. = 0,159439

b) Normalidad

b.1 Test Chi-cuadrado

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		-0,12000	10	7,3	0,969
	-0,12000	-0,02000	5	7,5	0,829
	-0,02000	0,08000	5	8,1	1,190
above	0,08000		13	10,1	0,854

Chisquare = 3,84226 with 1 d.f. Sig. level = 0,0499762

b.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0,0950466

Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0,111762

Estimated overall statistic DN = 0,111762

Approximate significance level = 0,80425

c) Homocedasticidad

c.1 Test de contraste de la mediana

Median = -0,0136 based on 33 observations,

Number of runs above and below median = 16

Expected number = 17,4848

Large sample test statistic $Z = -0,348697$ Two-tailed probability of equaling or exceeding $Z = 0,727313$

c.2 Test de contraste de rachas

Number of runs up and down = 23

Expected number = 20,3333

Large sample test statistic $z = 0,951163$

Two-tailed probability of equaling or exceeding $z = 0,34152$

NOTE: 2 adjacent values ignored,

ÁREA: PRL

Tabla 4.10
Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (PRL)

ALIAS EMPRESA	Heurística	Evaluadores
1AA	1,25	1,0
2AA	2,55	2,6
3AA	1,16	1,1
4AA	2,27	2,3
5AA	1,33	1,1
1AN	1,00	1,0
2AN	1,62	1,4
3AN	2,00	2,0
4AN	2,48	2,3
5AN	1,81	1,7
6AN	1,29	1,3
1G	1,25	1,0
2G	1,39	1,4
3G	1,45	1,4
4G	1,43	1,1
1M	1,16	1,0
2M	2,49	2,4
3M	1,08	1,1
4M	1,16	1,0
5M	1,42	1,3
1N	1,98	1,7
2N	3,82	3,7
1P	1,44	1,6
2P	1,53	1,4
3P	1,53	1,4
4P	0,92	1,0
1T	1,16	1,0
2T	1,25	1,0
3T	1,66	1,4
4T	1,25	1,0
5T	1,25	1,0
6T	1,33	1,1
7T	1,31	1,1

a) Resultados del ajuste – linealidad

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: PRL-HEURÍSTICA Independent variable: PRL-EVALUADOR

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0,205783	0,0545479	3,77253	0,00068
Slope	0,944241	0,0347037	27,2086	0,00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	10,70126	1	10,70126	740,3102	0,00000
Residual	0,448108	31	0,014455		
Lack-of-fit	0,1461747	9	0,0162416	1,183426	0,35269
Pure error	0,301933	22	0,013724		

Total (Corr.) 11,149364 32

Correlation Coefficient = 0,979698

R-squared = 95,98 percent

Std. Error of Est. = 0,120229

b) Normalidad

b.1 Test Chi-cuadrado

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	-0,11250	0,11250	6	5,6	0,02310
	-0,11250	0,03750	5	6,8	0,45717
	0,03750	0,11250	8	8,2	0,00519
	0,11250	0,19750	10	6,8	1,55566
above	0,19750	0,28250	4	5,6	0,47643

Chisquare = 2,51756 with 2 d.f. Sig. level = 0,284

b.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0,077674

Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0,159086

Estimated overall statistic DN = 0,159086

Approximate significance level = 0,373852

c) Homocedasticidad

c.1 Test de contraste de la mediana

Median = 9,97551E-3 based on 33 observations,

Number of runs above and below median = 17

Expected number = 17,3636

Large sample test statistic Z = 0,0486504

Two-tailed probability of equaling or exceeding Z = 0,961192

c.2 Test de contraste de rachas

Number of runs up and down = 23

Expected number = 20,3333

Large sample test statistic $Z = 0,951163$

Two-tailed probability of equaling or exceeding $Z = 0,34152$

NOTE: 2 adjacent values ignored,

ÁREA: MEDIO AMBIENTE

Tabla 4.11
Indicador global de situación Vs. puntuación evaluador (medio ambiente)

ALIAS EMPRESA	Heurística	Evaluadores
1AA	2,10	2,0
2AA	2,30	2,0
3AA	2,10	2,0
4AA	2,30	2,0
5AA	2,00	2,0
1AN	2,01	2,2
2AN	2,44	2,2
3AN	1,90	2,0
4AN	2,48	2,4
5AN	2,38	2,4
6AN	2,73	2,8
1G	2,34	2,2
2G	1,94	2,2
3G	2,34	2,2
4G	1,00	1,0
1M	2,30	2,0
2M	1,46	1,4
3M	2,20	2,0
4M	1,00	1,0
5M	2,24	2,2
1N	2,10	2,0
2N	2,24	2,2
1P	2,10	2,0
2P	3,00	3,0
3P	1,14	1,2
4P	1,00	1,0
1T	2,04	2,2
2T	2,18	2,4
3T	2,06	2,2
4T	2,04	2,2
5T	1,97	2,2
6T	1,97	2,2
7T	1,97	2,2

a) Resultados del ajuste – linealidad

Regression Analysis - Linear model: $Y = a + bX$

Dependent variable: MAMBIENT-HEURÍSTICA Indept variable: MAMBIENT-EVALUADOR

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	0,102143	0,133994	0,762291	0,45165
Slope	0,95237	0,0642699	14,8183	0,00000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	5,98296	1	5,98296	219,5817	0,00000
Residual	0,844660	31	0,027247		
Lack-of-fit	0,2777163	6	0,0462861	2,041034	0,09749
Pure error	0,566944	25	0,022678		
Total (Corr.)	6,827624	32			
Correlation Coefficient = 0,936102			R-squared = 87,63 percent		
Std. Error of Est. = 0,165067					

b) Normalidad

b.1 Test Chi-cuadrado

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below	-0,14000	0,14000	8	6,4	0,3911
	-0,14000	0,04000	6	6,9	0,1114
	-0,04000	0,06000	7	8,0	0,1164
	0,06000	0,16000	7	6,4	0,0585
above	0,16000		5	5,4	0,0239

Chisquare = 0,701307 with 2 d.f. Sig. level = 0,704228

b.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Estimated KOLMOGOROV statistic DPLUS = 0,0760404
 Estimated KOLMOGOROV statistic DMINUS = 0,0783843
 Estimated overall statistic DN = 0,0783843
 Approximate significance level = 0,987322

c) Homocedasticidad

c.1 Test de contraste de la mediana

Median = -6,8835E-3 based on 33 observations,
 Number of runs above and below median = 14
 Expected number = 17,4848
 Large sample test statistic Z = -1,05682
 Two-tailed probability of equaling or exceeding z = 0,290592

c.2 Test de contraste de rachas

Number of runs up and down = 24
Expected number = 20,3333
Large sample test statistic $Z = 1,39016$
Two-tailed probability of equaling or exceeding $Z = 0,164479$

NOTE: 2 adjacent values ignored,

Como se puede observar, en todos los casos se cumplen satisfactoriamente las condiciones del ajuste, con lo cual la heurística propuesta se puede considerar como adecuada. Alternativamente, se puede atribuir a la heurística un **carácter objetivador** en la asignación de un indicador global de situación.

5. ANÁLISIS DE EFICIENCIA

5.1 Introducción

La evaluación de la eficiencia, en una muestra de las características de la analizada, presenta como uno de sus principales problemas la heterogeneidad de conceptos manejados para la evaluación de las diferentes áreas temáticas consideradas. En el presente trabajo, un esfuerzo tendente a solventar esta dificultad ha sido realizado mediante la introducción del indicador global de situación (I_{GSN}) presentado en el capítulo anterior.

Complementariamente, la evaluación del rendimiento de cada empresa para las diferentes áreas temáticas no debe ser realizada de un modo individualizado, sino que es preciso contemplar la posición relativa de cada empresa respecto al global de la muestra, y sobre esta base estimar la potencial mejora que podría desarrollar la empresa para las variables analizadas.

Los enfoques paramétricos clásicos, en general, se muestran insuficientes para la resolución del problema, estribando su principal debilidad en la necesidad de establecer una relación funcional específica que ligue las diferentes variables del modelo (las cuales tendrán que haber sido previamente clasificadas en “dependientes” e “independientes”). Dadas las características ya aludidas de la muestra de referencia en el presente trabajo, la imposición de tales relaciones funcionales no parece tener lugar.

Un enfoque alternativo, que solventa en gran medida los inconvenientes planteados, es la técnica de “análisis por envoltura de datos” (de aquí en adelante DEA, acrónimo de los vocablos ingleses Data Envelopment Analysis). Un referente conceptual y metodológico detallado de esta técnica puede encontrarse en el Apéndice B de este estudio. No obstante, en el presente capítulo se van a desarrollar los elementos principales de la misma en términos de su aplicación a la muestra de referencia.

De un modo general, se puede establecer que el DEA es una técnica encaminada a la evaluación de la eficiencia de una serie de elementos objeto de estudio (las empresas de la muestra, en nuestro caso), habitualmente denominados “Unidades de Toma de Decisión” (de aquí en adelante DMU, acrónimo de los términos ingleses Decision Making Unit), siendo los elementos de juicio, para dicha evaluación, múltiples variables de entrada y de salida para cada una de las DMU consideradas. En contraste con los tradicionales métodos paramétricos, cuyo propósito es optimizar un ajuste de regresión a los referidos datos, el DEA realiza una optimización para cada observación individual, con el objetivo de calcular una frontera constituida por intervalos graduales y delimitada por un conjunto de DMU eficientes.

En estas condiciones, el DEA produce una superficie de producción extrema de carácter empírico, la cual en términos económicos representa la que se muestra como la frontera de la mejor práctica productiva posible, es decir, la máxima salida empíricamente obtenible para cualquier DMU en la población observada, dado su nivel de entradas.

Para cada DMU ineficiente (cualquiera que se encuentre bajo la frontera), el DEA identifica las fuentes y el nivel de ineficiencia para cada una de las salidas y de las entradas. El nivel de ineficiencia se determina por comparación respecto a una DMU de referencia o respecto a una combinación convexa de otras DMU de referencia situadas en la frontera eficiente, que utilicen el mismo nivel de entradas y que produzcan el mismo o un mayor nivel de salidas. Esto se logra solicitando a las soluciones la satisfacción de las restricciones de desigualdad, lo cual puede incrementar algunas salidas (o decrementar algunas entradas) sin empeorar las otras entradas o salidas.

El cálculo de la mejora potencial para cada DMU ineficiente no se corresponde necesariamente con el rendimiento observado de alguna de las DMU integrantes de la frontera de eficiencia o con una proyección de una DMU ineficiente en la frontera eficiente. Las mejoras calculadas (en cada una de las entradas y salidas) para las DMUs ineficientes son *indicativos* de las potenciales mejoras obtenibles.

En el siguiente apartado de este capítulo se exponen las bases metodológicas de la técnica y su particularización para la muestra objeto de estudio.

5.2 Aplicación de la técnica de análisis por envoltura de datos

El cuerpo conceptual y metodológico del DEA encuentra su implementación práctica en una serie de modelizaciones que, en función de sus diferentes concepciones, arrojan resultados que dan pie a una variedad de posibilidades interpretativas.

Los elementos fundamentales, que diferencian unos modelos de otros, se pueden sintetizar como sigue:

- los modelos pueden focalizar los orígenes de la ineficiencia en motivos técnicos, o en la magnitud de la escala a la que opera la DMU considerada;
- el tipo de modelo seleccionado puede predeterminar la geometría de la superficie envolvente, lo cual dará lugar a diferentes tipos de interpretación y de cuantificación de las ineficiencias;
- algunos modelos pueden utilizar formulaciones en términos de matemática diferencial;
- los modelos se suelen presentar en la forma de problema de programación lineal, y las comparaciones entre los distintos modelos se suelen hacer basándose en la forma geométrica de las superficies que delimitan la frontera de eficiencia, propiedades dependientes de la magnitud de escala de operación, proyecciones sobre la superficie de eficiencia y propiedades de invarianza de las unidades de medida.

A la hora de decantarse por un modelo concreto es preciso, fundamentalmente, considerar dos cuestiones. Por un lado, definir la caracterización geométrica de la frontera empírica que determinará la práctica de mayor eficiencia. Esta frontera puede ser convexa o no, lo cual es equivalente a decir que el modelo seleccionado permita la consideración de retornos de escala variables (en el caso de frontera convexa) o constantes (en el caso de frontera no convexa). Dada la inexistencia de una formulación previa (funciones de producción tipo Cobb-Douglas, p.ej.) que condicione el planteamiento del problema, y teniendo en consideración la mayor riqueza interpretativa que arrojan las modelizaciones de frontera convexa, en el presente estudio se seleccionará uno de los modelos dentro de los diversos posibles que responda a esta solicitud.

La otra cuestión objeto de consideración es si se debe orientar la formulación del modelo hacia la consecución de una maximización de las salidas, una minimización de las entradas o bien otorgar el mismo énfasis al conjunto de entradas-salidas. La respuesta a este interrogante pasa ineludiblemente por la caracterización de las distintas variables disponibles en términos de si van a actuar como entradas o como salidas del modelo.

Conforme al tratamiento analítico de los datos desarrollado hasta este punto, parece bastante indicado pensar en una **maximización de los indicadores globales**

de situación (I_{GSN}) obtenidos para las distintas áreas funcionales analizadas, al objeto de evaluar para cada una de las empresas consideradas su mayor o menor proximidad a la frontera de eficiencia. En consecuencia, dichos indicadores actuarán como salidas del sistema, y el modelo seleccionado o bien tendrá orientación de salida o bien será de orientación neutra (dar la misma importancia a las entradas y salidas del sistema).

En cuanto a las entradas a seleccionar, en principio, y teniendo en consideración que todo el peso interpretativo se va a concentrar sobre las salidas, se podría pensar en la consideración de una única entrada de igual valor (unitario, por ejemplo) para todas las empresas, lo que a efectos prácticos supondría la configuración de un modelo con orientación de salida pura. No obstante, y al objeto de reflejar la influencia de la situación productiva de cada empresa en el seno de su sector de actividad, se va a introducir una nueva variable que se va a constituir en entrada del modelo para las distintas empresas. En este sentido, un indicador económico de extendida utilización y sencilla interpretación es la facturación por empleado. Para el caso concreto de la muestra analizada, y al objeto de hacer posible la asignación homogénea de un indicador de situación para cada una de las empresas, se calcula el “ratio” anteriormente indicado para cada una de las empresas, comparándolo con el resto de los de las empresas de su sector de actividad y normalizando el resultado para una escala continua de rango [0,5] como las manejadas hasta este punto en el desarrollo del presente trabajo.

Por ejemplo, para el sector Auxiliar de Automoción, el proceso se concretaría en los siguientes términos:

ALIAS	PLANTILLA	FACTURACIÓN (MPTA)	FACTURACIÓN / EMPLEADO (MPTA/hombre)
1AA	105	1100	10,5
2AA	49	450	9,2
3AA	60	550	9,2
4AA	200	3000	15
5AA	56	700	12,5

Ratio ponderado para la empresa 1AA: $R=(10,5 \cdot 5)/15$

Ratio ponderado para la empresa 2AA: $R=(9,2 \cdot 5)/15$

Ratio ponderado para la empresa 3AA: $R=(9,2 \cdot 5)/15$

Ratio ponderado para la empresa 4AA: $R=(15 \cdot 5)/15$

Ratio ponderado para la empresa 1AA: $R=(12,5 \cdot 5)/15$

Procediendo de esta manera, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.1
Ratios de facturación por empleado para las distintas empresas

ALIAS	PLANTILLA	FACTURACIÓN (MPTA)	FACTURACIÓN / EMPLEADO (MPTA/hombre)	RATIO PONDERADO
1AA	105	1100	10,5	3,50
2AA	49	450	9,2	3,07
3AA	60	550	9,2	3,07
4AA	200	3000	15	5,00
5AA	56	700	12,5	4,17
1AN	85	600	7,1	3,38
2AN	350	3000	8,6	4,10
3AN	32	335	10,5	5,00
4AN	65	400	6,2	2,95
5AN	30	200	6,7	2,23
6AN	300	1000	3,3	1,57
1G	5	Nueva PYME	---	---
2G	29	400	13,8	0,65
3G	36	3800	105,6	5,00
4G	33	750	22,7	1,07
1M	213	1600	7,5	0,87
2M	19	240	12,6	1,47
3M	499	21467	43	5,00
4M	12	160	13,3	1,55
5M	32	330	10,3	1,20
1N	112	1300	11,6	1,74
2N	300	10000	33,3	5,00
1P	60	800	13,3	0,36
2P	240	1600	6,7	0,18
3P	110	900	8,2	0,22
4P	25	4600	184	5,00
1T	400	8000	20	5,00
2T	53	600	11,3	2,83
3T	140	1050	7,5	1,88
4T	165	800	4,8	1,20
5T	95	500	5,3	1,33
6T	76	700	9,2	2,30
7T	80	1000	12,5	3,13

Así, el problema quedará conformado sobre los siguientes datos de partida:

- una muestra de 32 DMU (la DMU relativa a la empresa 1G se elimina de la muestra a la hora de aplicar la metodología, pues al ser una empresa de nueva creación se carece de datos relativos a su volumen de negocio por empleado);
- para cada DMU, una variable de entrada adimensional, correspondiente al ratio facturación / empleado normalizado para cada sector en los términos que se han descrito;
- para cada DMU, cinco variables de salida, correspondientes a los valores del indicador global de situación (I_{GSN}) obtenidos para las cinco áreas temáticas analizadas (véase tabla 4.6).

En estas condiciones, se satisfacen sobradamente las condiciones establecidas por Charnes et al. relativas al número mínimo de DMUs necesarias para tener una discriminación suficiente (si no, todas las DMUs se proyectan sobre la frontera y aparecen como eficientes). En concreto el criterio de Charnes establece (Charnes y Zlobec, 1989):

$$N^{\circ} DMUs \geq 3 * \sum (inputs + outputs)$$

que en el caso de la muestra analizada se concreta en:

$$32 \geq 3 * (1 + 5)$$

Sobre estos presupuestos, de los diferentes modelos existentes, a continuación se presentan los que mejor se adecúan a las solicitudes reseñadas.

5.2.1 Modelo aditivo (forma envolvente)

Para la presentación de la formulación del modelo, se va a utilizar la siguiente notación:

X = matriz correspondiente a las entradas del sistema. De un modo general tendrá unas dimensiones de m (nº de entradas) x n (nº de DMUs). En el caso particular de la muestra objeto de estudio en el presente trabajo, será un vector fila de (1 x 32) elementos, cuyos valores serán los recogidos en la tabla 5.1. Como ya se ha indicado, los valores numéricos de estas entradas corresponden al indicador adimensional resultante del ratio normalizado facturación / empleado. A cada DMU genérica j , le correspondería el vector columna de la posición j (X_j), compuesto por

los elementos $\{x_{ij}\}$ (donde $i=1, \dots, m$ representan los valores de las distintas entradas para esa DMU empresa). En nuestro caso este vector columna se reduce a un único elemento (pues solo existe una entrada).

Y = matriz correspondiente a las salidas del sistema. De un modo general tendrá unas dimensiones de s (nº de salidas) $\times n$ (nº de DMUs). En el caso particular de la muestra objeto de estudio en el presente trabajo, la matriz tendrá las dimensiones (5×32) , cuyos valores serán los recogidos en la tabla 4.6. Los valores numéricos de estas salidas corresponderán a los indicadores adimensionales I_{GSN} obtenidos para cada una de las áreas temáticas. A cada DMU genérica j , le corresponderá el vector columna de la posición j (Y_j) compuesto por los elementos $\{y_{ij}\}$ (donde $i=1, \dots, s$ representan los valores de las distintas salidas para esa DMU empresa). En nuestro caso estos vectores columna estarán compuestos por cinco elementos correspondientes a los I_{GSN} relativos a las áreas temáticas de organización y recursos humanos, calidad, innovación, PRL y medio ambiente, respectivamente.

s^+ = vector columna relativo a las variables de holgura (“slacks”) de las salidas. De un modo genérico, tendrá dimensiones de $(s \times 1)$, las cuales en el caso de la muestra de referencia se concretan en (5×1) . Sus unidades serán iguales a las de las variables de salida. En este caso los valores adimensionales relativos a los I_{GSN} de cada una de las cinco áreas temáticas analizadas.

s^- = vector columna relativo a las variables de holgura (“slacks”) de las entradas. De un modo genérico, tendrá dimensiones de $(m \times 1)$, las cuales en el caso de la muestra de referencia se concretan en (1×1) . Sus unidades serán iguales a las de las variables de entrada. En este caso los valores relativos al indicador adimensional resultante del ratio normalizado facturación / empleado.

λ = vector columna de multiplicadores adimensionales, de dimensiones $(n \times 1)$, las cuales en este caso se concretan en (32×1) .

X_0, Y_0 = valor de las entradas y salidas de la DMU objeto de evaluación en cada una de las n iteraciones del problema. En nuestro caso corresponderán sucesivamente a las entradas y salidas de cada una de las DMU objeto de evaluación.

Como ya se ha indicado, los distintos modelos se presentan en la forma de problemas de programación lineal.

En el caso particular del modelo aditivo en forma envolvente, el problema se presenta en términos de evaluar cada una de las DMUs en relación con una combinación lineal de las demás, al objeto de identificar si es posible obtener el mismo nivel de salida con una cantidad menor de entradas o alternativamente para un nivel fijo de entrada obtener valores mayores para las salidas. Es por tanto un modelo sin orientación preferente hacia las entradas o hacia las salidas. El papel de las variables de holgura es el de cuantificar qué desviación existe respecto a los óptimos referenciados, y el problema de programación lineal lo que busca es minimizar la suma de dichas variables de holgura (es decir, que todas las DMU rindan al máximo nivel posible).

Así, la expresión del problema será:

$$\min_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = -\vec{1} s^+ - \vec{1} s^-$$

donde la función objetivo z_0 será un escalar, que para el caso de la muestra, objeto de estudio, resultará de la siguiente ecuación de dimensiones $(1 \times 1) = - (1 \times 5) (5 \times 1) - (1 \times 1) (1 \times 1)$. Como ya se ha indicado sus unidades son adimensionales pues los distintos I_{GSN} así se han definido.

Las restricciones del modelo son las relativas a buscar la optimalidad en el rendimiento de las distintas DMU, bien sea por aumento de las salidas para un determinado nivel de entradas o por decremento de las entradas para un determinado nivel de salida. Es decir, se busca establecer una combinación lineal de aquellas DMU que respecto a la DMU₀ (la que es objeto de estudio) satisfagan:

$$\begin{aligned} X\lambda &\leq X_o \\ Y\lambda &\geq Y_o \end{aligned}$$

y en consecuencia los multiplicadores adimensionales λ indicarán qué cantidad (expresada en tanto por uno) está aportando en términos de eficiencia (bien sea por presentar un mayor nivel de salida o bien un menor nivel de entrada) cada una de las DMU eficientes respecto a la DMU objeto de estudio.

Las unidades que se muestren como eficientes serán las que constituyan la frontera de eficiencia, y las variables de holgura miden la distancia a dicha frontera de eficiencia según una métrica L1 ($X_0 - s^-$, $Y_0 + s^+$). Como restricción complementaria se busca que la forma de la superficie envolvente (resultante de la combinación lineal de las DMU eficientes) sea convexa, pues esta situación permitirá la existencia de retornos de escala variables con lo que se aumentará la riqueza interpretativa de los resultados que se obtengan.

Así, las restricciones quedarán expresadas en los siguientes términos:

$$\begin{aligned} Y\lambda - s^+ &= Y_0 \\ -X\lambda - s^- &= -X_0 \\ \sum_{\lambda=1}^{\rightarrow} \lambda &= 1 \end{aligned}$$

Con ello el modelo quedará finalmente expresado en los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \min_{\lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = -\sum_{\lambda=1}^{\rightarrow} s^+ - \sum_{\lambda=1}^{\rightarrow} s^- \\ \text{s.a.} \quad & Y\lambda - s^+ = Y_0 \\ & -X\lambda - s^- = -X_0 \\ & \sum_{\lambda=1}^{\rightarrow} \lambda = 1 \\ & \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

El proceso se repite 32 veces, para los distintos valores $(X_0, Y_0) = (X_j, Y_j)$ ($j=1, \dots, 32$) de las 32 empresas evaluadas.

En la aplicación práctica del modelo a la muestra de referencia, se va a considerar que la variable relativa a la facturación por empleado es no discrecional (es decir, su control escapa de las facultades del decisor). Como se indica en el apéndice B, la consideración de variables de este tipo supone en términos de modelización el suprimir sus holguras de la función objetivo. Por tanto en la función objetivo del problema, la holgura relativa al ratio normalizado facturación / empleado será suprimida.

Al objeto de ilustrar los contenidos del modelo, a continuación se presenta el primero de los 32 problemas de programación lineal (correspondiente a la DMU codificada como 1AA).

$$\min_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} s_{O+RRHH}^+ \\ s_{Calidad}^+ \\ s_{Innovación}^+ \\ s_{PRL}^+ \\ s_{Medio ambiente}^+ \end{pmatrix}$$

s.a.

$$\begin{pmatrix} 2,39 & \dots & 2,17 \\ \dots & \dots & \dots \\ 2,10 & \dots & 1,97 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} s_{O+RRHH}^+ \\ \dots \\ s_{Medio\ ambiente}^+ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,39 \\ 3,47 \\ 3,16 \\ 1,25 \\ 2,10 \end{pmatrix}$$

$$-(3,50 \quad \dots \quad 3,13) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} - s_{facturacion}^- = -3,50$$

$$(1 \quad \dots \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} = 1$$

$$s_i, \lambda_i \geq 0 \quad \forall i$$

La resolución del modelo en su conjunto, así como la interpretación de los resultados del mismo, se presenta en el apartado 5.3 del presente capítulo.

5.2.2 Modelo radial con orientación de salida (formulación de Andersen / Petersen)

Para la presentación del modelo, se va a utilizar la misma notación que en el modelo anterior, y adicionalmente se van a introducir los siguientes elementos:

- una variable ϕ que conceptualmente responde a un factor de expansión radial de las salidas del modelo,
- una constante infinitesimal, ϵ .

Según lo indicado en la presentación del modelo aditivo, una DMU ineficiente se podía proyectar sobre la frontera de eficiencia de acuerdo con una métrica L1. Por otro lado, el modelo aditivo consideraba de igual modo las entradas y las salidas en cuanto a potenciales fuentes de ineficiencia.

El modelo radial con orientación de salida, por contra, busca la realización de esta tarea de proyección mediante una métrica diferente, basada primordialmente en una expansión radial de las salidas para unos determinados niveles de entrada, complementando la proyección con pequeños incrementos de dichas salidas o

decrementos de las entradas en su caso, según la ya mencionada métrica L1 (en la práctica la pequeña magnitud de estos elementos de la proyección se logra afectando a las variables encargadas de realizar esta función —los “slacks”— con una constante infinitesimal).

La función objetivo en este caso lo que buscará es maximizar el potencial incremento de las salidas, focalizando dicha tarea en la expansión radial. Esta filosofía se puede plantear analíticamente en los siguientes términos:

$$\max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \phi + \varepsilon \vec{1} s^+ + \varepsilon \vec{1} s^-$$

Por su parte, las restricciones del modelo serán muy similares a las del aditivo, introduciendo, en este nuevo planteamiento, la variable de expansión radial para las salidas de la DMU que es objeto de evaluación en cada una de las iteraciones del problema. Es decir:

$$\begin{aligned} \phi Y_0 - Y\lambda + s^+ &= 0 \\ \text{s.a.} \quad X\lambda + s^- &= X_0 \\ \vec{1}\lambda &= 1 \end{aligned}$$

Con ello, el modelo radial básico con orientación de salida queda expresado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 &= \phi + \varepsilon \vec{1} s^+ + \varepsilon \vec{1} s^- \\ \text{s.a.} \quad \phi Y_0 - Y\lambda + s^+ &= 0 \\ X\lambda + s^- &= X_0 \\ \vec{1}\lambda &= 1 \\ \lambda, s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned}$$

La utilización práctica del modelo en el presente trabajo va a introducir dos variantes respecto a esta formulación básica, a saber:

- en primer lugar, y al igual que en el caso aditivo, se va a considerar que la entrada del sistema es no discrecional. Como ya se ha indicado, la plasmación analítica de este planteamiento pasa por eliminar su variable de holgura de la función objetivo;

- se va a proceder a la gradación de las DMU eficientes mediante el indicador de “supereficiencia” de Andersen / Petersen. El planteamiento de los referidos autores supone eliminar la DMU₀ objeto de evaluación en cada una de las iteraciones del problema, del conjunto de las DMU de referencia con las que es comparada. Así, si dicha DMU₀ es eficiente, se va a comparar con una nueva frontera de eficiencia resultante de su eliminación y constituida por el resto de DMU eficientes. En esta situación, la distancia (medida según una métrica radial) respecto a esta nueva frontera de eficiencia será un indicador de la “supereficiencia” de la mencionada DMU respecto al resto de DMU eficientes (Andersen y Petersen, 1993).

Sobre la base de estas variantes, el modelo que se va a utilizar en este estudio queda explicitado en los siguientes términos:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\phi, \lambda, s^+, s^-}{\max} z_0 = \phi + \varepsilon \vec{1} s^+ \\
 \text{s.a.} \quad & \phi Y_0 - Y \lambda + s^+ = 0 \quad \forall Y \neq Y_0 \\
 & X \lambda + s^- = X_0 \quad \forall X \neq X_0 \\
 & \vec{1} \lambda = 1 \\
 & \lambda, s^+, s^- \geq 0
 \end{aligned}$$

A efectos ilustrativos, y al igual que en el modelo aditivo, a continuación se incluyen los valores particularizados del modelo para el problema de programación lineal correspondiente a la evaluación de la DMU codificada como 1AA.

$$\underset{\phi, \lambda, s^+, s^-}{\max} z_0 = \phi + \varepsilon \cdot (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} s_{O+RRHH}^+ \\ s_{Calidad}^+ \\ s_{Innovación}^+ \\ s_{PRL}^+ \\ s_{Medio ambiente}^+ \end{pmatrix}$$

s.a.

$$\phi \cdot \begin{pmatrix} 2,39 \\ 3,47 \\ 3,16 \\ 1,25 \\ 2,10 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2,40 & \dots & 2,17 \\ \dots & \dots & \dots \\ 2,30 & \dots & 1,97 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_{O+RRHH}^+ \\ s_{Medio ambiente}^+ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$(3,07 \quad \dots \quad 3,13) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} + s_{\text{facturación}}^- = 3,50$$

$$(1 \quad \dots \quad 1) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_{32} \end{pmatrix} = 1$$

$$s_i, \lambda_i \geq 0 \quad \forall i$$

La resolución del modelo en su conjunto, así como la interpretación de los resultados del mismo, se presenta en el siguiente apartado del presente capítulo.

5.3 Resultados y su interpretación

Para la resolución del modelo en los términos descritos, el software utilizado ha sido el EMS (Efficiency Measurement System) v. 1.2 desarrollado por la Universidad de Dortmund (Scheel, 1999). Esta elección se sustenta sobre el hecho de que, además de las potencialidades comunes a los paquetes habitualmente utilizados para la resolución del algoritmo DEA, este programa permite dos variantes especialmente interesantes desde el punto de vista interpretativo, a saber:

- permite la consideración de variables no discrecionales,
- para los modelos radiales permite una gradación de las DMU eficientes conforme al indicador de Andersen / Petersen ya descrito.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tanto para el modelo aditivo como para el radial, así como su interpretación.

5.3.1 Modelo aditivo (forma envolvente)

Los parámetros elegidos para la resolución del modelo han sido los siguientes:

- Modelo: aditivo
- Retornos de escala: variables
- Variable de entrada: ratio normalizado facturación / empleado (no discrecional)
- Variables de salida: I_{GSN} para las distintas áreas temáticas (discrecionales)

Para la presentación de los resultados del modelo, se van a utilizar dos tablas.

En la primera de ellas se recogen los datos generales de eficiencia para cada una de las DMU, sobre la base de los siguientes indicadores:

- Un indicador de eficiencia denominado genéricamente “score”. Este indicador es el valor de la función objetivo (suma de las variables de holgura —“slacks”—) y, en consecuencia, una DMU será eficiente únicamente si este indicador vale cero. Cuanto mayor sea el indicador, mayor es la ineficiencia de la DMU.
- Una columna denominada genéricamente “Benchmarks” que indica:
 - para las DMU ineficientes, cuáles han sido los elementos de la frontera que determinan su ineficiencia y entre paréntesis en qué cuantía (las λ_i del problema de programación lineal) han intervenido dichos elementos en la combinación lineal que determina la potencial mejora;
 - para las DMU eficientes, el número de DMU ineficientes que la han escogido como referente en la frontera de eficiencia.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5.2
Resultados de eficiencia para el modelo aditivo

Nº de orden	DMU	Score	Benchmarks
1	1AA	3,77	2 (0,78) 21 (0,22)
2	2AA	0	14
3	3AA	5,84	2 (1,00)
4	4AA	1,54	2 (0,04) 9 (0,04) 21 (0,86) 23 (0,06)
5	5AA	4,03	2 (0,43) 21 (0,57)
6	1AN	6,15	2 (0,84) 21 (0,16)
7	2AN	2,66	9 (0,39) 21 (0,47) 23 (0,14)
8	3AN	6,49	21 (1,00)
9	4AN	0	4
10	5AN	0	0
11	6AN	0	0
12	2G	3,8	2 (0,16) 23 (0,84)
13	3G	0	0
14	4G	3,98	2 (0,31) 23 (0,69)
15	1M	2,31	2 (0,04) 9 (0,20) 23 (0,75)
16	2M	0	0
17	3M	9,12	21 (1,00)
18	4M	7,59	2 (0,47) 23 (0,53)
19	5M	0	0
20	1N	3,19	2 (0,54) 23 (0,46)

21	2N	0	10
22	1P	0	0
23	2P	0	10
24	3P	0	0
25	4P	9,58	21 (1,00)
26	1T	6,66	21 (1,00)
27	2T	2,95	2 (0,92) 23 (0,08)
28	3T	1,7	2 (0,59) 23 (0,41)
29	4T	2,22	2 (0,26) 9 (0,10) 23 (0,64)
30	5T	0	0
31	6T	0	0
32	7T	4,78	2 (0,97) 21 (0,03)

A partir de estos resultados, se pueden realizar las siguientes interpretaciones:

- La frontera de eficiencia está compuesta por 13 DMU eficientes que son aquellas codificadas como: 2AA, 4AN, 5AN, 6AN, 3G, 2M, 5M, 2N, 1P, 2P, 3P, 5T y 6T
- Para cada una de las DMU ineficientes se indica qué DMU de la frontera se han seleccionado para proyectarla sobre dicha frontera y en qué cuantía. Así, por ejemplo, para la DMU 1AA existe un indicador de ineficiencia de cuantía 3,77 debido a valores de las salidas por debajo de las posibilidades reales. La proyección de esta DMU sobre la frontera, al objeto de obtener el óptimo posible para sus salidas, vendría dada por una combinación lineal de las salidas de la DMU 2AA en un 78% y la DMU 2N en un 22%.

La segunda de las tablas para la presentación de los resultados va a ser la relativa a los valores de las variables de holgura obtenidos para cada una de las DMU. Como ya se ha indicado, la suma de dichos valores es la que determina el indicador global de eficiencia y, por tanto, un análisis particularizado de las mismas permitirá conocer en qué variables de salida (indicadores I_{GSN} para las distintas áreas temáticas) se está concentrando fundamentalmente la ineficiencia.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5.3
Valores de las holguras para el modelo aditivo

Nº de orden	DMU	Score	SLACKS				
			O+RRHH	CALIDAD	INNOVACIÓN	PRL	M. AMBIENTE
1	1AA	3,77	0,06	0,95	0,99	1,58	0,19
2	2AA	0					
3	3AA	5,84	0,12	2,38	1,75	1,39	0,2
4	4AA	1,54	0	0,24	0	1,31	0
5	5AA	4,03	0,1	1,29	0,44	1,94	0,27
6	1AN	6,15	0,25	1,96	1,91	1,75	0,28
7	2AN	2,66	0	1,08	0,22	1,36	0
8	3AN	6,49	0,41	2,21	1,71	1,82	0,34
9	4AN	0					
10	5AN	0					
11	6AN	0					
12	2G	3,8	0,01	0,71	1,83	0,31	0,95
13	3G	0					
14	4G	3,98	0,98	0,56	0,23	0,41	1,78
15	1M	2,31	0	0,57	0,57	0,61	0,56
16	2M	0					
17	3M	9,12	1,45	3,54	1,35	2,74	0,04
18	4M	7,59	1,34	2,15	1,58	0,85	1,67
19	5M	0					
20	1N	3,19	0,03	0,87	1,67	0,1	0,52
21	2N	0					
22	1P	0					
23	2P	0					
24	3P	0					
25	4P	9,58	0,67	3,68	1,09	2,9	1,24
26	1T	6,66	1,28	1,18	1,34	2,66	0,2
27	2T	2,95	0,17	0,67	0,72	1,22	0,18
28	3T	1,7	0,07	0,06	0,57	0,47	0,53
29	4T	2,22	0	0,66	0,2	0,64	0,73
30	5T	0					
31	6T	0					
32	7T	4,78	0,24	1,37	1,56	1,28	0,33

Así, por ejemplo, la DMU 1AA resulta ineficiente según indicador de valor 3,77 unidades, de las cuales 0,06 corresponden al área de O+RRHH, 0,95, al área de calidad, 0,99, al área de innovación, 1,58, al área de PRL y 0,91, al área de medio ambiente.

Esta disposición de los resultados permite desarrollar una variante interpretativa consistente en analizar cómo se distribuye porcentualmente la ineficiencia

entre las distintas salidas (áreas temáticas), tanto a nivel sectorial como a nivel global.

Sea S_j el indicador global de eficiencia para la DMU “j” denotado como “score” en la tabla de presentación de resultados y sea s_{ij} el valor de la variable de holgura “i” para la DMU “j”. En estas condiciones, el porcentaje de ineficiencia (IN_i) atribuible a cada una de las áreas temáticas vendrá dado por:

$$IN_i = \frac{\sum_{j=1}^{32} s_{ij}}{\sum_{j=1}^{32} S_j} \times 100 \quad (global) \quad \wedge \quad IN_i = \frac{\sum_{j=1}^k s_{ij}}{\sum_{j=1}^k S_j} \times 100 \quad (sectorial)$$

donde:

$i = 1, \dots, 5$ (1= O+RRHH, 2= Calidad, ..., 5= Medio ambiente)

$k = n^\circ$ empresas del sector ($k=5$ auxiliar automoción, ..., $k=7$ textil)

Procediendo de esta manera, se obtienen los siguientes resultados para la distribución global de la ineficiencia:

Tabla 5.4

Distribución global de la ineficiencia entre las distintas áreas temáticas

Ineficiencia (%)

O+RRHH	CALIDAD	INNOVACIÓN	PRL	M. AMBIENTE
8,1	29,6	22,3	28,7	11,3

A la vista de los resultados, puede observarse que las áreas más deficitarias (aquellas que podrían presentar unos I_{GSN} más elevados que los que están presentando en la actualidad dada su posición dentro del sector definida por el ratio normalizado facturación / empleado) son las de calidad y PRL. Por tanto, los objetivos fijados al comienzo del presente estudio de desarrollar herramientas prácticas de gestión para el área temática de PRL, fundamentadas esencialmente en los principios dimanados de los sistemas de gestión de la calidad, son acordes con las necesidades reales de las empresas componentes de la muestra.

Un análisis sectorial de la distribución de la ineficiencia en los términos planteados conduce a los siguientes resultados:

Tabla 5.5
Distribución sectorial de la ineficiencia entre las distintas áreas temáticas

Sector	% Ineficiencia				
	O+RRHH	CALIDAD	INNOVACIÓN	PRL	M. AMBIENTE
Aux. Autom.	1,8	32,0	20,9	41,0	4,3
Aux. Naval	4,3	34,3	25,1	32,2	4,1
Granito	12,7	16,3	26,5	9,3	35,1
Madera	14,7	32,9	18,4	22,1	11,9
Naval	0,9	27,3	52,4	3,1	16,3
Pizarra	7,0	38,4	11,4	30,3	12,9
Textil	9,6	21,5	24,0	34,2	10,8

En el terreno de la PRL, se puede observar que la situación planteada para el contexto general se hace especialmente presente en sectores tradicionalmente agrupados dentro de la rama de actividad metal – mecánica (auxiliar de automoción y auxiliar naval; el hecho de que no se reproduzca la misma situación para un sector prototípico de este ramo como es el naval puede ser debido al pequeño tamaño de muestra, al haberse considerado sólo dos empresas para este sector).

5.3.2 Modelo radial con orientación de salida (formulación de Andersen / Petersen)

Los parámetros elegidos para la resolución del modelo han sido los siguientes:

- Modelo: radial con orientación de salida
- Retornos de escala: variables
- Variable de entrada: ratio normalizado facturación / empleado (no discrecional)
- Variables de salida: I_{GSN} para las distintas áreas temáticas (discrecionales)

Para la presentación de los resultados del modelo, se van a utilizar dos tablas.

En la primera de ellas se recogen los datos generales de eficiencia para cada una de las DMU, sobre la base de los siguientes indicadores:

- Un indicador de eficiencia denominado genéricamente “score”. Este indicador es el indicador de “supereficiencia” definido por Andersen / Petersen, al cual ya se ha hecho referencia en el presente trabajo. Para las DMU ineficientes, el indicador señala la expansión radial (en %) que deberían sufrir las salidas para lograr su proyección sobre la frontera de eficiencia (complementariamente es preciso completar esta proyección con un movimiento según una

métrica L1). Para las DMU eficientes, según los modelos radiales clásicos, el indicador valdría 100 (no es posible expandir las salidas hacia la eficiencia pues la DMU está rindiendo al máximo de sus posibilidades) y no existiría gradación de las DMUs eficientes. Mediante la variante de Andersen / Petersen se permiten valores menores de 100, cuyos complementos a 100 indicarían en qué porcentaje se podrían decrementar las salidas sin que la DMU dejara de ser eficiente.

- Una columna denominada genéricamente “Benchmarks” que indica:
 - para las DMU ineficientes, cuáles han sido los elementos de la frontera que determinan su ineficiencia y entre paréntesis en qué cuantía (las λ_i del problema de programación lineal) han intervenido dichos elementos en la combinación lineal que determina la potencial mejora;
 - para las DMU eficientes, el número de DMU ineficientes que la han escogido como referente en la frontera de eficiencia.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5.6
Resultados de eficiencia para el modelo radial

Nº de orden	DMU	Score	Benchmarks
1	1AA	110,26%	9 (0,53) 13 (0,12) 21 (0,20) 31 (0,16)
2	2AA	85,80%	9
3	3AA	116,53%	9 (0,14) 10 (0,40) 13 (0,35) 23 (0,11)
4	4AA	100,90%	2 (0,05) 9 (0,31) 13 (0,04) 21 (0,60)
5	5AA	107,69%	2 (0,39) 9 (0,04) 13 (0,44) 21 (0,14)
6	1AN	121,85%	9 (0,29) 10 (0,21) 13 (0,41) 23 (0,09)
7	2AN	102,63%	9 (0,48) 13 (0,37) 23 (0,15)
8	3AN	122,60%	9 (0,17) 13 (0,48) 21 (0,35)
9	4AN	96,37%	12
10	5AN	97,34%	4
11	6AN	97,81%	1
12	2G	103,86%	10 (0,04) 23 (0,62) 30 (0,34)
13	3G	93,51%	9
14	4G	113,76%	2 (0,26) 22 (0,74)
15	1M	103,39%	23 (0,40) 30 (0,60)
16	2M	86,06%	1
17	3M	132,13%	2 (0,13) 23 (0,87)
18	4M	178,86%	2 (0,34) 16 (0,25) 22 (0,41)
19	5M	89,99%	1
20	1N	105,97%	9 (0,47) 21 (0,05) 23 (0,48)
21	2N	66,75%	8
22	1P	91,87%	2

15	1M	0	0,9	0,55	0,16	0
16	2M					
17	3M	0,76	0,8	0	0,24	0
18	4M	0,4	1,27	0	0	0,22
19	5M					
20	1N	0	0,44	1,22	0	0,49
21	2N					
22	1P					
23	2P					
24	3P					
25	4P	0	1,45	0	0,47	0,94
26	1T	0,72	0	0,32	1,57	0
27	2T	0	0	0,01	1,09	0
28	3T	0	0	0	0	0
29	4T	0	0,94	0	0,02	0
30	5T					
31	6T					
32	7T	0	0	0	0,68	0

Así, y para la DMU 1AA, adicionalmente a la expansión radial de todas las salidas conforme a un factor de expansión 1,1026, habría que incrementar la salida correspondiente al indicador de PRL en 1,07 unidades y el de medio ambiente en 0,02 unidades.

Para las DMU eficientes, el valor del indicador es menor que 100. Como ya se ha indicado su complemento a 100 indica en qué porcentaje se podrían disminuir las salidas sin perder por ello la DMU su carácter de eficiente. Así por ejemplo, a la DMU codificada como 2AA se le podría aplicar una contracción radial de valor máximo 14,2% ($=100-85,8$) y seguiría siendo eficiente. Por tanto, cuanto menor sea el indicador de Andersen / Petersen mayor es la eficiencia de la DMU (la DMU codificada como 2P tiene un valor del indicador referido como “big” el cual indica que se le podría aplicar cualquier decremento arbitrario de sus salidas sin perder por ello su condición de eficiente).

Esta gradación obtenida a partir del indicador de “superficiencia” va a ser la que se utilice para el planteamiento de las posibilidades interpretativas del modelo.

Para ello, y siguiendo un planteamiento análogo al utilizado por el Boston Consulting Group (BCG) para la categorización de los tipos de productos (Bueno, 1997) se va a construir una salida gráfica en la que en abscisas se presente el indicador de Andersen / Petersen en orden decreciente (valores crecientes de eficiencia) y en ordenadas el ratio normalizado de facturación por empleado.

La combinación de ambas variables permite establecer una clasificación de las distintas empresas que esquemáticamente se recoge en la siguiente figura.

Figura 5.1
Matriz productividad / eficiencia. Modelo genérico

+ PRODUCTIVIDAD	Buena productividad Baja eficiencia	Buena productividad Buena eficiencia
	Mala productividad Mala eficiencia	Mala productividad Buena eficiencia
	-	+
	EFICIENCIA	

La interpretación de los distintos cuadrantes es la siguiente:

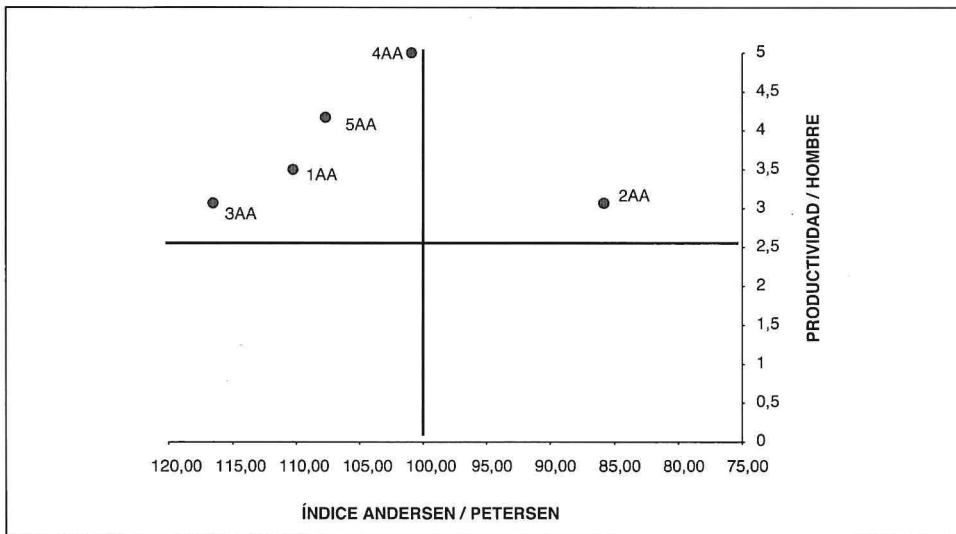
- Las empresas situadas en el cuadrante de buena productividad y buena eficiencia son los referentes de excelencia del sector. Aúnan buenas prácticas gerenciales (determinadas por el indicador de eficiencia) conjuntamente con una situación favorable del entorno.
- Las empresas situadas en el cuadrante de buena productividad y mala eficiencia tienen unos buenos valores de facturación por empleado, pero esta situación tal vez sea debida más a unas buenas condiciones generales del entorno que a la validez de sus prácticas gerenciales. Son candidatas a obtener unos valores aún mayores de facturación mediante la mejora de las técnicas gerenciales.
- Las empresas con bajos valores tanto de productividad como de eficiencia pueden desarrollar un potencial que las lleve a incrementar su eficiencia y complementariamente su productividad. No obstante, para que este cambio se opere de acuerdo con una secuencia de éxito es preciso analizar con detalle el posicionamiento estratégico de la empresa dentro de su sector de actividad.
- Las empresas con buenos indicadores de eficiencia, pero mala productividad, si bien son gestionadas con eficiencia, operan en un entorno desfavorable en el

que obtienen bajas cotas de facturación. Sería preciso que replantearan su posicionamiento en el entorno.

La aplicación de este planteamiento a los distintos sectores de actividad, conjuntamente con los I_{GSN} obtenidos por cada empresa en cada una de las áreas temáticas (ver tabla 4.6) permite extraer las siguientes interpretaciones:

■ Sector auxiliar de automoción

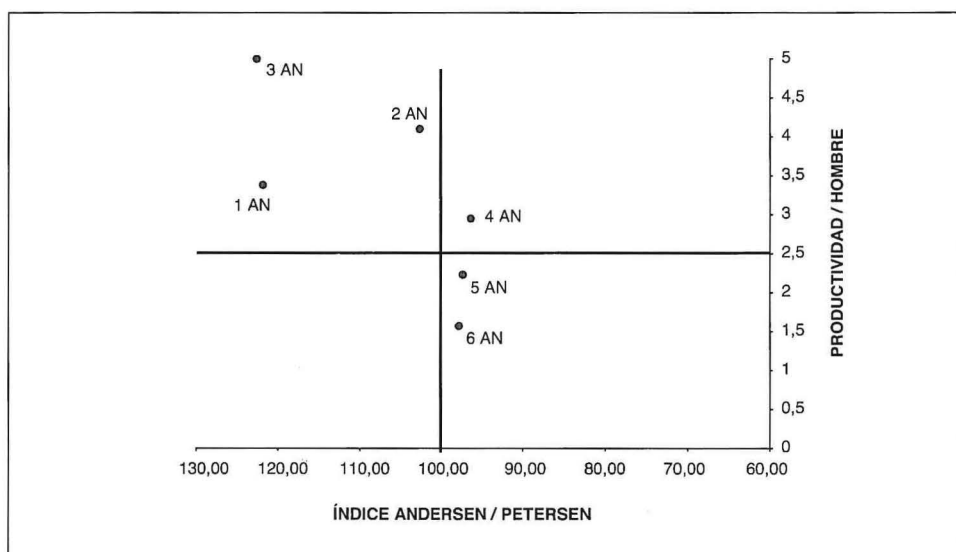
Figura 5.2
Matriz productividad / eficiencia. Sector auxiliar de automoción



Como se puede observar, los referentes de excelencia son las empresas codificadas como 2AA y 4AA. Estas empresas, al igual que las demás del sector, presentan unos valores más destacados de los indicadores de situación relativos a calidad e innovación, lo cual es lógico teniendo en consideración las elevadas exigencias de sus empresas cliente en estos campos. Observando el resto de las áreas, se observa bastante homogeneidad, excepto en la de Prevención de Riesgos Laborales, en la cual estas empresas vuelven a ser líderes, con una ventaja diferenciada respecto a las demás. Esta situación puede indicar que los clientes de este tipo de empresas (grandes multinacionales) exigen igualmente unos niveles elevados de desarrollo en esta faceta de la gestión, la cual en consecuencia se convierte en un hecho diferencial de carácter estratégico de las empresas más desarrolladas frente a las que presentan unas menores cuotas de eficiencia.

■ Sector auxiliar naval

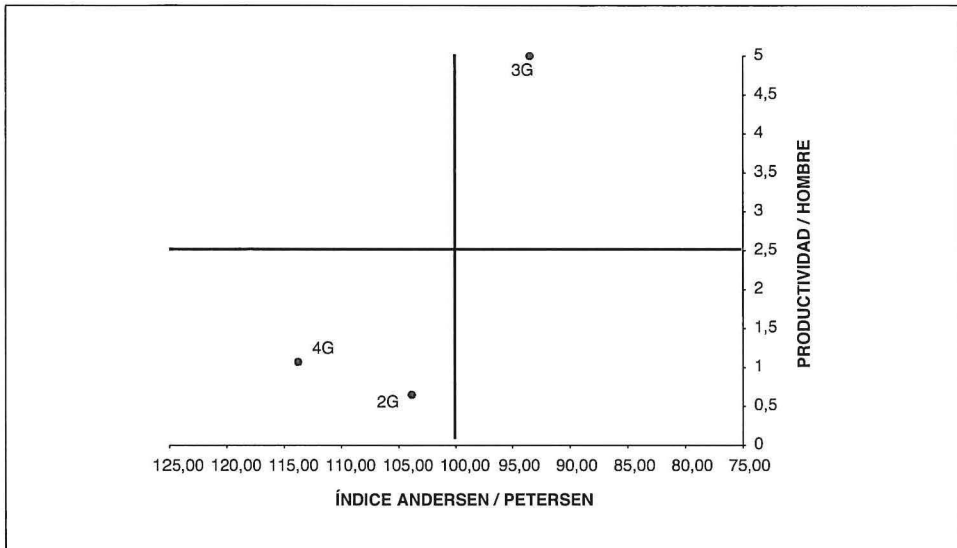
Figura 5.3
Matriz productividad / eficiencia. Sector auxiliar naval



En este sector se da una situación muy parecida a la del sector auxiliar de automoción. La empresa de referencia es la codificada como la 4AN, estando también muy próxima a la zona de excelencia la empresa 2AN. En ambos casos, pero más especialmente en la 4AN, se aprecia una clara ventaja de su situación en términos de Prevención de Riesgos Laborales respecto a sus competidores. En consecuencia, esta área funcional puede ser considerada como un parámetro de interés a la hora de realizar potenciales tareas de “Benchmarking” por parte de sus competidoras.

■ Sector granito

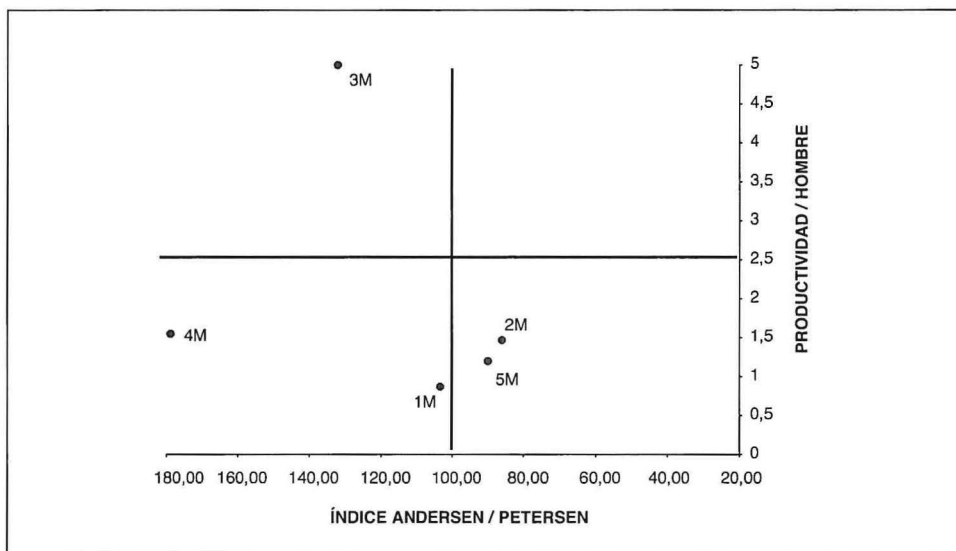
Figura 5.4
Matriz productividad / eficiencia. Sector granito



En el sector granito se observa una homogeneidad bastante grande de todas las empresas, para todas las áreas temáticas, destacando, no obstante, la mejor posicionada en el terreno de la innovación, situación ésta que puede denotar el empleo de unas técnicas extractivas más acordes con la evolución del mercado que las del resto de sus competidores.

■ Sector madera

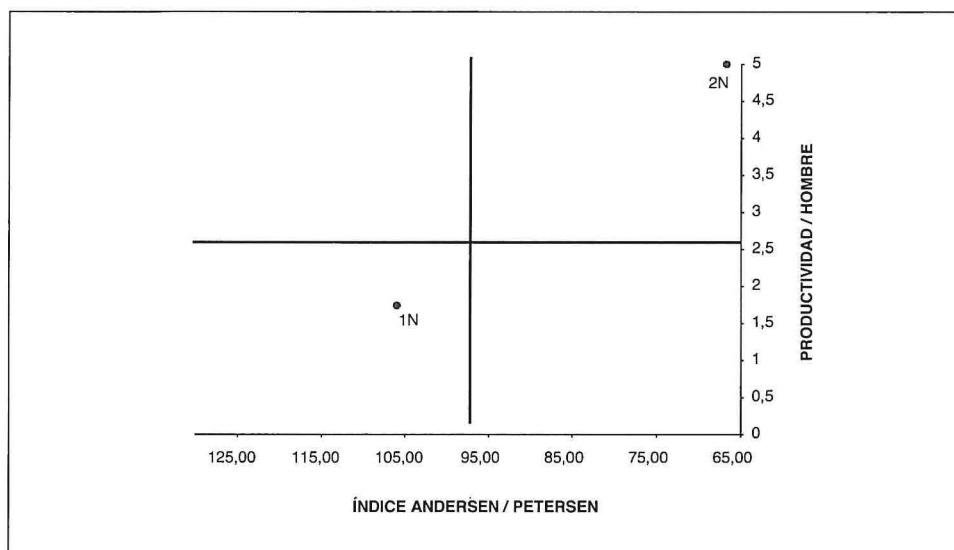
Figura 5.5
Matriz productividad / eficiencia. Sector madera



En el sector madera, se observa igualmente una homogeneidad apreciable entre las empresas para las distintas áreas funcionales. Las más próximas a la eficiencia son la 3M y la 2M. Mientras que la 2M debiera aumentar su productividad para avanzar hacia la zona óptima, la 3M debiera reforzar sus áreas más débiles, a saber: Prevención de Riesgos Laborales, Organización y Recursos Humanos y Calidad.

■ Sector naval

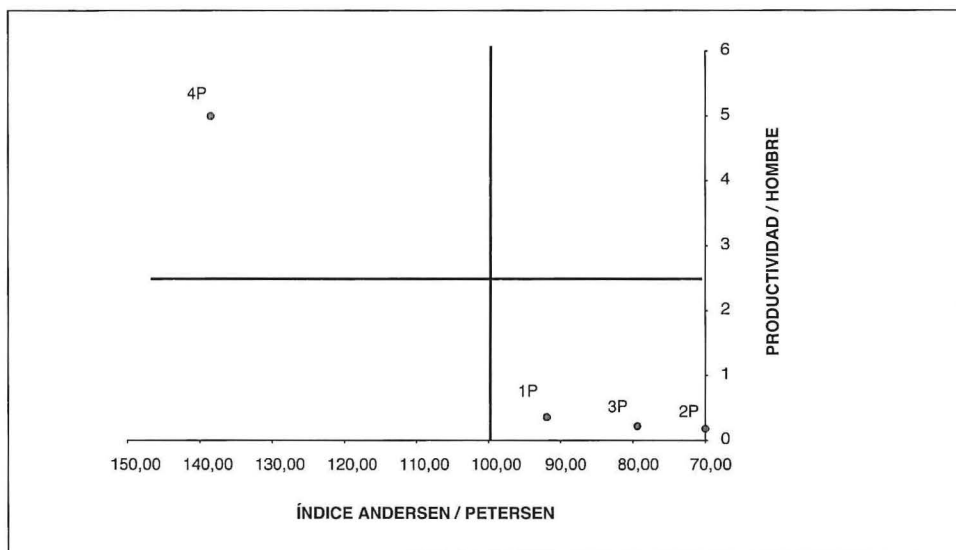
Figura 5.6
Matriz productividad / eficiencia. Sector naval



Como se puede observar, existe una clara ventaja de la empresa 2N sobre la 1N, diferencia ésta que se muestra más acusada en las áreas de Calidad y Prevención de Riesgos Laborales, lo cual puede ser un indicativo del carácter estratégico de estas variables en el seno del sector.

■ Sector pizarra

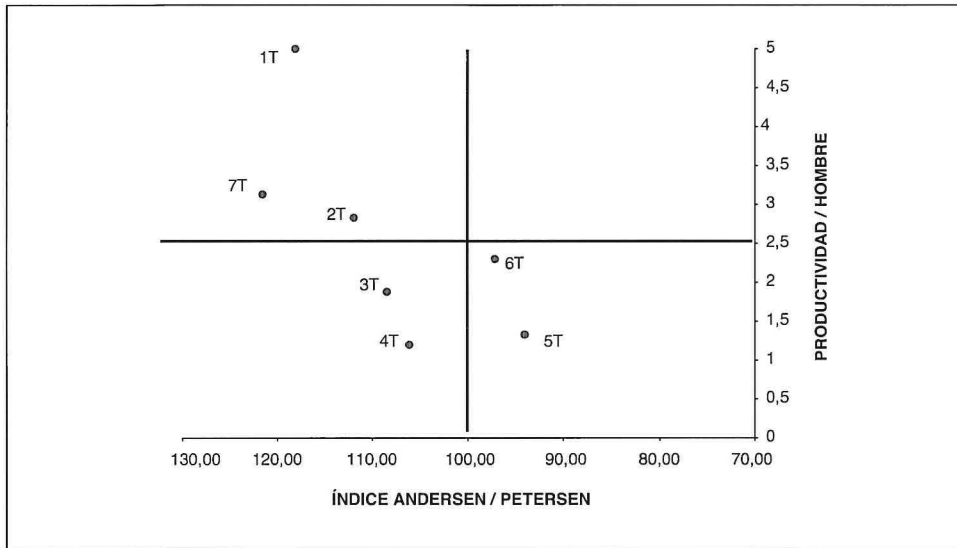
Figura 5.7
Matriz productividad / eficiencia. Sector pizarra



Para el sector de la pizarra, se observa la existencia de unas puntuaciones aceptables en el área de innovación, no siendo el nivel de desarrollo demasiado adecuado para el resto de las áreas. Para evolucionar hacia la región de optimalidad, las empresas 1P, 2P y 3P debieran aumentar su productividad, mientras que la 4P debiera reforzar sus áreas más débiles que en este caso son las relativas a Prevención de Riesgos Laborales y Calidad.

■ Sector textil

Figura 5.8
Matriz productividad / eficiencia. Sector textil



Para este sector, la empresa más próxima a la excelencia es la 6T. Para esta empresa se observa una puntuación muy aceptable en el área de calidad, con clara ventaja frente a las demás del sector. Se podría inferir, por tanto, el carácter estratégico de esta función gerencial en el contexto del sector. Para el resto de las áreas temáticas no se observan diferencias significativas.

De un modo general, se puede observar que los resultados son coherentes con los extraídos en la interpretación del modelo aditivo. Así, las áreas temáticas de PRL y Calidad suelen presentar un estado evolutivo parejo en cada una de las empresas analizadas y su desarrollo conjunto se muestra como una necesidad cierta para un eficaz crecimiento de las empresas en sus respectivos sectores de actividad. En este sentido, en el siguiente capítulo se presentan las bases conceptuales para el desarrollo de un sistema de gestión de la PRL acorde con los principios generales de gestión de la calidad en la empresa.

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN

6.1 Introducción y bases de desarrollo

En el presente apartado se pretende dar una visión general de las bases que deben regir el diseño y desarrollo de un sistema de gestión como el que se va a presentar en el presente capítulo.

Dicho sistema, al cual vamos a denominar GESPREEN, tiene por objetivo fundamental facilitar la integración entendida a un doble nivel:

- Integración en los modernos Sistemas de Gestión, y más concretamente en los Sistemas Integrados de Gestión (SIG)
- Integración entendida en términos de implicación de los miembros de la organización en el planteamiento y desarrollo de la Política Preventiva de la empresa.

Centrándonos en la primera de las cuestiones, habría que comenzar por establecer qué se entiende por Sistema Integrado de Gestión (SIG) y cuáles son las bases que lo sustentan.

De un modo general, se puede establecer que un Sistema de Gestión es el conjunto formado por la estructura de la organización, las responsabilidades, los procedimientos, los procesos y los recursos que permiten establecer la política y los objetivos de la empresa y alcanzar unos resultados coherentes con dichos objetivos. En consecuencia, el Sistema de Gestión ayudará a establecer y desarrollar aquellos elementos necesarios (estructura, recursos, procedimientos, etc.) para compatibilizar los objetivos de la empresa (qué se quiere) con los resultados de la misma (qué se logra). En el caso de combinar los Sistemas de Gestión relativos a Calidad, Medio ambiente y Prevención de Riesgos Laborales, usando un esquema común para evitar redundancias e incorporar dichas áreas de gestión de una forma equilibrada en la estrategia de la empresa, hablamos de Sistema Integrado de Gestión (SIG).

Los Sistemas Integrados de Gestión, desde el punto de vista técnico, se fundamentan en dos grandes elementos, a saber:

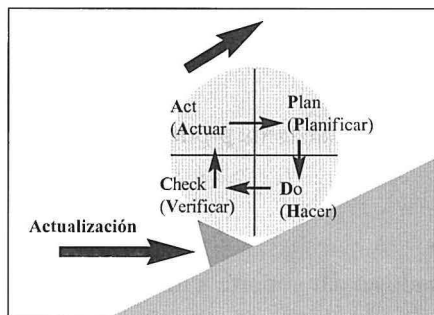
- El ciclo de mejora continua (ciclo PDCA) de Deming
- El enfoque orientado a procesos

El ciclo de mejora continua fue introducido por Deming en la década de 1920 con la idea de mejorar la calidad de los productos mediante la consolidación del diseño de innovaciones en “pequeñas dosis”. Su fundamento pasa por el desarrollo secuencial de cuatro actividades:

- Planificar (**P**lan). Esencialmente supone establecer qué se quiere hacer y cómo hacerlo, y para ello hay que desarrollar una tarea de identificación y análisis de la situación seguida de la consiguiente fijación de objetivos.
- Hacer (**D**o). Supondrá poner en juego los distintos elementos del sistema (adaptación de estructura, recursos, identificación de procesos, elaboración de procedimientos, etc.) conforme a la planificación efectuada y de cara a la consecución de los objetivos.
- Verificar (**C**heck). Básicamente requerirá desarrollar herramientas de medida fiables que permitan conocer si el funcionamiento del sistema es acorde con el planificado y los resultados que está produciendo.
- Actuar (**A**ct). Sobre la base de los resultados de la etapa de verificación se adoptarán las medidas oportunas. Estas medidas serán de dos tipos: una serie de medidas tendentes a corregir aquellos elementos de la planificación que no han dado el resultado esperado (en este caso se habla de “ajuste”) y otra serie de medidas tendentes a consolidar aquellos elementos de la planificación que han dado los resultados esperados (en este caso se habla de “actualización”).

La reiteración del ciclo sobre la base de las distintas “actualizaciones” conseguidas es el fundamento de la mejora continua y permitirá a la empresa avanzar hacia los modelos de excelencia. En la figura 6.1 se ejemplifica esta filosofía de una forma gráfica:

Figura 6.1
Ciclo de mejora continua de Deming



Por su parte, el enfoque orientado a procesos supone concentrar los esfuerzos de la organización en aquellas actividades que constituyen un aporte de valor. Desde un punto de vista formal, un proceso se define como un “conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”. Operativamente, esta definición se puede interpretar estableciendo que un proceso es una unidad de gestión con una finalidad conocida y que aporta valor a la organización.

El enfoque orientado a procesos es, en general, complejo, y requiere un elevado grado de madurez por parte de la organización en aquellos aspectos relativos a la gestión de la calidad para poder pilotarlo con éxito.

La plasmación formal de esta filosofía se concreta en la elaboración del “mapa de procesos” de la organización, consistente en una representación gráfica en la que se identifican los procesos existentes, así como la secuencia de actuación de los mismos y su interacción.

A la hora de establecer los procesos existentes en la organización, un elemento capital es elegir el grado de desagregación que se va a considerar, tomando siempre en consideración, que:

- un nivel de despliegue excesivo dará lugar a una mayor necesidad de control sobre elementos no relevantes,
- un nivel de despliegue escaso supondrá una pérdida de información relevante y un escaso control sobre actividades críticas.

Las organizaciones con un nivel de madurez pequeño optarán preferentemente por un grado de despliegue acorde con su madurez, en el que la tipología de procesos se concreta en tres grandes grupos:

a) Procesos estratégicos

Habitualmente asociados al ámbito de responsabilidades de la Dirección y al largo plazo, como puede ser el caso de los procesos de planificación.

b) Procesos operativos

Esencialmente asociados al sistema productivo, como es el caso de los procesos de línea.

c) Procesos de apoyo

Básicamente destinados a dar soporte a los procesos operativos. Tal es el caso de los procesos de gestión de recursos y de medición.

En el otro extremo, las organizaciones con un nivel de madurez elevado se decantarán por un grado de despliegue mayor, en el que se pueden distinguir al menos cuatro categorías de procesos, que guardan un íntimo paralelismo con los capítulos 5 a 8 de la norma ISO 9001: 2000, a saber:

a) Procesos de planificación

b) Procesos de gestión de recursos

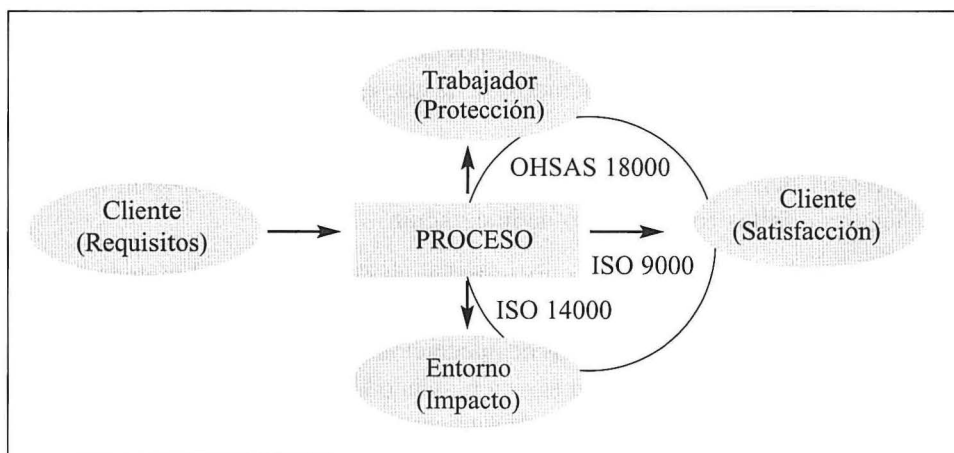
c) Procesos de realización del producto

d) Procesos de medición, análisis y mejora

La base de la integración de los sistemas de calidad, prevención de riesgos laborales y medio ambiente pasa por considerar que todos los procesos, bien sea de forma directa, o de forma diferida (procesos que alimentan a otros procesos) tienen una interacción directa con tres grupos de interés (trabajadores, cliente y entorno) para los cuales la actuación de la organización y, por ende, de los procesos está regulada normativamente.

En la figura 6.2 se refleja esta interacción:

Figura 6.2
La interacción entre los procesos y los sistemas de gestión



Por otra parte, todos estos sistemas de gestión normalizados basan su sistemática de actuación en el ciclo PDCA, es decir, en primer lugar establecen la fase de planificación, a continuación plantean las herramientas de ejecución y finalmente establecen los procedimientos de medición, análisis y mejora con los que se cierra el círculo.

Con todo ello, los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) plantean un abordaje conjunto de los mismos, optimizando recursos y potenciando el alineamiento de los procesos y su gestión con los objetivos corporativos.

Aunque el planteamiento pudiera resultar sencillo, la implantación práctica del mismo resulta, en algunos casos, enormemente dificultosa y requiere un alto grado de preparación por parte de la organización para asimilar y optimizar los conceptos manejados. De hecho, el tratar de “forzar” una integración de sistemas, sin un adecuado nivel de madurez por parte de la organización, puede suponer llevar a la empresa a un grave problema organizativo que comprometa seriamente sus posibilidades de desarrollo.

Todo proceso de integración debe fundamentarse en un concienzudo y exhaustivo análisis previo de la situación en el que se analicen y ponderen adecuadamente cuatro parámetros que van a determinar la capacidad de la organización para abordar el proceso con éxito, a saber:

- a) Nivel de madurez de la organización, medido en términos de su capacidad para la gestión por procesos.
- b) Nivel de complejidad en el que se desenvuelve la organización, medido en términos del nivel de necesidades y expectativas de clientes y “stakeholders”.
- c) Alcance requerido, medido en términos de la extensión (productos y servicios afectados y procesos involucrados) de la que es necesario dotar a los sistemas de gestión.
- d) Riesgos derivados del proceso de integración, debidos a incumplimientos legales o fallos en el proceso de integración.

Sobre la base de este análisis, la organización se decantará por el método de integración que más se adecue a sus necesidades. A este respecto cabe señalar que habitualmente se distinguen tres métodos de integración (básico, avanzado y experto) que dan lugar a diferentes niveles de integración, siendo la clasificación más extendida de los mismos la que distingue entre alineamiento, combinación e integración total.

El desarrollo de los métodos de integración y los niveles alcanzados es un tema complejo y extenso, que excede, sin duda, el ámbito conceptual de este capítulo introductorio. El lector interesado puede consultar a modo de guía y como referente sobre este particular la norma UNE 66177:2005 “Sistemas de gestión. Guía para la integración de los sistemas de gestión”. A modo únicamente ilustrativo se puede reseñar que el método básico se centra fundamentalmente en la gestión documental y en la gestión básica de algunos procesos, mientras que el método experto conjuga los aspectos documentales con una unicidad de autoridad y dirección en la gestión de los tres sistemas, alineados a su vez con la misión de la organización, su política y sus objetivos.

Sobre la base de estos antecedentes, la estructura de este capítulo queda concretada en los siguientes términos:

1. En el siguiente apartado del presente capítulo se procede a la formulación y desarrollo del contenido del sistema GESPREEN. Básicamente lo que se pretende es presentar una estructura de gestión que sea compatible con el concepto de Sistema Integrado de Gestión y que facilite su adecuación a un sistema prototípico de estas características, llegado el caso.
2. El capítulo se completa con un apartado relativo a la introducción de acciones de refuerzo que coadyuven a la integración (entendida como nivel de implicación) y

eficaz desarrollo del sistema, las cuales se van a centrar básicamente en dos grandes líneas de acción:

- integración en la estructura organizativa
- integración en la política retributiva

6.2 Formulación y contenido

De los diferentes modelos de gestión de la PRL presentados en el capítulo 2, los que se van a tomar como referente de partida para el desarrollo de GESPREEN son el modelo desarrollado por el Health and Safety Executive (HSE), en lo relativo a la concepción general del sistema, y el modelo del “Control Total de Pérdidas” de Frank E. Bird, en las cuestiones relacionadas con el diseño de herramientas prácticas de gestión para el desarrollo del sistema.

Adicionalmente, y basándose en las conclusiones relativas a la evolución de este tipo de sistemas en el futuro extractadas en el ya referido capítulo 2, es preciso dotar al modelo de unas características de diseño que básicamente se pueden concretar en:

- consideración de los principios básicos de los sistemas de gestión de la calidad
- desarrollo de herramientas que faciliten la participación del trabajador y el flujo de la información.

En estas condiciones, el sistema se va a articular sobre cuatro elementos básicos, a saber:

1. Definición y organización de la política preventiva

Es principio sobradamente conocido (HSE, 1988) que las organizaciones que logran el éxito, alcanzando altos niveles de seguridad y salud, tienen políticas en este terreno que contribuyen a la ejecución de su negocio a la vez que atienden sus responsabilidades con los trabajadores y el medio ambiente. Por otra parte, dichas organizaciones están estructuradas y funcionan de modo que pueden poner en práctica de una forma efectiva dichas políticas.

Por tanto, el punto de partida del sistema será fijar de forma clara y consensuada con los trabajadores los elementos esenciales que regirán el funcionamiento y desarrollo del mismo.

2. Implantación

La implantación de la política debe llevarse a cabo de una forma planificada y sistemática. Para ello (Bird y Germain, 1986) es preciso en primer lugar identificar cuáles van a ser los elementos sobre los que es preciso intensificar las actuaciones del sistema y establecer estándares y normas de desarrollo de actuaciones.

3. Medición y revisión de actuaciones

Una vez implantada la política preventiva, es preciso medir y evaluar el grado de desarrollo de las actuaciones y en caso necesario establecer las oportunas acciones de corrección y control. De esta forma se está en condiciones de definir cuándo y dónde se necesita mejorar las actuaciones, con lo que se pueden “realimentar” los elementos anteriores del sistema en su evolución.

4. Auditoría

Un enfoque del sistema hacia una mejora continua requiere comparar las medidas de desempeño del sistema con parámetros de referencia, tanto internos como externos. Esta es la base del autocontrol y permite asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos en la política del sistema.

La interrelación de estos cuatro elementos puede representarse de un modo esquemático en los siguientes términos:

Figura 6.3
Diagrama de flujo GESPREEN



En los apartados siguientes se establecen las líneas de desarrollo de cada uno de los elementos del sistema.

6.2.1 Definición y organización de la política preventiva

El fin principal de la planificación de la PRL es identificar las acciones necesarias para alcanzar un eficaz control de los riesgos. Este proceso incluirá (Findlay y Kuhlman, 1980):

- identificar los motivos que apoyan dicho propósito y establecer objetivos para su consecución,
- establecer normas de procedimiento mediante las cuales se puedan medir y valorar las acciones necesarias para mantener un control directo sobre los riesgos y desarrollar una cultura organizativa que apoye dicho control.

Complementariamente, una política eficaz de salud y seguridad debe influir en diversos aspectos de la actividad empresarial, entre los que cabe citar (Castejón, 1999):

- **Estrategia corporativa y responsabilidad social**

- Misión empresarial, filosofía y códigos éticos
- Imagen de la compañía en la comunidad
- Política de impacto ambiental
- Competencia profesional de la dirección

- **Finanzas**

- Estrategias en el control de pérdidas y reducción de costes
- Aspectos de gerencia de riesgos no especulativos, tales como responsabilidad en el producto, seguridad, daño a la propiedad y la consiguiente potencialidad de pérdidas financieras y responsabilidades legales
- Decisiones sobre reducción de pérdidas, retención o transferencia del riesgo, fondos para riesgos y seguros
- Decisiones sobre inversiones relativas a adquisición de negocios, nuevos edificios, equipos y procesos
- Planificación financiera general y control presupuestario

- **Recursos Humanos**

- Selección, colocación, traslado, capacitación y promoción del personal

- Estructuración de la organización para promover una cultura positiva de salud y seguridad
- Estructuración del trabajo y de las tareas para lograr participación e implicación
- Actividades de promoción de la salud
- Comunicación
- **Marketing, diseño de productos y responsabilidad en el producto**
 - Aplicación de normas sobre salud y seguridad en la especificación de productos y servicios
 - Aplicación de los requisitos legales nacionales e internacionales en materia de seguridad del producto
- **Política de fabricación y funcionamiento**
 - Integración de la Prevención en el diseño, selección, construcción, mantenimiento de edificios, plantas, equipos y sustancias
 - Integración de la Prevención en el diseño de tareas y aplicación de principios ergonómicos y estrategias adecuadas para la eliminación, reducción y control del riesgo
 - Integración de la Prevención en la gestión de la calidad
 - Integración de la Prevención en la gestión ambiental y eliminación de residuos
- **Gestión de la información y sistemas**
 - Identificación de datos críticos en la gestión de salud y seguridad
 - Selección de indicadores de actividad adecuados
 - Utilización de la tecnología de la información en la toma y en el análisis de datos básicos.

Los elementos formales que deben dar sustento a esta fase de desarrollo del sistema deben ser:

- Una declaración escrita por parte de la Dirección en la que se establezcan con claridad y concreción cuáles son los principios básicos que guiarán a la empresa en materia preventiva y cuáles son los compromisos adquiridos para poder ponerlos en práctica.

- La elección y plasmación escrita de la modalidad preventiva, de entre las legalmente posibles, que mejor se adecue a las características de la organización.
- La definición y asignación de funciones y responsabilidades de los diferentes elementos de la organización en relación con la prevención de riesgos laborales.

Un ejemplo de definición de estos elementos adecuada para el tipo de empresa objeto del presente estudio puede encontrarse en (Bestratén y Marrón, 2005).

6.2.2 Implantación

La implantación sólida de una política preventiva eficaz requiere un desarrollo secuencial de acciones en un horizonte temporal de no menos de cinco años. Evidentemente, el desarrollo exhaustivo y pormenorizado de tales acciones excede el ámbito del presente trabajo.

En estas condiciones, el abordaje en el presente estudio de este elemento del sistema de gestión va a consistir en presentar unas bases metodológicas que puedan servir de soporte para el tratamiento de una serie de **factores clave** (a continuación se argumentará la conveniencia de su elección) que deben ser considerados en una primera fase de implantación de la política preventiva.

Los factores clave propuestos son nueve y se han seleccionado en base a los siguientes fundamentos:

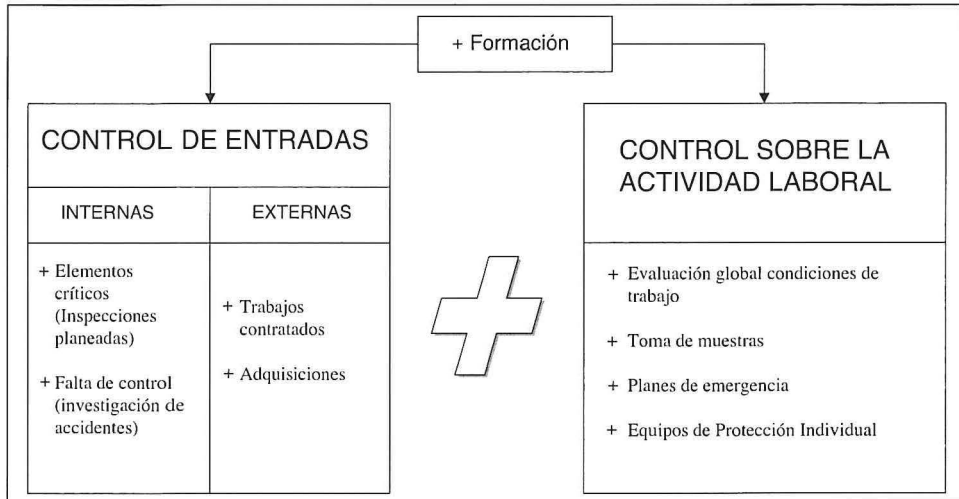
- En primer lugar, es preciso controlar una serie de elementos que se pueden considerar como “entradas” del sistema, y que esencialmente se pueden subdividir en dos grandes grupos: entradas externas (trabajos realizados por personal externo a la empresa y adquisición de materiales y equipos) y entradas internas (elementos con un potencial de riesgo elevado y faltas de control en elementos básicos del sistema). Para su control se establece el desarrollo de las siguientes herramientas de gestión:
 - Procedimiento para la realización de trabajos contratados
 - Procedimiento para el control de adquisiciones
 - Procedimiento para el desarrollo de inspecciones planeadas (con el cual se ejercerá el control sobre los elementos con potencial de riesgo elevado, también denominados críticos)

- Procedimiento para la investigación de accidentes (con el cual se detectarán las faltas de control sobre los elementos básicos del sistema)
- En segundo lugar, es preciso ejercer control sobre las tareas propias de la actividad laboral (potenciando el desarrollo de herramientas que ejercen una acción más activa sobre el arquetipo del subconsciente), para el cual se establece el desarrollo de las siguientes herramientas de gestión:
 - Procedimiento para la evaluación global de las condiciones de trabajo
 - Procedimiento para la toma de muestras ambientales (además de asegurar la fiabilidad de los resultados, el desarrollo de esta herramienta es muy interesante desde el plano formativo, al fomentar el desarrollo de prácticas de trabajo sistematizadas)
 - Procedimiento para el desarrollo y puesta en operatividad de planes de emergencia
 - Procedimiento para la selección y utilización de los equipos de protección individual (aparte de la importancia preventiva de esta modalidad de protección, su sistematización es muy importante pues presenta una serie de peculiaridades que pueden favorecer enormemente la participación activa del trabajador en el diseño y desarrollo de la política preventiva)
- Complementariamente, es preciso sistematizar el programa de formación del personal (mediante el desarrollo de un procedimiento para el desarrollo de las acciones formativas) al objeto de asegurar una adecuada capacitación para una eficaz puesta en práctica de las herramientas desarrolladas.

En consecuencia, estas nueve herramientas de gestión se plantean en el presente trabajo como elementos básicos sobre los que sustentar la implantación de una eficaz política preventiva. Adicionalmente, en la concepción de sus bases metodológicas, se han de tener en consideración los principios básicos de los sistemas de la calidad (fomento de la participación, establecimiento de registros documentales para el control, etc.) con lo cual y estableciendo un símil con las siete herramientas básicas de dichos sistemas las vamos a denominar las “nueve herramientas básicas para la PRL”.

Esquemáticamente, se puede resumir el planteamiento presentado, en los siguientes términos:

Figura 6.4
Las nueve herramientas básicas en la implantación de la política preventiva



Como se ha indicado con anterioridad, el desarrollo pormenorizado de estos elementos es una tarea prolija, que excede el ámbito del presente estudio. No obstante lo anterior, a continuación se presentan una serie de líneas que pueden orientar acerca de su ejecución.

La idea fundamental es configurar las herramientas de gestión en la forma de Procedimientos análogos a los empleados en los sistemas de gestión de la calidad, favoreciendo de esta forma la integración documental en un Sistema Integrado de Gestión, llegado el caso.

A continuación se presenta una posible estructura prototípica ejemplificada para el contenido mínimo de los referidos Procedimientos (genéricamente “XXX S.A.” se utilizará como denominación de la empresa).

1. Objeto

Describirá claramente el propósito del Procedimiento.

Por ejemplo, para el procedimiento relativo a la realización de trabajos contratados, su contenido podría ser:

“El objeto del presente Procedimiento es establecer la sistemática a seguir y los requisitos exigibles por XXX S.A. en materia de seguridad y salud, en

relación con los trabajos realizados por personal ajeno, con especial atención a aquellos realizados por empresas contratistas / auxiliares”.

2. Campo de aplicación

Indicará el ámbito al cual se aplica el Procedimiento.

Por ejemplo, para el procedimiento relativo al control de adquisiciones, su contenido podría ser:

“Lo contenido en el presente Procedimiento será de aplicación para la compra por XXX S.A. de:

- máquinas*
- equipos de trabajo*
- herramientas*
- útiles de trabajo*
- equipos de protección personal*
- productos químicos*
- productos en general*

que se utilicen con cualquier fin en sus centros de trabajo.”

3. Referencias

Consignará los referentes que se han tomado como base para la elaboración del Procedimiento.

Por ejemplo, para el Procedimiento relativo al desarrollo de actividades formativas, su contenido podría ser:

“Este Procedimiento ha sido elaborado teniendo en consideración las directrices recogidas en los siguientes documentos:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.*
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y modificación posterior Real Decreto 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real decreto 39/1997, de 17 de enero.*

- *“La formación en seguridad y salud en el lugar de trabajo”. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo. 1992.*
- *“Formación para la prevención”. INSHT. Madrid. 2005.”*

4. Responsabilidades

Se indicará la persona o grupo de personas que deben realizar las actividades cubiertas por el Procedimiento y sus responsabilidades.

Por ejemplo, para el Procedimiento relativo a selección, adquisición y utilización de equipos de protección individual, su contenido podría ser:

“El Servicio de Prevención de XXX S.A., será el encargado de asesorar tanto a la línea de mando, como a los trabajadores y a sus representantes acerca de la selección y utilización de los Equipos de Protección Individual, que deban utilizarse para la prevención de los riesgos específicos inherentes a la actividad laboral desarrollada.

El empresario o su representante, asesorado por el Servicio de Prevención y contando con la activa participación del Comité de Seguridad y Salud, será responsable del proceso de selección y de suministrar los Equipos de Protección adecuados de acuerdo con el riesgo frente al que hay que proteger; asimismo velará por su correcta utilización, contando para ello con la ayuda tanto del Servicio de Prevención de XXX S.A. como de la línea de mando.

Los trabajadores, serán responsables de utilizar correctamente el Equipo de Protección Individual puesto a su disposición, y después de la utilización colocarlo en su sitio.”

5. Definiciones

En caso necesario, se darán las definiciones de los términos no comunes que aparezcan en el Procedimiento.

Así por ejemplo, en el Procedimiento relativo al desarrollo de inspecciones planeadas, sus contenidos pueden ser:

“Al objeto de lograr uniformidad en la interpretación y ulterior aplicación del presente Procedimiento se establecen las siguientes definiciones:

- *Partes críticas:*

Son los componentes de la maquinaria, de los equipos, de los materiales, de las estructuras, de los locales de trabajo o de las áreas, que ofrecen mayores probabilidades de ocasionar un accidente cuando se gastan, se dañan, se abusa de ellos, se maltratan o se utilizan en forma inadecuada. El concepto de parte crítica va inexorablemente ligado a la idea de material “en uso” (Ejemplo: cable de grúa en uso).

- *Elementos críticos:*

La definición es la misma que en el caso de las partes críticas, pero en este caso suponemos que el material se encuentra en el almacén. Su calificación de “críticos” se debe a que aunque éstos elementos no estén en uso, pueden requerir la observancia de unos cuidados especiales, que si no son tenidos en consideración, pueden conducir al accidente en la posterior utilización de dicho material (Ejemplo: cable de grúa en stock en el almacén).”

6. Procedimiento de actuación

Se describirán las acciones y elementos de desarrollo necesarios para conseguir el objetivo del Procedimiento.

A continuación, y a título ilustrativo, se incluye un extracto (no se desarrolla el procedimiento entero, debido a su extensión) de los posibles contenidos del procedimiento de desarrollo de inspecciones planeadas.

“Como se indicó en el “Objeto” el fin del desarrollo de las actividades presentadas en este Procedimiento es lograr un control efectivo sobre ciertos elementos y situaciones de capital importancia en la ocurrencia de accidentes de magnitud considerable. Para la consecución de este objetivo se plantea una sistemática de actuación focalizada en tres campos de actuación diferenciados:

- a) Desarrollo de actividades de identificación y control de elementos y partes críticas*

Esta línea de actuación es muy pareja a las tradicionales labores del “mantenimiento preventivo”; es por ello que un programa actualizado de mantenimiento, y con orientación especial a este tipo de elementos, puede cubrir casi en su totalidad esta línea de actuación.

b) Desarrollo de inspecciones generales planeadas

Estas inspecciones de enfoque amplio e integral se centrarán en áreas funcionales completas, variando en cada caso los elementos de estudio considerados en función de las características funcionales del área considerada. Un elemento de estudio de especial importancia, de aplicación en la casi totalidad de las áreas funcionales, será la evaluación de orden y limpieza en los lugares de trabajo.

c) Desarrollo de inspecciones pre-uso de ciertos elementos

Será el complemento necesario para tener en consideración elementos de potencial consideración crítica que habitualmente no se incluyen en un programa de mantenimiento preventivo.

A continuación se presenta el proceso a seguir para la consecución de cada uno de estos elementos.

6.1 LA IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE ELEMENTOS Y PARTES CRÍTICOS

El desarrollo de la metodología pasa por la culminación de las siguientes etapas:

a) Elaboración del inventario de partes y elementos críticos

Evidentemente, la primera etapa en el desarrollo de un modelo de gestión preventiva, encaminado al control de pérdidas originadas por los elementos y partes considerados críticos pasa por la identificación de las mismas y, por ende, por la elaboración de un inventario de dichos elementos y partes. Una vez elaborado este inventario se estará en condiciones de evaluar la potencial peligrosidad de sus componentes y, por tanto, se dispondrá de elementos de juicio suficientes para adoptar las decisiones pertinentes de gestión para el control de los mismos.

En estas condiciones, la elaboración del inventario pasa por la consecución de las siguientes etapas:

I. Clasificación en categorías de los bienes materiales de XXX S.A.

Esta clasificación será la base de partida para lograr una ordenación homogénea en la posterior identificación de los elementos y partes críticos. Esta clasificación se establecerá en colaboración por los distintos elementos

intervinientes en el desarrollo de la actividad funcional de la empresa, a saber: mando superior, mando intermedio, mando directo y equipos de trabajo, servicio de prevención, servicio de compras y cualquier otro servicio con competencias en el tema, teniendo siempre en consideración los criterios para la elaboración de inventarios que estén establecidos en el Astillero.

A título orientativo, esta determinación de categorías puede ser la siguiente:

- Maquinaria*
- Equipos*
- Útiles y herramientas*
- Materiales y substancias*
- Locales de trabajo*
- Áreas de trabajo*

II. Delimitación de responsabilidades por áreas, en función de su distribución física u organizativa, con asignación de responsabilidad al mando intermedio de cada área.

III. Elaboración de listas de todos los elementos y partes de cada área, clasificándolos en las categorías establecidas conforme a lo señalado en el punto a).

La elaboración de estas listas será responsabilidad en cada área de los mandos directos y de sus equipos de trabajo, auxiliados, en su caso, por el servicio de compras, administración de XXX S.A. o cualesquiera otros departamentos competentes en la materia que les puedan facilitar datos sobre listados de inventario ya existentes (de componentes en funcionamiento y en almacén).

IV. Identificación y listado de todas las partes y elementos críticos.

Esta identificación se realizará mediante un trabajo en equipo de los mandos intermedios y directos, conjuntamente con su personal, así como con la colaboración del servicio de prevención. Para su elaboración, y como documentación adicional de utilidad, se pueden emplear registros históricos de mantenimiento, historial de accidentes, etc.

La base de partida para la elaboración de este listado será el obtenido anteriormente en el apartado III. A partir del mismo se propondrán, por

los distintos integrantes del grupo de trabajo, los distintos componentes considerados críticos a su juicio, aduciendo las razones para tal consideración. Para la elaboración de estas propuestas se empleará la “Hoja de trabajo para la detección de elementos y partes críticos” (Anexo I), la cual se someterá finalmente a la consideración del grupo para su clasificación como crítico o no crítico.

Los elementos a consignar en el referido impreso son:

- *Área:* Se indicará el área funcional en la que se encuentra el elemento considerado, según la clasificación establecida en el apartado I).
- *Responsable:* Se indicará el nombre del mando intermedio responsable del área considerada.
- *Propuesta realizada por:* Se indicará el nombre del integrante del equipo de trabajo que realiza la propuesta de elemento o parte crítica.
- *Denominación del elemento o parte crítica:* Se explicitará el componente suficientemente para posteriormente poder documentarlo adecuadamente en el registro de partes y elementos críticos según se describirá más adelante.
- *Razones para consideración crítica:* Se emplearán expresiones claras y concretas, del tipo: mellado, de borde agudo, torcido, astillable, roto, gastado, corroído, con filtración, explosivo, inflamable, con vibración, suelto, fuera de servicio, resbaloso, inestable, descompuesto, defectuoso, excesivo, desparramado, gaseoso, etc.
- *Clasificación crítica (sí/no):* Como ya se ha indicado anteriormente, el documento se someterá a la consideración del grupo, y en la columna correspondiente se consignará la clasificación de crítico o no crítico.

Al término de esta fase se habrá conseguido identificar los equipos, áreas de trabajo, etc. que podrían ocasionar un problema de importancia si fallan. Si el trabajo se ha desarrollado bajo parámetros de racionalidad, el número de estos elementos no debe ser elevado.

V. Elaboración de un registro de elementos y partes críticos.

Es la última fase del proceso, y con ella se logrará no solo tener identificados los elementos y partes críticos, sino fundamentar

documentalmente el desarrollo de las futuras actividades de control de dichos componentes.

A partir de los elementos y partes críticos obtenidos en el apartado anterior, se elabora una base documental que servirá de soporte para el desarrollo de las actividades de control referidas. Para ello se empleará la "Hoja de registro de elementos y partes críticos" (Anexo II).

En este documento se tiene:

- *Tipo: Se especificará si el componente se trata de una parte o un elemento crítico.*
- *Categoría: Se indicará su clasificación dentro de las categorías establecidas en virtud de lo señalado en el apartado I).*
- *Características: Se consignarán los datos identificativos del elemento o parte a partir de sus datos de inventario.*
- *Componentes considerados críticos: Se enumerarán los componentes constituyentes del elemento o parte en cuestión, que se consideran críticos.*
- *Razones de clasificación crítica: Se consignará conforme a lo indicado al rellenar el documento del Anexo I.*
- *Puntos a inspeccionar: Se indicarán las principales características de la parte o elemento que es preciso inspeccionar (niveles, grietas, etc.) para evaluar su estado desde el punto de vista de la seguridad. Cuando sea posible se describirá cómo identificar el peligro y medir su gravedad.*
- *Frecuencia: Se reseñará la frecuencia con la que se inspeccionarán los puntos referidos en el apartado anterior. Debe adaptarse a la magnitud de la pérdida y realizarse con carácter preventivo, es decir, antes de que aquella se produzca, lo que no presupone una frecuencia más alta de lo conveniente. Criterios como "antes de su uso", "antes de su entrega", "durante las reparaciones programadas", "diariamente", "semanalmente", "mensualmente", "cada dos meses", "trimestralmente" o "anualmente", serán los tenidos en cuenta para fijar la frecuencia de las inspecciones preventivas.*
- *Responsable: La responsabilidad de la inspección será asignada a la persona con mayor capacidad y experiencia desde el punto de vista práctico: mando directo, mecánico, especialista de mantenimiento, etc.*

Con esto se ha finalizado la parte más compleja del proceso, a saber: la elaboración del inventario de partes y elementos críticos. Simplemente queda señalar que lógicamente el proceso ha de ser dinámico y en permanente adaptación a los cambios originados por el desarrollo de la estructura productiva de XXX S.A.. Es por ello que en cada área y para los distintos equipos de trabajo ha de disponerse siempre de impresos como el presentado en el Anexo I, los cuales se cumplimentarán cuando, razonadamente y en función de la evolución, se observe la aparición de nuevos elementos o partes críticos. Así se cumplimentará posteriormente el impreso del Anexo II, y con ello se habrá integrado el elemento o parte en el ciclo de gestión para el control de estos componentes.

b) Inspecciones de control

Una vez completada la fase anterior es preciso integrar las conclusiones obtenidas tras la elaboración del inventario de partes y elementos críticos en el modelo de gestión preventiva de XXX S.A.

La forma más lógica de llevar a la práctica esta filosofía es mediante el desarrollo de inspecciones de control de los puntos referenciados como críticos en el análisis desarrollado según lo indicado en el punto anterior (a)).

Paralelamente será preciso llevar un control documentado del desarrollo de estas inspecciones de cara a un correcto desarrollo de las auditorías internas de seguridad de la empresa.

Para dar cumplimiento a todas estas premisas, se empleará como documento-base la “Hoja de control de inspecciones de elementos y partes críticos” (Anexo III). En dicho documento se tiene:

- La cabecera del mismo es la resultante de los datos obtenidos de cumplimentar el impreso del Anexo II, luego será una copia literal de los mismos para los distintos elementos y partes críticos.*
- La tabla final del documento será la parte “activa” del mismo, y en ella se irán consignando las distintas operaciones de inspección que se realicen, señalándolas por el número indicado en la cabecera del mismo, y firmando el responsable de realizar la inspección una vez completada la misma.*

Con ello se logra finalmente un conjunto de “fichas de inspección” que permitirán disponer de un registro histórico de operaciones de inspección

de elementos y partes críticos, de cuyo análisis se pueden extraer interesantes conclusiones acerca del grado de implementación y validez práctica del modelo de control de pérdidas implantado.

6.2 DESARROLLO DE INSPECCIONES GENERALES

...

7. Documentación, registro y archivo

Hará referencia a todos los documentos que se generen como resultado de aplicación del Procedimiento. En caso necesario, se especificará el tipo de formato a emplear y las instrucciones para su cumplimentación (registro).

En caso necesario, se indicará el lugar donde se archivarán los documentos generados por la aplicación del Procedimiento.

Por ejemplo, y para enlazar con la línea argumental ejemplificada en el apartado anterior, se indican los posibles contenidos de este apartado para el Procedimiento relativo al desarrollo de inspecciones planeadas.

“Modelos de los soportes documentales necesarios para la puesta en práctica del presente Procedimiento se encuentran en los Anexos I a III del mismo.

Su cumplimentación se efectuará según lo indicado en el capítulo 6 (Procedimiento de actuación).

Los originales de los referidos impresos, debidamente cumplimentados, se archivarán en la Jefatura del Departamento en el que se encuentren los equipos afectados por los contenidos de los mismos.

Una copia de los mismos será remitida al Servicio de Prevención”.

Anexos

Se incluirán aquellos elementos referidos en el texto del Procedimiento y que puedan segregarse de los contenidos del mismo.

Por ejemplo, el Anexo I referido en el ejemplo anterior, podría presentar los siguientes contenidos:

Figura 6.5
Hoja de trabajo para la detección de elementos y partes críticos

ÁREA: BLOQUES PLANOS

RESPONSABLE: xxxxxxxxx (Maestro de taller)

PROPUESTA REALIZADA POR: xxxxxxxx (Jefe de movimiento de materiales)

DENOMINACIÓN DEL ELEMENTO O PARTE CRÍTICA	RAZONES PARA CONSIDERACIÓN CRÍTICA	CRÍTICA	
		Sí	No
ESLINGA DE CABLE	Rotura por desgaste	x	
ESLINGAS DE CADENA	Rotura por fatiga	x	
PASTECAS	Defectos en presillas de cierre	x	
MOTOR DE ELEVACIÓN	Fallos de componentes	x	
BARANDILLAS PROTECTORAS	Desgastes y roturas parciales	x	

Fecha 01/01/01

Firma del proponente

6.2.3 Medición y revisión de actuaciones. Proceso de auditoría

Como etapa final del sistema, es preciso disponer de un método de control que verifique la conformidad de dicho sistema con los requisitos especificados y que mantenga al día un registro del estado de situación. Habitualmente esta tarea se desarrollará en la forma de auditoría interna, conforme a los criterios que a continuación se expondrán.

Complementariamente, y para hacer eficaz la conocida fórmula del “bucle de mejora” y en consonancia con el desarrollo de políticas participativas de gestión, conforme a lo propugnado en el presente trabajo, es preciso disponer de un “circuito de retroalimentación” que valore el grado de implicación del trabajador en el sistema y evalúe su percepción acerca de la efectividad del mismo. Este objetivo se conseguirá mediante el desarrollo de una escala de actitud al respecto.

Centrándonos en el primero de los aspectos, cabe señalar que la auditoría interna de Prevención de Riesgos Laborales complementa el ciclo de planificación y control, siendo su concepto similar a los sobradamente conocidos de auditoría financiera o de calidad. Su objeto no es otro que proporcionar una valoración sobre la validez y fiabilidad de los sistemas de planificación y control de gestión. La auditoría apoya el control al proporcionar a la gerencia información sobre la implantación y efectividad de los planes y normas de procedimiento. Igualmente proporciona una comprobación de la fiabilidad, eficiencia y eficacia de los acuerdos para diseñar la política, organizar, planificar, implantar, medir y revisar las actuaciones.

Tomando como definición operativa de auditoría del sistema de gestión de prevención de riesgos laborales la “evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva que evalúa la eficacia, efectividad y fiabilidad del sistema de gestión para la prevención de riesgos laborales, así como si el sistema es adecuado para alcanzar la política y los objetivos de la organización en esta materia” (UNE 81-901: 1996) resulta evidente la necesaria organización metodológica del proceso. Así, éste se desarrollará conforme a la siguiente secuencia:

1. Establecimiento del objeto de la misma

Desde un punto de vista general podemos distinguir dos grandes tipos de diseño de auditoría, los cuales presentan objetivos bien diferenciados, a saber:

- auditorías de sección vertical, en las cuales se examina un aspecto específico para todos los elementos identificados como susceptibles de auditoría, y
- auditorías de sección horizontal, en las cuales se examina con detalle un elemento particular del Sistema de Prevención de Riesgos Laborales y particularmente la organización de la PRL, es decir, el sistema diseñado y denominado GESPREEN.

En el primero de los casos se buscará obtener información relativa al grado de implantación de una medida específica (por ejemplo, grado de integración de la política de selección y uso de los equipos de protección individual), mientras que en el segundo caso se pretende realizar un análisis en profundidad del proceso global de planificación y ejecución de cara a su modificación, al objeto de mantener y desarrollar sus capacidades para la gestión preventiva con la máxima amplitud posible.

Tanto en uno como en otro caso, de un modo general se establecerá una programación periódica combinada de las actividades auditoras, examinando así diferentes aspectos, secciones o departamentos por turno. Complementariamente se debe contemplar el desarrollo de auditorías por motivos particulares, tales como (AISS, 1993):

- elevación de los índices de siniestralidad y recargo en las cuotas de la Seguridad Social,
- evolución de la reglamentación,
- modificación de los procesos productivos,
- modificación de los métodos de trabajo,
- introducción de nuevas sustancias, etc.

así como por la constatación de niveles insuficientes de cumplimiento en los estándares preestablecidos.

2. Determinación de los participantes

La selección del equipo auditor depende de diversas cuestiones, entre las que cabe citar el objeto, el alcance y la orientación de la auditoría. En cualquier caso, es muy conveniente recurrir a la presencia de especialistas de diversos campos en dicho equipo. Igualmente debiera limitarse el número máximo de componentes a cinco. Entre las cualidades exigibles a una persona para poder formar parte del equipo auditor, cabe reseñar las siguientes:

- competencia
 - capacidad técnica
 - cualidades de mando
 - experiencia en el terreno auditado
- cualidades personales
 - objetividad
 - trato agradable
 - intuición
 - comprensión
 - paciencia
- independencia
 - pertenencia a un nivel equivalente a los auditados

- capacidad de libre decisión
- posición funcional de independencia respecto a los auditados

3. Preparación de la auditoría

Al tratarse de procesos de auditoría interna, no será preciso el desarrollo de tareas previas características de este tipo de situaciones como son el estudio de los procesos productivos, solicitud de información acerca de los equipos, etc., ya que algunos de los miembros del equipo auditor deben estar suficientemente formados y preparados para dar respuesta a estas cuestiones. En estas condiciones, el proceso de preparación de la auditoría pasa por la fijación de los puntos a auditar, los cuales se glosarán en las denominadas “listas de verificación”. Así, el éxito del proceso depende en gran parte de una definición precisa de los puntos a controlar.

Evidentemente, cada situación específica de una empresa requerirá la elaboración de sus propias listas de control, las cuales deben responder a las características propias y diferenciadas de su estructura organizativa y de su política de empresa.

No obstante, como aportación ilustrativa, a continuación se presenta un ejemplo de lista de control para el desarrollo de una auditoría de sección vertical relativa a la gestión de los equipos de protección individual en la empresa.

Tabla 6.1
Modelo de cuestionario para auditoría vertical

A. CUESTIONES A FORMULAR A LA GERENCIA				
A.1 CONDICIONES GENERALES DE GESTIÓN				
Nº	CUESTIÓN	SI	NO	OBSERVACIONES
A.1.1	¿Se contempla la gestión sistematizada de los EPI en la definición de la política preventiva de la empresa?			
A.1.2	¿Existe una Comisión específica dentro del Comité de Seguridad y Salud para la gestión de los EPI?			
A.1.3	¿El proceso de gestión se rige por lo estipulado en los RD 1407/1992 y 773/1997?			
A.1.4	¿Existe un control presupuestario para la adquisición de los equipos?			
A.1.5	¿Se ha firmado algún pliego de condiciones de adquisición con los suministradores de los equipos?			
A.2 CONDICIONES RELATIVAS A LA SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS				
A.2.1	¿La selección de los equipos se realiza sobre la base de la evaluación de riesgos?			
A.2.2	¿Se desarrolla un proceso de selección particularizado para cada puesto de trabajo?			
A.2.3	¿Se tiene en cuenta la opinión del trabajador en el proceso de selección?			
A.2.4	¿Existe una adecuación entre nivel de riesgo y nivel de prestación del equipo?			
A.2.5	¿Se prueba una muestra del equipo en el lugar de trabajo previamente a su selección?			
A.2.6	¿Se contemplan las diferentes vías de entrada de los contaminantes en el organismo?			
A.2.7	¿Se tienen en cuenta las características anatómicas y fisiológicas especiales de algunos trabajadores?			
A.2.8	¿Los equipos adquiridos disponen del marcado "CE"?			
A.2.9	¿Los equipos adquiridos disponen de folleto informativo?			
A.2.10	¿Se analiza la posible necesidad de compatibilidad entre distintos equipos de protección individual?			
A.2.11	A igualdad de rendimiento, ¿se tienen en cuenta para la selección parámetros ergonómicos tales como el peso, reducción del campo visual, etc.?			
A.3 CONDICIONES RELATIVAS A LA UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS				
A.3.1	¿Existe obligatoriedad de uso en determinadas zonas de la empresa?			
A.3.2	¿Se encuentran dichas zonas convenientemente señalizadas?			
A.3.3	¿Existe un responsable encargado de velar por la utilización de los equipos?			
A.3.4	En caso de infracción, ¿se prevé la imposición de medidas disciplinarias?			
A.3.5	Las medidas disciplinarias, ¿han sido fijadas conforme a una reglamentación interna fijada con los representantes de los trabajadores?			
A.3.6	¿Se fija el tiempo durante el cual el trabajador debe llevar el equipo?			
A.3.7	¿Se prevé la consideración de periodos de descanso durante la utilización del equipo?			

A.4 CONDICIONES RELATIVAS AL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS			
A.4.1	¿Se utilizan los productos de mantenimiento recomendados por el fabricante en su folleto informativo?		
A.4.2	¿Se conoce el periodo establecido por el fabricante como "vida útil" del equipo?		
A.4.3	¿Existe en el centro de trabajo un lugar de almacenamiento de los equipos para cuando no se utilizan?		
A.4.4	¿Se lleva un registro relativo a las operaciones de mantenimiento del equipo?		
A.4.5	En caso de reparaciones, sustituciones, etc. ¿éstas se realizan a través de un suministrador autorizado por el fabricante?		
B. CUESTIONES A FORMULAR A LOS TRABAJADORES			
B.1 CONDICIONES RELATIVAS A LA INFORMACIÓN			
B.1.1	¿Conoce el procedimiento mediante el cual se seleccionan los EPI en su empresa?		
B.1.2	¿Su opinión ha sido tenida en consideración a la hora de seleccionar los EPI que utiliza?		
B.1.3	¿Se le ha suministrado una copia del folleto informativo del fabricante conjuntamente con el equipo?		
B.1.4	¿Dicha copia se encuentra redactada en español?		
B.1.5	¿Se le ha informado acerca de la obligatoriedad de uso de determinados equipos?		
B.2 CONDICIONES RELATIVAS A LA FORMACIÓN			
B.2.1	¿Ha sido entrenado previamente a la utilización de los equipos de protección individual?		
B.2.2	¿Conoce el significado de las distintas marcas, indicadores, etc. que aparecen en los EPI que utiliza en su trabajo?		
B.2.3	¿Conoce de qué forma comprobar que los EPI se encuentran en perfecto estado y listos para su uso?		
B.2.4	¿Sabe qué mantenimiento realizar a los EPI que utiliza y cuándo desecharlos?		
B.2.5	¿Sabe dónde depositar los EPI que utiliza una vez finalizada la jornada laboral?		
B.3 CONDICIONES RELATIVAS A LA RELACIÓN CON LA GERENCIA			
B.3.1	¿Sus superiores jerárquicos "predican con el ejemplo" en lo relativo a la utilización de los EPI?		
B.3.2	¿Puede Vd. tratar los problemas relativos a los equipos que utiliza con sus superiores?		
B.3.3	En caso de la aparición de algún problema con un equipo, ¿su superior acude a su puesto de trabajo para ayudarle a resolverlo?		
B.3.4	¿Dispone en todo momento de los EPI necesarios para desarrollar su trabajo?		
B.4 CONDICIONES ERGONÓMICAS			
B.4.1	¿Los EPI que utiliza en su puesto de trabajo suponen la aparición de algún factor de molestia tal como irritación cutánea, fatiga, sobrecarga muscular, sensación de claustrofobia, etc.?		
B.4.2	¿Los EPI que utiliza en su puesto de trabajo disponen de elementos de ajuste al cuerpo tales como hebillas, bandas, etc.?		
B.4.3	Debido a la utilización de EPI en su trabajo, ¿debe realizar pausas con frecuencia?		

4. Desarrollo de la auditoría

Una serie de principios básicos, por los que se debieran regir las acciones de los auditores de seguridad, se pueden explicitar en los siguientes términos:

- escoger para el desarrollo de la auditoría, situaciones de elevada actividad, como pueden ser:
 - carga de trabajo importante
 - cambio de turno
 - reparaciones y mantenimiento
- atenerse a los hechos
- respetar el programa de auditoría previamente establecido, controlándolo sobre el terreno
- reforzar mediante hechos los puntos de vista e indicaciones preestablecidos
- observar los modos de comportamiento
- evitar las críticas y las justificaciones
- disponer periodos de tiempo para la discusión
- observar los equipos, los comportamientos y las actitudes de los operarios

Desde el punto de vista técnico, a continuación y a título indicativo, se proponen una serie de cuestiones que podrían servir de ayuda para la evaluación:

- ¿Son las medidas de protección previstas suficientes y adecuadas y de tal naturaleza que no suponen una traba excesiva para los operarios?
- ¿La organización en planta es tal que se ve favorecida la optimización del flujo de materiales?
- ¿Están claramente delimitadas las competencias y existe una coordinación satisfactoria entre los distintos elementos?
- ¿Se tienen en consideración las opiniones de los operarios para la mejora de las condiciones de trabajo?
- ¿Los métodos y consignas de trabajo son suficientemente completos y comprensibles?

- ¿Disponen los operarios de los conocimientos y la experiencia necesarios para el desarrollo de su trabajo?
- ¿El nivel de ocupación de los operarios es elevado?
- ¿Se desarrollan hábitos peligrosos?
- En caso de incumplimientos, ¿se desarrollan acciones correctoras por parte de los mandos jerárquicos?
- En caso de averías, emergencias, etc. ¿los procedimientos a seguir son suficientemente conocidos por los afectados?
- ¿Son tenidas en consideración las limitaciones de orden personal?

5. Conclusiones y fijación de acciones correctoras

Los resultados de la auditoría deben presentarse en un informe que describa el estado real de situación. Para ello, se establecerá una comparación entre los estándares de desempeño previamente establecidos en los documentos rectores de la política preventiva de la empresa, y los valores obtenidos mediante el desarrollo de la acción auditora. En este punto, es importante recalcar que deben mencionarse no solo las desviaciones respecto a los estándares (“no conformidades”), sino también los puntos fuertes y los logros en el cumplimiento de los mismos, ya que la auditoría de prevención nunca debe ser fiscalizadora.

Respecto a las “no conformidades”, debieran presentarse de una forma ordenada y sistemática, haciendo referencia en cualquier caso a:

- la descripción de la situación y, cuando proceda, la manera como se ha obtenido la información sobre la misma
- la razón de la “no conformidad”
- la calificación de su gravedad

A raíz de las desviaciones detectadas, es preciso definir una serie de actuaciones de mejora (“acciones correctoras”) de forma consensuada con los mandos implicados, estableciendo igualmente un orden de prioridad de las mismas, un plazo de puesta en práctica y un responsable de dicha puesta en práctica. Es esencial que se lleve un registro documental para el control de la implantación de dichas medidas en plazo y forma. En este sentido, a continuación se propone un modelo de ficha de registro completada con un ejemplo de desviación respecto a los estándares, resultante del desarrollo de una auditoría vertical relativa a la gestión de

los equipos de protección individual conforme al ejemplo de lista de verificación que se introdujo con anterioridad.

Figura 6.6
Ficha de control de desviaciones

HOJA DE CONTROL DE DESVIACIONES	
<div> <div> Tipo de auditoría Horizontal ☐ Vertical ☒ </div> <div> Alcance: <i>Gestión de los equipos de protección individual</i> Área auditada: <i>Taller de bloques curvos</i> </div> </div>	
Ítem lista de verificación afectado B.1.3 B.2.2	Equipo auditor: Fecha auditoría: 22.09.00
Descripción de la desviación: <i>El trabajador no conoce el significado de los números que aparecen en los pictogramas de los guantes mecánico-térmicos que utiliza para el manejo de las chapas. No dispone de copia del folleto informativo de los guantes</i>	
Mecanismo de captación de la información: <i>Entrevista personal con el trabajador</i>	
Acciones correctoras propuestas: <ul style="list-style-type: none"> - suministrar copia de los folletos informativos a los trabajadores - organizar una sesión formativa dentro del horario de trabajo para explicar el significado de los contenidos del folleto informativo - revisar el procedimiento interno para el suministro de los EPI y comprobar que se recoge la especificación de suministrar a los trabajadores una copia del folleto informativo conjuntamente con el equipo; en caso negativo, modificar el procedimiento Plazo de subsanación: <i>2 semanas</i> Conforme Fdo.:	
Verificación de la implantación Responsable: <div style="text-align: right;">Fecha y firma</div>	

Finalmente y como ya se ha indicado, es preciso disponer de un circuito de retroalimentación que canalice la actitud de los trabajadores en términos de su implicación y valoración del sistema. La metodología propuesta al efecto pasa por el desarrollo de una escala de intervalo de diferencial semántico para la valoración de dicha actitud (Kinnear, 1996). En este sentido, existen precedentes en la materia tal como la PWHS (Perceptions of Workplace Hazards Scale) (Smith et al., 1992).

La escala propuesta en el presente trabajo establece, para distintos elementos de la política preventiva de la empresa, una valoración de diferencial semántico a través de la expresión del grado de acuerdo o desacuerdo con unas determinadas afirmaciones para una amplitud de intervalo de cinco niveles. Su configuración es la siguiente:

Figura 6.7
Escala de actitud PRL

Niveles de la escala											
1. Totalmente en desacuerdo											
2. En desacuerdo											
3. Indiferente											
4. De acuerdo											
5. Totalmente de acuerdo											
A. Política de seguridad de la empresa											
¿Cómo describiría Vd. la política de seguridad de su empresa?											
Puntera.....	1	2	3	4	5	Poco práctica.....	1	2	3	4	5
Útil.....	1	2	3	4	5	Burocrática.....	1	2	3	4	5
Ayuda a prevenir accidentes.....	1	2	3	4	5	Eficaz.....	1	2	3	4	5
Imprecisa.....	1	2	3	4	5	Mala.....	1	2	3	4	5
B. Relación con el mando. Integración											
¿En qué grado las siguientes frases describen la actitud de sus mandos inmediatos en relación con la Prevención de Riesgos Laborales?											
Promueve normas de trabajo seguras.....	1	2	3	4	5	Me informa de los problemas.....	1	2	3	4	5
“Predica con el ejemplo”	1	2	3	4	5	Periódicamente me recuerda las normas de seguridad.....	1	2	3	4	5
Tiene en cuenta mi opinión.....	1	2	3	4	5	Recompensa las acciones positivas.....	1	2	3	4	5
Responde a los problemas rápidamente..	1	2	3	4	5	Se inhibe y no quiere problemas.....	1	2	3	4	5

6.3 Acciones de refuerzo

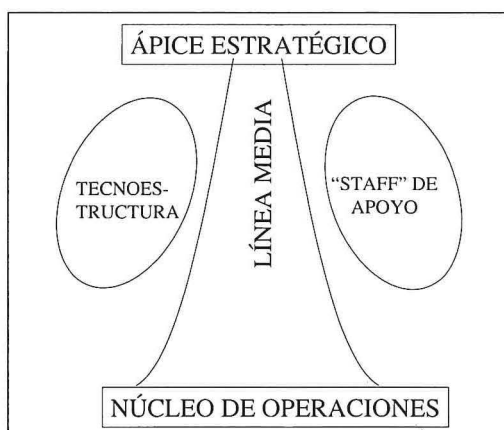
Como ya se indicó en el apartado 6.1, en el presente trabajo se propone como elemento facilitador para el eficaz desarrollo de GESPREEN la introducción de una serie de acciones de refuerzo para su implantación, que esencialmente se van a concentrar en la integración del sistema dentro de la estructura organizativa y en su repercusión en la fijación de la política retributiva de la empresa. A continuación se describen las técnicas de actuación propuestas en ambos terrenos.

6.3.1 Integración en la estructura organizativa

La integración de la PRL en la estructura organizativa de la empresa será el proceso mediante el cual se diseñarán y establecerán las responsabilidades y relaciones en el trabajo. Dicha integración en todos los niveles jerárquicos de la empresa implica la atribución a todos ellos, y la asunción, por éstos, de la obligación de incluir la prevención de riesgos en cualquier actividad que realicen u ordenen y en todas las decisiones que adopten.

El estado actual de desarrollo organizativo de las PYMEs españolas, y en consecuencia de las empresas objeto de análisis en el presente trabajo, responde con bastante fidelidad a la estructura presentada por Henry Mintzberg (Mintzberg, 1991). Según Mintzberg, en una empresa desarrollada, e independientemente de las relaciones que se establezcan entre puestos individuales, se pueden distinguir cinco partes fundamentales conforme se esquematiza a continuación:

Figura 6.8
Estructura organizativa de Mintzberg



Como se observa, en el gráfico se distingue un núcleo de operaciones constituido por el grupo de personas que realizan el trabajo en sí, es decir, los operarios, y el estamento administrativo o gerencial en el cual tienen cabida los directivos —divididos en línea media (jefes de línea) y ápice estratégico (alta dirección)— y dos tipos de “staffs”, constituidos por los analistas y demás personal de apoyo.

La ubicación del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, en la organización empresarial como la descrita, es un tema del máximo interés y que no siempre responde a un modelo predeterminado. Existen dos tendencias mayoritarias, una proveniente del mundo anglosajón y más concretamente de uso extendido en USA y otra que es mayoritaria en Europa.

La filosofía americana parte del hecho de que los temas relacionados con la seguridad y la salud deben abordarse para el conjunto de la empresa con un carácter estratégico de primer nivel, y definen su ubicación generalmente en una de las vicepresidencias de las grandes compañías o directamente dependiendo de las gerencias en empresas de mediano o pequeño tamaño. Claramente queda por tanto en esta filosofía la función PRL englobada en el ápice estratégico descrito con anterioridad.

En Europa se considera que los problemas asociados a la seguridad y la salud presentan un elevado componente social, de ahí que mayoritariamente se ubiquen los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales en el área de Organización y Recursos Humanos, es decir, en el núcleo de la tecnoestructura.

Vistos ambos modelos, podrían apuntarse, como principales ventajas y desventajas, las siguientes:

- El *modelo americano* se ve favorecido por su “status”, a la hora de plantear y desarrollar políticas en PRL, que sin duda tienen un claro y decisivo impacto estratégico en las políticas de las compañías, es decir, se sitúa en igualdad de condiciones con las otras áreas estratégicas de la misma. En contra se puede sugerir como crítica su distanciamiento de los problemas sociales de las empresas abordados desde el área de O+RRHH, que a veces en estas grandes empresas aparecen más lejanos.
- El *modelo europeo* presenta la ventaja de su privilegiada posición en el centro de la problemática social de la empresa, encontrándose sin embargo con las dificultades inherentes a su más bajo “status”, en cuanto al diseño y desarrollo de políticas, que igualmente son estratégicas para las compañías.

Puede apuntarse en la práctica que la decisión de ubicación del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, si bien en grandes compañías depende mucho de su idiosincrasia y cultura, en medianas y pequeñas empresas (con organizaciones más simples y problemas de todo tipo más próximos al conjunto de la organización empresarial) la ubicación en dependencia directa de la Gerencia debería primar para conseguir su mayor eficacia, siempre que de verdad se considere el carácter estratégico de dicha función gerencial para la buena marcha de la empresa.

Bajo una estructura administrativa de estas características, la calidad, la producción y la seguridad ya no pueden considerarse como elementos separados. En consecuencia, la toma de decisiones debe efectuarse con un carácter integral y libre de tendencias, en donde cada uno de dichos elementos reciba un trato igualitario. Así, la seguridad, al igual que la producción y la calidad, se incorpora naturalmente a la agenda de las reuniones del ápice estratégico e igualmente en las relativas a los círculos de calidad, lográndose por tanto una verdadera y real integración.

Por otro lado, cada vez es más difusa la frontera existente entre riesgos profesionales, riesgos industriales y riesgos del producto en función de que generen daños respectivamente a los trabajadores, a la propiedad o al usuario, siendo preciso dar un tratamiento integral a todo riesgo susceptible de ser controlado, pues la diferenciación en la empresa de las áreas que desarrollan la gestión de los diferentes riesgos va a generar ineludiblemente deficiencias y pérdidas de eficacia. Fruto de ello ha sido la introducción del concepto de “gerencia de riesgos” (“risk management”) en el ámbito norteamericano con su traslación directa a las empresas punteras en Europa. Dicha gerencia supone conferir un tratamiento integral y unitario al conjunto de riesgos puros existentes en la empresa, introduciendo el factor económico como “leit-motiv” clave para su prevención.

Esta concepción solo es posible bajo un enfoque unitario desde la gerencia al más alto nivel. Complementariamente, cada unidad productiva debe asumir compromisos propios en prevención de riesgos y todas las personas de la organización deben ejercer las obligaciones que tienen en la materia, entendiendo que la única manera de realizar un trabajo correctamente es con seguridad. Para ello se precisa la participación de toda la línea de mando de la empresa y de los propios trabajadores, y que todos asuman su cuota de responsabilidad en el tema.

En estas condiciones, y así está legalmente contemplado en el marco jurídico español, la Prevención de Riesgos es responsabilidad en primer lugar de la Dirección de la empresa al más alto nivel. Desde este principio inexcusable,

determinadas responsabilidades en esta materia son transmitidas a los diferentes niveles orgánicos mediante la asignación de tareas y funciones con el aporte de los medios necesarios para su ejecución. Consecuencia directa de este planteamiento es que el modelo preventivo que se implante en la empresa debe ser necesariamente participativo y responsable a todos los niveles de la estructura organizativa.

6.3.2 Influencia en la política retributiva

En lo relativo a la influencia del desarrollo de GESPREEN en la política retributiva de la empresa, es preciso señalar que una característica bastante extendida, entre los sectores y las empresas analizadas en el presente trabajo, es la falta de políticas en materia de O+RRHH. Discutido con sus gerencias cuáles son los problemas que entienden deben abordar para ganar en competitividad, todos coinciden en la necesidad de implementar políticas en materia de Recursos Humanos que motiven a sus plantillas, lo que contrasta claramente con sus clásicos sistemas de remuneración basados mayoritariamente en acuerdos de convenio sectoriales y considerados por sus gerencias como claramente regresivos y no aptos para los fines que persiguen.

De lo anterior se deriva la necesidad de implementar, con carácter prioritario, políticas asociadas al cumplimiento de objetivos y obtención de resultados, lo que comporta la redefinición de políticas salariales variables asociadas a estos factores.

Siendo muy amplia la bibliografía y los sistemas salariales basados en resultados, las más de las veces su aplicación se realiza a empresas de mayor tamaño, y en la franja entre 30-200 empleados su utilización es escasa y no siempre con los resultados apetecidos, por la complejidad inherente a estos sistemas retributivos.

Conscientes de ello y tras el conocimiento y análisis de la muestra objeto de este estudio, se ha analizado conjuntamente con las empresas situadas en la dimensión señalada, la definición y concreción de políticas retributivas basadas en la definición de claros **Objetivos** en las áreas de producción, calidad, prevención de riesgos laborales y finanzas, así como en la consideración de **Resultados** y en la **Valoración del Desempeño**, entendiendo que de esta forma sencilla y asequible puede orientarse la gestión de estas empresas hacia modelos de calidad total de forma motivada y activa por parte de todos sus componentes.

A la hora de poner en práctica los principios rectores de este planteamiento, se establece en primer lugar una dicotomía entre dos grandes grupos organizativos en el seno de las empresas, a saber: la gerencia de primer nivel y el resto de la cadena de

mando. Para el caso de los directivos de primer nivel, el sistema retributivo que se propone en el presente trabajo es el de gratificación por “bonus”, mientras que para el resto de la cadena de mando se propone un sistema de retribución variable.

Como se ha indicado con anterioridad, el sistema de retribución variable que se implemente debe soportarse sobre la consideración y valoración conjunta de una serie de parámetros indicadores del grado de rendimiento, integración y compromiso del trabajador con la cultura y nivel de desarrollo de la empresa. En concreto, estos parámetros se han formulado en términos de consecución de los objetivos aprobados por la dirección, cuantificación de los resultados económicos de la empresa y evaluación del desempeño del trabajador en términos de valoración de su nivel de participación y contribución al desarrollo del grupo.

A la hora de plasmar la metodología en una formulación específica, dos han sido los criterios tenidos en consideración, conforme a continuación se indica:

- por un lado se ha pretendido dar una mayor ponderación a aquellos factores que aportan una mayor contribución al valor añadido; así, las características personales recogidas en los parámetros que determinan la evaluación del desempeño adquirirán una especial relevancia (como se verá a continuación, suponen un peso del 50% frente a un 30% y un 20% otorgados respectivamente a los otros dos elementos considerados);
- complementariamente, se ha estimado conveniente plantear una política salarial agresiva, con un verdadero estímulo motivador; así, para unas condiciones de desempeño óptimas, se contemplan incrementos por retribución variable respecto al salario base de hasta un 20%.

Sobre estas bases se plantea una formulación lineal (Weiss, 1993) para la concreción de la política, según la siguiente expresión:

$$I = 0,14 \cdot \frac{k_1 S}{100} + k_2 S$$

donde:

$$k_1 = 0,2 \cdot O + 0,3 \cdot R + 0,5 \cdot D \quad ; \quad (O, D) \in [70, 100] \wedge R \geq 70$$

$$k_2 = 0,01 \text{ si } 100 \leq R \leq 120$$

$$k_2 = 0,02 \text{ si } 120 < R \leq 140$$

$$k_2 = 0,03 \text{ si } 140 < R \leq 160$$

$$k_2 = 0,05 \text{ si } R > 160$$

siendo:

O = puntuación otorgada al parámetro de valoración de cumplimiento de los objetivos

R = puntuación otorgada al parámetro de valoración de los resultados económicos de la empresa

D = puntuación otorgada al parámetro de valoración de la evaluación del desempeño

S = salario base

La aplicación de esta formulación supone el establecimiento de un intervalo de variación para el incremento sobre el salario base que oscila entre un 10% para el caso más desfavorable y un 21% para el caso más favorable. A continuación se ilustra este hecho con una aplicación práctica de la formulación para diversas situaciones:

Tabla 6.2
Ejemplo de aplicación del modelo de política de retribución variable

<i>Situación de rendimiento moderado</i>	
Valores de puntuación otorgados	Incremento sobre el salario base
O=70 R=70 D=70	$\Delta=0,098S$ ($\cong 10\%$)
<i>Situación de buen rendimiento</i>	
Valores de puntuación otorgados	Incremento sobre el salario base
O=100 R=100 D=100	$\Delta=0,15S$ ($=15\%$)
<i>Situación de rendimiento excelente</i>	
Valores de puntuación otorgados	Incremento sobre el salario base
O=100 R=160 D=100	$\Delta=0,215S$ ($=21,5\%$)

La aplicación de la estructura salarial propuesta a una empresa transformadora de tipo medio, con una plantilla de unos 100 empleados y tres niveles retributivos en su cadena de mandos situados en un abanico salarial entre 18000 € y 30000 € anuales, es decir, en una relación 1:1,7, para la situación de buen rendimiento

($\Delta=15\%$), equivaldría a incentivos anuales comprendidos entre 2700 €/año para el nivel inferior y de 4500 €/año para el nivel superior.

A continuación se describe cómo establecer la puntuación para cada uno de los elementos integrantes de la fórmula, a saber: objetivos, resultados y desempeño.

Para el caso concreto de la Prevención de Riesgos Laborales, la formulación específica de objetivos debería tener como referente principal aspectos incluidos en las que hemos venido en denominar “nueve herramientas básicas”.

Para la valoración del nivel de cumplimiento de los mismos, se expone a continuación una metodología fundamentada en los criterios para evaluación de la calidad establecidos por la EFQM (Ribera, 1996) de fácil asimilación y comprensión por los empresarios de las PYMEs.

Dicha metodología tiene como principios fundamentales de desarrollo los siguientes:

- Distribuir los objetivos entre dos categorías fundamentales, a saber: medios o facilitadores y resultados. Paralelamente, ambos elementos se distribuirán equitativamente el global de la puntuación para los objetivos del subsistema considerado. Este hecho refuerza el planteamiento de potenciar el desarrollo de la planificación estratégica como herramienta clave en el desarrollo empresarial. Si todo el interés de la Dirección se centra en los resultados exclusivamente, éstos se obtendrán a costa de un detrimento de los objetivos a más largo plazo. Es preciso por tanto buscar un equilibrio entre potencial de desarrollo y resultados (Salido, 1998). No obstante, y ocasionalmente, puede ser aconsejable desequilibrar la balanza en un determinado sentido, en aras de la consecución de un determinado objetivo a corto plazo.
- Establecer dos tipos de indicadores, a saber: cuantitativos y cualitativos. En los indicadores cuantitativos se establecerá un contraste numérico entre los valores del indicador alcanzados para la evaluación del objetivo considerado y el valor numérico del estándar tomado como referencia para dicho objetivo en el período. En función de la desviación existente sobre el nominal del objetivo, se otorgarán unos determinados valores de puntuación conforme a continuación se indicará. Por su parte, para los indicadores cualitativos se establecerá una escala discreta que trate de reflejar el nivel alcanzado en la consecución del objetivo planteado. Para el caso de los medios o facilitadores se valorarán conjuntamente el enfoque

y grado de despliegue de dicho medio y para los resultados su grado de excelencia y alcance (IESE, 1995). A continuación se establecen las escalas de puntuación para ambos tipos de indicadores:

Tabla 6.3
Valoración de objetivos. Indicadores cuantitativos

INDICADORES CUANTITATIVOS	
% desviación sobre nominal	PUNTOS
$\Delta < 5\%$	100
$5\% \leq \Delta \leq 10\%$	75
$10\% < \Delta < 15\%$	50
$15\% \leq \Delta \leq 25\%$	25
$\Delta \geq 25\%$	0

donde:

$$\Delta(\%) = \frac{N - V}{N} \times 100$$

siendo:

N = valor nominal previsto para el indicador del objetivo

V = valor medido para el indicador del objetivo

Tabla 6.4
Valoración de objetivos. Indicadores cualitativos (medios)

INDICADORES CUALITATIVOS - MEDIOS O FACILITADORES		
Enfoque	PUNTOS	Despliegue
Anecdótico o sin añadir valor	0	Uso poco efectivo
Alguna evidencia de enfoques sistemáticos y de sistemas basados en la prevención. Sujeto a ocasionales revisiones. Algunas áreas de integración en las operaciones normales	25	Aplicado en aproximadamente una cuarta parte de las áreas y actividades relevantes en las que, potencialmente, podría aplicarse
Evidencia de enfoques sistemáticos y sistemas basados en la prevención. Sujeto a revisiones regulares. Integración bien establecida en las operaciones normales y en el proceso de planificación	50	Aplicado en aproximadamente la mitad de las áreas y actividades relevantes en las que, potencialmente, podría aplicarse
Clara evidencia de enfoques sistemáticos y de sistemas basados en la prevención. Clara evidencia de refinamiento y de mejoras en la efectividad del negocio a través de ciclos de revisión. Buena integración del enfoque en las operaciones normales y en el proceso de planificación	75	Aplicado en aproximadamente tres cuartas partes de las áreas y actividades relevantes en las que, potencialmente, podría aplicarse
Clara evidencia de enfoques sistemáticos y de sistemas basados en la prevención. Clara evidencia de refinamiento y de mejoras en la efectividad del negocio a través de ciclos de revisión. El enfoque está totalmente integrado en las normas de trabajo normales. Podría ser usado como modelo por otras organizaciones	100	Aplicado en todas las áreas y actividades relevantes en las que, potencialmente, podría aplicarse

Tabla 6.5
Valoración de objetivos. Indicadores cualitativos (resultados)

INDICADORES CUALITATIVOS - RESULTADOS		
Grado de excelencia	PUNTOS	Alcance
Anecdótico	0	Los resultados alcanzan pocas áreas y actividades relevantes
Algunos resultados muestran tendencias positivas. Algunas comparaciones favorables con las metas preestablecidas	25	Los resultados alcanzan algunas de las áreas y actividades relevantes
Muchos resultados muestran tendencias positivas durante los últimos 3 años. Comparaciones favorables con las metas preestablecidas en muchas áreas. Algunas comparaciones con otras organizaciones. Algunos resultados están causados por un adecuado enfoque	50	Los resultados alcanzan muchas de las áreas y actividades relevantes
La mayoría de los resultados muestran tendencias positivas durante los últimos 3 años. Comparaciones favorables con las metas preestablecidas en la mayoría de las áreas. Favorables comparaciones con otras organizaciones en muchas áreas. Muchos resultados están causados por un adecuado enfoque	75	Los resultados alcanzan la mayoría de las áreas y actividades relevantes
Tendencias fuertemente positivas en todas las áreas durante los últimos 5 años. Excelentes comparaciones con las metas preestablecidas y con otras organizaciones en la mayoría de las áreas. "Mejor en su categoría" en muchas áreas de actividad. Los resultados están claramente causados por un adecuado enfoque. Claros indicios de que la posición de liderazgo va a ser mantenida	100	Los resultados alcanzan todas las áreas y actividades relevantes de la organización

- Implantar un procedimiento sistematizado para la recogida de los datos. En este sentido, a continuación se presenta un modelo de hoja de recogida de datos con un ejemplo práctico de aplicación.

Tabla 6.6
Valoración de objetivos. Ejemplo de ficha de recogida y tratamiento de datos

ÁREA EVALUADA		Producción		Calidad		PERIODO	
		P.R.L.		√	Finanzas		
2000-2001							
MEDIOS O FACILITADORES							
INDICADORES CUANTITATIVOS					INDICADORES CUALITATIVOS		
#	Indicador	Estándar	Valor	Ptos.	#	Indicador	Valoración
1	Nº evaluac. de riesgos	90	82	75	1	Fijación polít. preventiva	0 25 50 75 100
2	Nº accid. investigad.	75%	80%	100	2	Desarrollo información	0 25 50 75 100
3	Nº activ. formativas	15	13	50	3	Programación formación	0 25 50 75 100
4	Nº normas elaboradas	60	55	75	4	Desarrollo sist. participación	0 25 50 75 100
PUNTUACIÓN GLOBAL MEDIOS $\left(= \frac{\sum P_i}{8} \right) : 72 \quad (1)$							
RESULTADOS							
INDICADORES CUANTITATIVOS					INDICADORES CUALITATIVOS		
#	Indicador	Estándar	Valor	Ptos.	#	Indicador	Valoración
1	Índice Gravedad	1,1	1,21	75	1	Integración en reuniones geren.	0 25 50 75 100
2	Índice frecuencia	52	51	100	2	Integración en polít. compras	0 25 50 75 100
3	Índice incidencia	105	103	100	3	Identificación de problemas	0 25 50 75 100
4	Reducción costes direct.	35	31	50	4	Cumplimiento normas	0 25 50 75 100
PUNTUACIÓN GLOBAL RESULTADOS $\left(= \frac{\sum P_i}{8} \right) : 69 \quad (2)$							
PUNTUACIÓN GLOBAL OBJETIVOS ÁREA $\left(= \frac{(1) + (2)}{2} \right) : 70,5$							
COMPONENTES GRUPO EVALUADOR					FECHA EVALUACIÓN		
					Septiembre 2000		
					FECHA PRÓXIMA EVALUACIÓN		
					Septiembre 2001		

Como puede observarse, para la obtención de la puntuación total de los indicadores en el ejemplo propuesto, se ha utilizado la misma ponderación para todos los objetivos (se ha extraído la media aritmética directamente). No obstante, la situación específica de cada empresa puede infundir en el decisor la necesidad de establecer una determinada ponderación en determinados objetivos con el fin de redireccionar la marcha del negocio coyunturalmente en un determinado sentido. En cualquier caso, esta cuestión así como el planteamiento de los objetivos específicos van ineludiblemente ligadas a las características y situación específica de cada empresa.

En lo relativo a la evaluación de los resultados, es preciso tener en consideración que el principal soporte de las decisiones gerenciales suele ser el análisis coste – beneficio (Hansen, Grotewold et al., 1997). Por ello, el primer parámetro que será tenido en cuenta, en la evaluación de los resultados desde el punto de vista de consideración de la asignación de una determinada retribución variable, será directamente el incremento en la cuenta de resultados de explotación de la empresa. Complementariamente, y en la línea de refuerzo de los criterios ya expuestos para el desarrollo de las herramientas de gestión del presente trabajo, se incluye como elemento diferenciado la consideración de los resultados económicos derivados de la implantación de un adecuado sistema de prevención de riesgos laborales, otorgándosele una ponderación relativa de 15/85 respecto a los resultados económicos generales aludidos anteriormente (en principio, podría argumentarse que otorgar una ponderación de un 15% al subsistema de prevención de riesgos laborales en exclusiva pudiera resultar excesivo. No obstante, debe recordarse en este punto que el coste medio no asegurado de los accidentes con baja en nuestro país se sitúa en el entorno de 18000 €/accidente; complementariamente, y conforme al diagnóstico de situación realizado, el refuerzo de este subsistema gerencial se ha mostrado como uno de los objetivos preferentes de este trabajo).

La cuestión del análisis coste – beneficio en el terreno de la prevención de riesgos laborales es ciertamente prolija, y la aplicabilidad de modelos resultantes de la consideración del problema, en toda su extensión, resultaría claramente limitada para el campo de actuación de las herramientas eminentemente prácticas de gestión desarrolladas en el presente trabajo, esto es la PYME. A título meramente orientativo, cabe indicar que uno de los principales problemas radica en la cuantificación exacta del beneficio asociado a la implementación de determinadas medidas preventivas. Dependiendo de condicionantes tales como el tipo de actividad de la empresa, en algunos casos estas determinaciones pasan por

complejos análisis probabilísticos asociados a la estimación del decremento de la probabilidad de ocurrencia de determinadas situaciones que se quieren combatir con la implementación de dichas medidas (Taggart y Carter, 1999). En otros, la cuantificación pasa por la evaluación numérica de elementos tan difusos como la mejora del comportamiento humano, motivación, etc. que revertirán finalmente en un incremento de la productividad y una mejora de la calidad de servicio (Kupi, Sumelahti et al., 1997). Una vez fijados estos parámetros, la metodología pasaría por la realización de un análisis de rentabilidad de la inversión siguiendo los criterios sobradamente conocidos existentes al efecto (periodo de retorno, TIR, VAN, etc.).

Un enfoque alternativo, y, adicionalmente, el más extendido, pasa por la evaluación de los costes asociados a los accidentes laborales.

Nos referimos aquí a los costes derivados de los sucesos no deseados que pueden producir daños a la propiedad, a las personas y/o al proceso productivo, es decir, los costes derivados de accidentes, según su actualizada definición. La estimación de costes de la no-prevención, tales como los derivados de fallos de diseño, los asociados a la prevención de dichos fallos y al control del riesgo, no se contemplan en este apartado, sólo cabe apuntar su paralelismo conceptual con los costes asociados a la no-calidad.

Tradicionalmente, para la estimación o valoración de los costes asociados a los accidentes, se emplean metodologías de cálculo proporcional de los cuales el más conocido es el método de H.W. Heinrich, que estima que el coste total de los accidentes puede valorarse partiendo del coste asegurado (costes médicos y de indemnización) y estimando los no asegurados (asociados a las pérdidas de producción, deterioros del producto, mano de obra sustitutiva y sanciones administrativas, si las hubiere, fundamentalmente) en cuatro veces el valor del coste asegurado, con lo que la estimación del coste del accidente sería el resultado de multiplicar por cinco el valor de los costes asegurados (Heinrich, Peterson et al., 1980). Esta teoría estimativa es poco “tangible” para el empresario y en la práctica resulta más un modelo teórico que un motivo de real atención y preocupación por la siniestralidad laboral, por parte de los ejecutivos de las empresas.

La metodología que se propone en el presente trabajo es una metodología de cálculo de tipo puntual (Gil, 2000), la cual permite un cálculo real de los costes más significativos “que *mi* empresa debe soportar como resultado de *mis* accidentes” y que no están asegurados, entendiendo que estas cifras reales son del

verdadero interés de las gerencias de las empresas. Por otra parte, se ha sacrificado una precisión extrema frente al realismo, es decir, se han obviado costes que pueden resultar más o menos intangibles, como son los costes y perjuicios derivados de demoras en entregas, quejas y pérdidas de clientes, y otros que, siendo de gran importancia, deben ser tratados en el contexto integral que soporta un sistema de gestión bajo criterios de calidad, más que como meras pérdidas materiales.

Los costes no asegurados de los accidentes se han dividido en tres bloques:

- Costes de producción
- Costes de mano de obra
- Costes generales

En los costes de producción, se incluyen los de los elementos materiales utilizados en el proceso productivo no asegurados o con valor superior al de rescate por prima asegurada e incremento de ésta por siniestralidad, así como los derivados de la pérdida de producción y reprocesos.

En los costes de mano de obra, se incluyen los salarios pagados y no trabajados, por absentismo y sustitución.

En los costes generales, se incluyen los derivados de los salarios del personal directivo y demás personal que interviene en el análisis e investigación del accidente, en la asistencia y traslado del accidentado, honorarios profesionales de abogados, servicios de ingeniería, judiciales, etc.

Para su utilización se incluye a continuación la ficha diseñada para el cálculo así como un ejemplo de aplicación:

Tabla 6.7

Modelo de ficha de valoración de costes no asegurados por accidente laboral

VALORACIÓN COSTES NO ASEGURADOS POR ACCIDENTE LABORAL		
<i>Conceptos</i>	<i>Valoración</i>	<i>Coste</i>
1. Costes de producción		
Daños materiales maquinaria, reposición o reparación		
Daños y pérdida de utillaje		
Coste alquileres		
Coste reprocesos		
Pérdidas de producto		
Costes pérdidas producción		
Otros costes		
Subtotal costes de producción		
2. Costes de mano de obra		
Complementos salariales		
Horas extras		
Sustituciones		
Subtotal mano de obra		
3. Costes generales		
Salarios mandos		
Salarios representantes personal		
Gastos servicio médico		
Gastos traslados		
Honorarios profesionales		
Proceso judicial		
Otros costes		
Subtotal gastos generales		
TOTAL COSTES		

Se insiste en que se ha preferido la simplicidad y claridad a la exactitud en el cálculo, no introduciendo factores que hagan la valoración menos tangible y por ende de menor credibilidad por las gerencias de las compañías.

Se expone a continuación un ejemplo de cálculo de aplicación a una que denominaremos EMPRESA Z, de tipo medio, con un volumen de facturación de 4,8 millones de € anuales, una plantilla de 80 empleados, una producción diaria por valor de 4500 €/día, y unos activos valorados en 4,2 millones de €, de los cuales 2,1 M€ lo son en bienes de equipo y el resto, en mercancías, 0,5 millones de €, y en edificios, 1,6 millones de €.

Se supone un accidente con baja laboral de 28 días de duración en la línea productiva que exige la sustitución del accidentado por ese periodo. Las pérdidas producidas

son las que se reflejan en la ficha de cálculo y el ejemplo puede responder a muchos casos extraídos de la realidad.

Tabla 6.8

Ejemplo de valoración de costes no asegurados por accidente laboral

VALORACIÓN COSTES NO ASEGURADOS POR ACCIDENTE LABORAL		
<i>Conceptos</i>	<i>Valoración</i>	<i>Coste</i>
1. Costes de producción		
Daños materiales maquinaria, reposición o reparación	1800	1800
Daños y pérdida de utillaje	-	-
Coste alquileres	-	-
Coste reprocesos	900	900
Pérdidas de producto	-	-
Costes pérdidas producción	1500	1500
Otros costes		
Subtotal costes de producción		4200
2. Costes de mano de obra		
Complementos salariales	0,25 x 11 €/h x 8 h x 28 días	616
Horas extras	8 h x 2 días x 15 €/h	240
Sustituciones	26 días x 11 €/h x 8 h	2288
Subtotal mano de obra		3144
3. Costes generales		
Salarios mandos	12 h x 18 €/h	216
Salarios representantes personal	4 h x 11 €/h	44
Gastos servicio médico	48	48
Gastos traslados	150	150
Honorarios profesionales	-	-
Proceso judicial y sanciones	600	600
Otros costes	30	30
Subtotal gastos generales		1088
TOTAL COSTES		8432 €

Considerando estos criterios, la puntuación que se otorgará al parámetro de evaluación del rendimiento, para la asignación del complemento de retribución variable, vendrá dada por:

$$R = 0,85 \cdot RE + 0,15 \cdot RPRL$$

donde:

$$RE = 100 + \left(\frac{RE_{i+1} - RE_i}{RE_i} \right) \times 100 \quad ; \quad RPRL = 100 + \left(\frac{CTA_i - CTA_{i+1}}{CTA_i} \right) \times 100$$

siendo:

RE_{i+1} = Resultados económicos de explotación del periodo evaluado

RE_i = Resultados económicos de explotación del periodo anterior

CTA_{i+1} = Coste total de los accidentes del periodo evaluado

CTA_i = Coste total de los accidentes del periodo anterior

Respecto a la puntuación a otorgar al parámetro de evaluación del desempeño, ésta se debería regir por criterios asociados a los roles, cualidades y áreas de conocimiento exigibles en función del nivel jerárquico en el sistema organizativo de la empresa.

Así, los parámetros a considerar serían:

Tabla 6.9
Evaluación del desempeño. Parámetros de valoración

HABILIDADES DIRECTIVAS	PARÁMETROS
<i>Roles</i>	Liderazgo Comunicación Impulso Coordinación Visión estratégica Enlace
<i>Cualidades</i>	Convencimiento Capacidad de decisión Flexibilidad Facilidad de coordinación Tenacidad Creatividad Capacidad divulgativa y docente
<i>Áreas de Conocimiento</i>	Idiomas Marketing Gestión estratégica Organización y cultura empresarial Autoconocimiento: desarrollo profesional y personal

Para cada una de las habilidades directivas consideradas, se otorgará, por parte del evaluador, una puntuación de 0 a 100 puntos en función de la estimación del nivel de desempeño para dicha habilidad, tomando como referente para el desarrollo de la evaluación los parámetros presentados para cada una de las habilidades directivas.

Con ello se otorgará una puntuación final para el parámetro evaluador del desempeño, que vendrá dada por:

$$D = 0,3 \times \text{roles} + 0,4 \times \text{cualidades} + 0,3 \times \text{conocimientos}$$

7. A MODO DE REFLEXIÓN FINAL

Consciente la Europa Comunitaria del potencial y del relevante peso sobre las economías occidentales que tienen las PYME y de las necesidades y carencias de este tipo de empresas en materia de “management”, adoptó la iniciativa ADAPT, gracias a la cual se han podido obtener los fondos necesarios para abordar trabajos como QUALYMAN, lo que ha supuesto el poder disponer de una información y base de datos de verdadero interés para el ulterior abordaje de diseño de sistemas y herramientas de gestión apropiados a sus peculiaridades.

En este sentido y sobre la base de la información obtenida sobre una amplia y representativa muestra de PYME perteneciente a siete sectores industriales en nuestro país, se ha procedido al análisis de la información y ulterior diseño de metodologías y herramientas de gestión como objetivo y fin primordial del presente trabajo, en el que se ha abordado de manera rigurosa el tratamiento estadístico-matemático de la información obtenida de primera mano como premisa esencial, para diseñar después metodologías y herramientas de gestión que hagan posible que el “management” moderno pueda adoptarse con éxito en las PYME, como basamento esencial para el incremento de su competitividad.

No se ha tratado pues de realizar sólo un ejercicio académico, sino de proponer respuestas prácticas, novedosas y eficaces que, aplicadas convenientemente, hagan posible la transformación de los tradicionales estilos de gestión de la mayoría de las PYMEs de la extensa muestra estudiada.

Hoy día no se trata sólo de saber elegir el camino correcto, sino de además ser capaz de reconocerlo. El entorno de la empresa está experimentando tal cantidad de cambios que hasta los credos empresariales parecen estar ahora cuestionados. Cuando los viejos modelos no sirven para interpretar la nueva realidad, metodologías participativas de gestión como la aquí desarrollada pueden resultar de excelente

ayuda, siempre y cuando las gerencias de las empresas sean capaces de interpretar el cambio y sepan trasladarlo al conjunto de los empleados de las compañías de manera perdurable.

Una vez más no se trata sólo de llegar sino de mantenerse y esta realidad exige de los líderes de las organizaciones de todo menos sosiego, viéndose obligados a mantenerse un paso por delante del mercado, a atraer y retener los mejores recursos humanos y a replantear las estructuras de sus negocios. En síntesis y como ya se ha apuntado con anterioridad, la complicada labor de integrar pasado y futuro en sus organizaciones es su principal reto.

Durante la realización del presente trabajo, se ha podido observar el buen e incluso excelente conocimiento acerca de las tecnologías de producción que en general tienen las PYMEs en nuestro país, lo que se contradice claramente con su escaso o nulo conocimiento de las tecnologías asociadas al tratamiento del factor humano y de las técnicas de “management” en general, y debe tenerse siempre muy presente que, por mucho que cambien los escenarios, las personas siguen siendo el pilar de las organizaciones, de ahí que la flexibilidad interna en el tratamiento del factor humano, a través de políticas participativas de gestión y de retribución basada en el cumplimiento de objetivos, resultados y valoración del desempeño, como marco para la creación de entornos de trabajo eficientes, como la flexibilidad hacia fuera implementando fórmulas diversas para retener clientes y para escapar de la obsolescencia tecnológica, resulten indispensables como sólidas bases para la competitividad y el crecimiento sostenido, en palabras de Luis Cifuentes, consejero delegado de Teknoland Corp (Sánchez, 2000).

Las metodologías y herramientas de gestión diseñadas en este trabajo, dirigidas especialmente a su utilización por las PYME, pretenden ser una ayuda para modernizar la gestión de sus recursos humanos, dotándolas así de medios instrumentales que ayuden a incrementar su competitividad. Si las empresas las adoptan deberán día a día mantener el adecuado nivel de tensión que haga que arraiguen en sus organizaciones y que pasen a formar parte de la cultura empresarial en su diario quehacer, tratando de trabajar permanentemente bajo criterios de calidad total y con la suficiente flexibilidad para que la activa y motivada participación de sus recursos humanos se mantenga como garantía de futuro. Sólo acciones sostenidas con tenacidad en el tiempo darán los frutos apetecidos, pues de lo contrario en un corto periodo de tiempo en el cambiante escenario en que hoy se desarrolla de manera muy veloz la economía, se perdería cualquier ventaja competitiva obtenida, siendo estos supuestos bajo los que se ha realizado este trabajo que pretende ser

de utilidad para su aplicación en el tejido de la pequeña y sobre todo mediana empresa en nuestro país.

Sin una eficaz gestión de los recursos humanos en la empresa no es posible la creación de valor de las empresas y por consiguiente sin este requisito no puede asegurarse su permanencia y desarrollo sostenido, por mucha tecnología que se ponga en juego. En el estudio “The Human Capital Index”, publicado por Watson Wyatt y referido en la publicación *Expansión & Empleo* (Méndez, 2000), se destacan las habilidades de las compañías para crear valor de mercado y se destaca como fundamental la buena gestión de los recursos humanos y su estrecha relación con la creación de valor para el accionista.

Un sondeo europeo realizado sobre una muestra de 200 empresas, y referido en la publicación *Expansión & Empleo* citada, analiza diecinueve factores relativos a los recursos humanos y los agrupa en cinco dimensiones, cuantificando para cada una su incidencia en la relación Capital Humano - Creación de Valor, y los resultados son los siguientes:

Tabla 7.1
Influencia del capital humano en la creación de valor

Capital humano-Creación de valor	Puntuación
Prácticas de liderazgo integrado	4,7
Retribución	3,7
Enfocarse en el empleado	3,2
Cultura paternalista	-7,5
Gestión de los recursos	7,1

La comunicación e integración en la empresa resultan por consiguiente esenciales para la adecuada gestión de los recursos y por ende para la consecución de mayores niveles de creación de valor, y en este sentido las políticas de integración y herramientas para su consecución diseñadas en el presente trabajo, desde la retribución variable e incentivos hasta las herramientas de desarrollo creativo en grupos integrados en los sistemas de calidad, se entienden como una contribución en este sentido. Basta con enunciar citando a Towers Perrins, autor de los valores ponderados presentados en la tabla anterior, que de los 7,1 puntos asignados a la gestión de los recursos, 1,2 corresponden a las buenas relaciones Dirección/sindicatos, elemento hoy día clave e indiscutible en el mundo empresarial, cuestión ésta que exige la puesta en práctica y mantenimiento sostenido en el tiempo de políticas y herramientas como las desarrolladas en el presente trabajo.

APÉNDICE A. COMPLEMENTOS METODOLÓGICOS SOBRE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS FACTORIAL

A.1 Introducción

Como ya se ha indicado, el tratamiento analítico de una muestra de las características de la presentada pasa por el desarrollo de técnicas de análisis multivariante. De un modo genérico, los valores presentados se recogen en “p” variables de análisis intercorrelacionadas, siendo el número de individuos analizados, “N”. Así pues, genéricamente la matriz de partida tendrá unas dimensiones de $N \times p$.

Clásicamente el análisis multivariante ha centrado su atención en cuantificar, al menos, los valores asociados a las $p(p-1)/2$ covarianzas existentes entre las variables consideradas, así como los asociados a las p medias y a las p varianzas de dichas variables. Precisamente estos tres estadísticos —medias, varianzas y covarianzas— son los parámetros definitorios de las distribuciones normales multivariantes.

Los modelos matemáticos en los cuales se basan los procedimientos estadísticos multivariantes siguen la distribución normal multivariante. Esta asunción es justificable por aplicación del teorema central del límite, al igual que en el caso de la distribución normal univariante. En concreto la argumentación pasa por estipular que la distribución normal multivariante es seguida a menudo pues las medidas múltiples son el resultado de la suma de pequeños efectos independientes. Esta modelización produce sustanciales ventajas, tanto desde el punto de vista del tratamiento matemático matricial de los resultados como de las potenciales inferencias que se pueden realizar desde esta base.

De un modo general, la función de densidad de una distribución normal *p*-variante viene dada por:

$$p(\chi) = K \cdot e^{-\frac{1}{2}(\chi - \mu)^T \Delta^{-1}(\chi - \mu)}$$

donde la constante K es escogida de modo que la integral extendida a todo el conjunto del espacio cartesiano p -dimensional resulte igual a la unidad. La notación empleada para indicar que la variable χ se distribuye normalmente con parámetro de centralización μ y parámetro de dispersión D es $N(\mu, D)$. En estas condiciones para el valor de la constante K se tiene:

$$K = (2\pi)^{-\frac{1}{2}p} |\Delta|^{-\frac{1}{2}}$$

La función de distribución es $P(\chi)$, donde:

$$P(\chi) = \Pr(x_1 \leq \chi_1, x_2 \leq \chi_2, \dots, x_p \leq \chi_p)$$

Una característica interesante de esta distribución es que la superficie en el espacio cartesiano p -dimensional para la cual la función de densidad es constante es un elipsoide de ecuación

$$d^2 = (x - \mu)^T \Delta^{-1} (x - \mu)$$

El centro del elipsoide se sitúa en μ , mientras que la orientación y forma de dicho elipsoide dependen de Δ ; el tamaño del elipsoide dependerá del parámetro d^2 . Para cada valor concreto de d^2 el valor de $P(\chi)$ será constante. Se tiene así un haz congruente de elipsoides concéntricos respecto al centroide común. El parámetro d^2 puede conceptualizarse en términos de una distribución chi-cuadrado con p grados de libertad, aunque la consideración más extendida es la relativa a identificarla con una función de distancia, indicando dicho parámetro la distancia de la superficie del elipsoide concreto considerado al centro del haz.

Francis Galton puede considerarse el fundador del análisis estadístico multivariante cuando en 1889 aplicó las propiedades de la distribución normal bivalente en estudios de caracteres hereditarios. Posteriormente, Karl Pearson refinó y amplió el análisis de correlación en diversas facetas durante el primer cuarto del siglo XX, mientras que Ronald Fisher desarrolló el análisis de varianza y el análisis discriminante. Por su parte, Harold Hotelling desarrolló el análisis de componentes principales y los modelos de correlación canónica, mientras que Samuel Wilks desarrolló la estadística paramétrica para los tests de análisis multivariante de la varianza, para los cuales Bartlett infirió interesantes propiedades relativas a la distribución de los mismos.

Existen diversos criterios de clasificación de los métodos multivariantes. Algunos de ellos se fundamentan en la propia estructura del método científico. Hablando en

términos generales, el método científico se puede considerar como un procedimiento observacional hipotético-deductivo. Según este planteamiento, en la etapa inicial de invención creativa, con la cual se inicia la construcción de los modelos teóricos mediante el empleo de analogías fundamentalmente, se puede considerar que los métodos estadísticos multivariantes tienen un papel esencialmente heurístico en el planteamiento y refinamiento de los modelos. Concretamente, se puede afirmar que las técnicas estadísticas de análisis factorial, análisis discriminante y otras técnicas de análisis multivariante son herramientas heurísticas a disposición del investigador para producir modelos los cuales posteriormente deben mostrarse como teóricamente satisfactorios. Así, es especialmente importante reseñar que al final del proceso es preciso contrastar las hipótesis derivadas de los modelos teóricos con los resultados empíricos obtenidos de la realidad.

Por otra parte, la clasificación, generalmente aceptada de los diferentes métodos de análisis en virtud del número de poblaciones y variables consideradas, fue establecida por Kendall en 1957, la cual puede resumirse conforme a la tabla A.1 que se presenta a continuación (Kendall, 1957):

Tabla A.1
Categorización de los métodos de análisis multivariante

MÉTODOS		POBLACIONES	
		Una	Dos o más
V A R I A B L E S	Un conjunto	COMPONENTES PPALES. ANÁLISIS FACTORIAL	ANÁLISIS MULTIVARIANTES DE LA VARIANZA
			ANÁLISIS DISCRIMINANTE
	Dos o más conjuntos	AJUSTE POLINOMIAL	COVARIANZA MULTIVARIANTE
		CORRELACIÓN MÚLTIPLE CORRELACIÓN CANÓNICA	

En el presente trabajo, y dadas las características de la muestra presentada, los métodos analíticos a utilizar serán los correspondientes a la situación de una población y un único conjunto de variables, es decir, el análisis de componentes principales y el análisis factorial. Estos modelos son modelos de interdependencia, mientras que los otros modelos enumerados para el resto de las situaciones son modelos de dependencia. La diferencia entre unos y otros estriba en que en los

modelos de dependencia es posible especificar qué variables van a actuar como predictoras, cuáles van a ser los criterios de dependencia y cuáles van a ser las variables de control (en su caso).

Las técnicas de análisis multivariante, con frecuencia, y como es en el caso del presente trabajo, se encaminan a reducir la dimensión del espacio muestral original al número mínimo de dimensiones necesarias para reproducir la información relevante contenida en el conjunto inicial de observaciones. Los modelos difieren unos de otros en el tipo de información que retienen.

De un modo genérico, dos son los elementos que van a caracterizar la fisonomía de un método de análisis multivariante, a saber: su **modelo**, entendiendo por tal la especificación en álgebra matricial del procedimiento de análisis de datos, y la **interpretación geométrica** (en el caso del análisis factorial esta representación se realiza en términos del espacio muestral, existiendo “ N ” ejes correspondientes a los “ N ” individuos de la muestra, y determinándose “ p ” vectores correspondientes a las variables objeto de estudio. El coseno del ángulo existente entre dos de los vectores referidos equivale al grado de correlación entre las variables que representan dichos vectores. La técnica de análisis factorial pasa por seleccionar un nuevo conjunto menor de ejes ortogonales, correspondientes a los factores, y proyectar la nube de puntos sobre estos nuevos referentes). En los apartados que siguen se desarrolla el soporte estadístico-matemático sobre el que se fundamentan los métodos que son objeto de utilización en el presente trabajo.

A.2 Notación y elementos básicos

En análisis estadístico multivariante vamos a tratar con variables aleatorias vectoriales, χ , que vendrán representadas por un vector columna de “ p ” elementos (número de características o variables primitivas analizadas). Los “ p ” elementos de χ son las coordenadas de un punto aleatorio de la distribución aleatoria de χ , la cual ya se ha indicado que será del tipo normal multivariante.

Asociada a la variable aleatoria χ , se tiene la variable vectorial muestral $\mathbf{x}$, cuyos p elementos son los valores de las p medidas realizadas para un individuo de la muestra aleatoria de la población. Es importante remarcar que aunque esté especificado por p componentes, χ es un punto individual en la distribución teórica, con lo cual $P(\chi)$ es un número. Igualmente, $\mathbf{x}$ es un suceso único de la muestra aleatoria, resultante de una única extracción en la población, aunque venga también definido por p componentes.

Dada la variable aleatoria vectorial $\mathbf{x}$, su *centroide* o vector de medias es μ y su *dispersión* o matriz de varianzas-covarianzas es Δ . Correspondientemente, en el espacio muestral, el centroide o vector de medias es $\mathbf{m}$, donde:

$$\mathbf{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i$$

y la dispersión o matriz de varianzas-covarianzas es $\mathbf{D}$, donde:

$$\mathbf{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - \mathbf{m})(\mathbf{x}_i - \mathbf{m})^T$$

Es preciso reseñar que mientras $\mathbf{x}$ es un vector columna y $\mathbf{m}$ es también un vector columna, la definición de $\mathbf{D}$ implica un vector columna postmultiplicado por su transpuesto, lo cual arroja como resultado una matriz cuadrada. Para cada elemento, esta matriz es simétrica respecto a su diagonal principal. Los elementos de dicha diagonal son las varianzas muestrales (las cuales se denotarán por d_{jj}) y los elementos fuera de la diagonal son las covarianzas muestrales (las cuales se denotarán por d_{jk}).

Una simplificación útil e interesante de la matriz de dispersión se da para el caso en que los elementos del vector variable están normalizados, con lo cual todas las medias son cero y todas las varianzas son la unidad. Dado $m_j=0$ y $d_{jj}=1$, para $j=1,2, \dots, p$ se verifica $d_{jk}=r_{jk}$. Es decir, la dispersión para una variable vectorial normalizada es una matriz de correlaciones, $\mathbf{R}$. A partir de este punto, se utilizará el símbolo $\mathbf{z}$ para la variable vectorial normalizada, para la cual se verifica

$$\mathbf{D} = \mathbf{R}$$

En estas condiciones, substituyendo $\mathbf{z}$ por $\mathbf{x}$ y $\mathbf{0}$ por $\mathbf{m}$ en la ecuación que define $\mathbf{D}$, se obtiene:

$$\mathbf{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{z}_i \mathbf{z}_i^T$$

El elemento tipo de $\mathbf{R}$ es el estimador de máxima verosimilitud del coeficiente de correlación, a saber:

$$r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{ji} z_{ki}$$

fórmula que indica que el coeficiente de correlación muestral es la media de los productos cruzados de los valores normalizados. Especial interés tiene la situación en la que $j=k$, dado que el valor de r_{jk} es la unidad, con lo cual la diagonal principal de la matriz $\mathbf{R}$ contiene solo unos. Estos unos representan las varianzas totales observadas para los elementos de la variable vectorial muestral normalizada.

Todos los métodos basados en el análisis de $\mathbf{R}$ se denominan “métodos de componentes” al objeto de diferenciarlos de los métodos denominados “de comunali-dades” en los cuales se elimina el error estimado de la varianza de $\mathbf{R}$ previamente a analizar las intercorrelaciones que contiene. Los métodos de componentes arrojan medidas derivadas que son computables como funciones lineales de las variables vectoriales de partida.

Toda función lineal y de una variable vectorial $\mathbf{a}$ (variable sin normalizar), se denominará **componente** de $\mathbf{a}$. Dicha componente viene expresada por la notación algebraica

$$y = \mathbf{v}^T \mathbf{a}$$

donde $\mathbf{v}$ es un vector de coeficientes.

A efectos de simplificación, podemos conceptualizar la variable objeto de estudio $\mathbf{a}$ (o en el caso de variable normalizada, $\mathbf{z}$) como una matriz de vectores columna. Con ello, el álgebra escalar para la componente del individuo i -ésimo (vector columna correspondiente a la columna i) viene dada por:

$$y_i = v_1 a_{1i} + v_2 a_{2i} + \dots + v_p a_{pi}$$

Cuando se pretende definir un conjunto de funciones lineales o componentes de $\mathbf{a}$, supóngase n de ellas, los n vectores-columna de los coeficientes con p coeficientes en cada vector se disponen en una matriz $\mathbf{V}$ de coeficientes de dimensiones $(p \times n)$. En estas condiciones, el conjunto de las n transformaciones aplicadas sobre $\mathbf{a}$ viene especificado por la ecuación:

$$\mathbf{y} = \mathbf{V}^T \mathbf{a}$$

la cual será una matriz cuadrada de dimensiones $(n \times n)$ y el vector transformado para el individuo i -ésimo, viene dado por:

$$y_i = \mathbf{V}^T \mathbf{a}_i$$

donde $\mathbf{y}_i$ es un vector-columna con n elementos.

Existen dos teoremas de importancia relativos al centroide y a la dispersión de una variable vectorial transformada. El primero establece que dada la transformación $\mathbf{y} = \mathbf{V}^T \mathbf{x} + \mathbf{b}$, donde $\mathbf{b}$ es un vector de n constantes, se verifica:

$$\mathbf{m}_y = \mathbf{V}^T \mathbf{m}_x + \mathbf{b}$$

mientras que el segundo teorema establece que

$$\mathbf{D}_y = \mathbf{V}^T \mathbf{D}_x \mathbf{V}$$

Estos teoremas relativos a las transformaciones lineales de variables vectoriales son de gran utilidad, porque, en general, la metodología de desarrollo en la que se basan los procedimientos multivariantes es la aplicación del cálculo diferencial de sistemas de ecuaciones lineales para definir funciones lineales de la variable vectorial de entrada que maximicen algún criterio de ganancia o que minimicen algún criterio de error. Lo que habitualmente se hace es buscar un conjunto de componentes (en el sentido de proyección o transformación lineal de las variables de entrada) de la variable vectorial que realicen algún tipo específico de “trabajo” mejor de lo que cualesquiera otras componentes podrían hacerlo. La contribución relativa de los diferentes elementos de la variable vectorial a las componentes es de considerable importancia en la interpretación de los datos. Es en esta clasificación de las contribuciones de los elementos de la variable a la “mejor” de las componentes en la que la potencia heurística de estos métodos se manifiesta.

De un modo general, una componente de una variable vectorial tiene una media y una varianza arbitrarias. Cuando la componente se define para una variable vectorial normalizada ($\mathbf{z}$), de forma tal que tenga media cero y varianza la unidad, dicha componente se denomina **factor** de la variable de medida, para la cual utilizaremos la notación $\mathbf{f} = \mathbf{V}^T \mathbf{z}$, verificándose en estas condiciones:

$$\mathbf{m}_f = \mathbf{m}_z = \mathbf{0} \quad ; \quad \mathbf{D}_f = \mathbf{V}^T \mathbf{R}_z \mathbf{V}$$

En los apartados siguientes de este apéndice se desarrollarán las técnicas conducentes a la extracción de los referidos factores.

A.3 Reducción de los datos a estimadores muestrales

Un problema a considerar en relación con las estimaciones en el análisis multivariante es que los estimadores de máxima verosimilitud de las varianzas y

covarianzas no son los mismos que los estimadores insesgados, habitualmente utilizados en muchos procedimientos estadísticos (análisis de la varianza, etc.).

Por otro lado, los estimadores de máxima verosimilitud son particularmente útiles en la regresión y el análisis factorial porque los estimadores de máxima verosimilitud de los parámetros de las distribuciones de las funciones lineales difieren mínimamente de transformaciones de los estimadores de máxima verosimilitud de la variable vectorial original.

El estimador de máxima verosimilitud para el centroide de la población es un estimador insesgado que viene dado por el vector-columna $\mathbf{m}$, donde:

$$\mathbf{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i$$

Por su parte, el estimador de máxima verosimilitud de la dispersión, o matriz de varianzas-covarianzas, es:

$$\mathbf{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - \mathbf{m})(\mathbf{x}_i - \mathbf{m})^T$$

Como es sobradamente conocido, los elementos de $\mathbf{D}$ presentan un sesgo por subestimación cuando el tamaño de la muestra N es pequeño. La corrección para obtener el estimador insesgado $\mathbf{D}_u$ viene dada por:

$$\mathbf{D}_u = \frac{N}{N-1} \mathbf{D}$$

Una fórmula computacional de utilidad para la obtención de $\mathbf{D}$ es:

$$\mathbf{D} = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i^T \right] - \mathbf{m} \mathbf{m}^T$$

Las desviaciones típicas se obtienen por extracción de la raíz cuadrada de los elementos de la diagonal de $\mathbf{D}$. El conjunto de estas p desviaciones típicas frecuentemente se representa por $D_{\text{diag}}^{1/2}$. Los elementos del estimador de máxima verosimilitud de la matriz de correlación son computables en los términos:

$$r_{jk} = \frac{d_{jk}}{\sqrt{d_{jj} d_{kk}}}$$

En estas condiciones se verifica que $\mathbf{m}$ se distribuye normalmente e independientemente de $\mathbf{D}$. De hecho, el centroide de la muestra se distribuye según una distribución $N[\mu, (1/N) \Delta]$, cuando la población (χ) se distribuye según una distribución $N(\mu, \Delta)$.

El estimador insesgado de D es utilizado para realizar el test de hipótesis acerca de μ . Hotelling en 1931 introdujo el estadístico T^2 como una extensión multidimensional del conocido estadístico t de Fisher del modo siguiente (Hotelling, 1931):

$$T^2 = N(\mathbf{m} - \mu)^T \mathbf{D}_u^{-1} (\mathbf{m} - \mu)$$

Este es un ejemplo de forma cuadrática, con lo cual T^2 es un escalar. Para la hipótesis nula $H: \mu = \mu_0$ la siguiente función de T^2 sigue una distribución F de Fisher-Snedecor:

$$F_{N-p}^p = \frac{N-p}{p} \cdot \frac{T^2}{N-1}$$

propiedad de utilidad a la hora de analizar la representatividad de la muestra.

A.4 Análisis de componentes principales

Como ya se ha indicado con anterioridad, el objeto del análisis de componentes principales es obtener una variable vectorial incorrelacionada, para lo cual será preciso aplicar una transformación a la variable vectorial de partida (a partir de este punto vamos a suponer una variable normalizada $\mathbf{z}$, ya que esta simplificación no supone una pérdida de generalidad).

Producir una transformación vectorial sobre el vector origen $\mathbf{z}$, de modo que obtengamos un vector $\mathbf{y}$ cuyos elementos estén incorrelacionados, es lo mismo que decir que se necesita una matriz de coeficientes $\mathbf{V}$ tal que al aplicar la transformación $\mathbf{y} = \mathbf{V}^T \mathbf{z}$ la matriz $\mathbf{D}_y$ sea diagonal.

Matemáticamente esta transformación es una transformación ortogonal, y existen infinitos valores de $\mathbf{V}$ que pueden producir una matriz diagonal $\mathbf{D}_y$ para cualquier matriz de correlación $\mathbf{R}$ dada. En estas condiciones, por tanto, el problema está indefinido y es preciso imponer restricciones adicionales para la definición del mismo.

Karl Pearson en 1902 tuvo ya una acertada intuición acerca de la resolución del problema. Consideraba que las varianzas de los elementos principales de $\mathbf{y}$ debían

ser maximizadas. Algunos años después Truman Lee Kelly ponderó el problema y aportó una variedad de argumentos para una solución con varianzas maximizadas en el ámbito de la investigación aplicada a las ciencias psicológicas y educacionales. Paralelamente persuadió a Harold Hotelling para trabajar en el tema, y éste en 1933 propuso la solución de las “componentes principales” que es la que a continuación se presenta.

Para la primera componente principal, la cual será el primer elemento de $\mathbf{y}$, y que estará definida por los coeficientes de la primera columna de $\mathbf{V}$ (denotada por $\mathbf{v}_1$), se busca una solución tal que la varianza de y_1 sea maximizada. Este requisito carece de significado a menos que se imponga una restricción en los valores de $\mathbf{v}_1$. Esta restricción será que la suma de los cuadrados de los coeficientes sea igual a la unidad.

Analíticamente se puede expresar este planteamiento del modo siguiente:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{1i}^2 \quad |_{\text{maximizar}}$$

donde:

$$y_{1i} = \mathbf{v}_1^T \mathbf{z}_i$$

y

$$\mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_1 = 1$$

Por otro lado,

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{1i}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{v}_1^T \mathbf{z}_i)^2 = \frac{1}{N} \sum (\mathbf{v}_1^T \mathbf{z}_i)(\mathbf{z}_i^T \mathbf{v}_1) = \mathbf{v}_1^T \frac{1}{N} \sum (\mathbf{z}_i \mathbf{z}_i^T) \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1$$

En consecuencia, se pretende maximizar $\mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1$ sujeto a la restricción $\mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_1 = 1$. Sea:

$$\phi_1 = \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 - \lambda_1 (\mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_1 - 1)$$

resultado de introducir la restricción en la función a maximizar a través del multiplicador de Lagrange λ_1 . El vector de derivadas parciales es:

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial \mathbf{v}_1} = 2\mathbf{R} \mathbf{v}_1 - 2\lambda_1 \mathbf{v}_1$$

Igualando a cero esta expresión, se obtiene finalmente:

expresión característica del problema de la autoestructura de $\mathbf{R}$.

$$(\mathbf{R} - \lambda_1 \mathbf{I}) \mathbf{v}_1 = 0 \quad ,$$

A continuación se presenta la expresión anterior desarrollada en forma de sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} v_1(1 - \lambda) + v_2 r_{12} + v_3 r_{13} + \dots + v_p r_{1p} &= 0 \\ v_1 r_{21} + v_2(1 - \lambda) + v_3 r_{23} + \dots + v_p r_{2p} &= 0 \\ v_1 r_{31} + v_2 r_{32} + v_3(1 - \lambda) + \dots + v_p r_{3p} &= 0 \\ \dots &\dots \\ v_1 r_{p1} + v_2 r_{p2} + v_3 r_{p3} + \dots + v_p(1 - \lambda) &= 0 \end{aligned}$$

cuyo desarrollo matricial se puede explicitar en los términos siguientes:

$$\begin{pmatrix} (1 - \lambda_i) & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & (1 - \lambda_i) & r_{23} & \dots & r_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \dots & (1 - \lambda_i) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_{1i} \\ v_{2i} \\ \dots \\ v_{pi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}$$

La ecuación característica de $\mathbf{R}$ es un polinomio de orden p , obtenido a partir de la expansión del determinante siguiente:

$$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$$

Las raíces de λ serán los autovalores de $\mathbf{R}$.

Sea λ_1 el mayor de los autovalores de $\mathbf{R}$. Substituyéndolo en la ecuación de la autoestructura de $\mathbf{R}$ y multiplicando dicha ecuación por $\mathbf{v}_1^T$ se obtiene:

$$\mathbf{R} \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_1 \lambda_1 = 0 \quad ; \quad \mathbf{R} \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1 \lambda_1 \quad ; \quad \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_1 \lambda_1 = \lambda_1$$

de donde se infiere que λ_1 es la varianza de la componente lineal normalizada de $\mathbf{z}$ que tiene varianza máxima.

Para la segunda de las componentes principales, el objetivo es encontrar la combinación lineal normalizada $y_2 = \mathbf{v}_2^T \mathbf{z}$ que de todas las componentes incorrelacionadas con y_1 tenga máxima varianza.

La restricción estadística de incorrelación entre y_1 e y_2 se expresa en los términos:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{2i} y_{1i} = 0$$

Donde:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{2i} y_{1i} = \frac{1}{N} \sum (\mathbf{v}_2^T \mathbf{z}_i)(\mathbf{v}_1^T \mathbf{z}_i) = \frac{1}{N} \sum (\mathbf{v}_2^T \mathbf{z}_i)(\mathbf{z}_i^T \mathbf{v}_1) = \mathbf{v}_2^T \frac{1}{N} \sum (\mathbf{z}_i \mathbf{z}_i^T) \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_2^T \mathbf{v}_1 \lambda_1$$

expresión que sólo puede ser cero en el caso en que

$$\mathbf{v}_2^T \mathbf{v}_1 = 0$$

Esta ecuación establece el requisito de ortogonalidad geométrica entre los auto-vectores.

Introduciendo un segundo multiplicador de Lagrange, ν_1 , al objeto de incluir la restricción de ortogonalidad en el cálculo, se tiene que la función objeto de maximización es la siguiente:

$$\phi_2 = \mathbf{v}_2^T \mathbf{R} \mathbf{v}_2 - \lambda_2 (\mathbf{v}_2^T \mathbf{v}_2 - 1) - \nu_1 \mathbf{v}_2^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1$$

$$\frac{\partial \phi_2}{\partial \mathbf{v}_2} = 2\mathbf{R} \mathbf{v}_2 - 2\lambda_2 \mathbf{v}_2 - 2\nu_1 \mathbf{R} \mathbf{v}_1$$

igualando a cero y multiplicando ambos miembros por $\mathbf{v}_1^T$, resulta:

$$\mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_2 - \lambda_2 \mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_2 - \nu_1 \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 = 0$$

la cual se reduce a:

$$-\nu_1 \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 = 0$$

de donde se infiere que ν_1 debe ser igual a cero y que λ_2 y $\mathbf{v}_2$ deben ser la segunda raíz de la ecuación característica y su autovector asociado, respectivamente.

El proceso se repetirá de modo análogo para obtener las $p-1$ varianzas máximas, λ_j para las distintas componentes especificadas por la relación $y_j = \mathbf{v}_j^T \mathbf{z}$.

La última componente principal, asociada al menor de los autovalores, no tiene grados de libertad, dado que:

$$\sum_{j=1}^p \lambda_j = \text{traza}(\mathbf{R}) = p$$

Otra relación de interés que satisfacen los autovalores es:

$$\prod_{j=1}^p \lambda_j = |\mathbf{R}|$$

En estas condiciones, siendo $\mathbf{L}$ una matriz diagonal con λ_j en la posición j -ésima de la diagonal, la autoestructura completa de $\mathbf{R}$ viene dada por:

$$\mathbf{RV} = \mathbf{VL}$$

siendo:

$\mathbf{V}$ = matriz de autovectores

$\mathbf{L}$ = matriz diagonal de autovalores

y verificándose:

$$\mathbf{V}^T \mathbf{V} = \mathbf{V} \mathbf{V}^T = \mathbf{I}$$

y

$$\mathbf{V}^T \mathbf{RV} = \mathbf{L} = \mathbf{D}_y$$

La mayoría de los métodos computacionales se fundamentan en la relación $\mathbf{RV} = \mathbf{VL}$, de modo que λ_1 es el valor máximo de la varianza que puede tomar una componente de $\mathbf{z}$, sujeto a la normalización del vector $\mathbf{v}_1$. Análogamente λ_2 es el máximo dado λ_1 , y así sucesivamente para el resto de los autovalores. Cada componente tiene la varianza máxima de entre todas las funciones lineales normalizadas estadísticamente incorrelacionadas y geoméricamente ortogonales a las que le preceden. Esta es la propiedad más destacable de las componentes principales. T.L. Kelley (1940) observó que esta es una propiedad valiosa a tener en consideración para la determinación de los factores, supuesta la no existencia de restricciones adicionales. En la época de Kelley, no se contemplaba la existencia de dichas condicionantes, con lo cual aceptó el método de las componentes principales como solución válida. En la actualidad, muchos investigadores optan por imponer la restricción adicional de rotar las componentes principales al objeto de obtener otras soluciones factoriales de comprensión e interpretación más sencillas.

Otra característica remarcable de las componentes principales es que mientras que el conjunto completo de las p componentes reproducirá exactamente la matriz de

correlación $\mathbf{R}=\mathbf{V}\mathbf{L}\mathbf{V}^T$, y en consecuencia contabiliza el total de la varianza de la variable vectorial $\mathbf{z}$, en las soluciones de aplicación práctica es posible retener solamente las n primeras componentes, en la confianza de que esas componentes extraerán un cómputo mayor para la varianza de $\mathbf{z}$ que el que se obtendría con cualquier otro conjunto de n factores ortogonales. Este hecho resulta de capital importancia. Si por razones de economía se pretende reducir el número de variables de las p variables correlacionadas existentes en $\mathbf{z}$ a un número $n < p$ de variables incorrelacionadas en la variable vectorial transformada $\mathbf{y}$, las n variables derivadas que retendrán la mayor cantidad de varianza de $\mathbf{z}$ que sea posible serán las n primeras componentes principales (o cualquier rotación ortogonal rígida de las mismas).

Cuando $\mathbf{y}$ tiene menos elementos que $\mathbf{z}$, el rango del espacio de medida se ha reducido, desde p hasta n . Este nuevo modelo de rango n ha descartado parte de la varianza disponible en $\mathbf{z}$, dado que las raíces eliminadas desde λ_{n+1} hasta λ_p son todas distintas de cero. Igualmente debe notarse que para $n < p$, la matriz de coeficientes $\mathbf{V}$ de rango $n \times p$ verifica la propiedad $\mathbf{V}^T\mathbf{V}=\mathbf{I}$, pero no satisface la relación $\mathbf{V}\mathbf{V}^T=\mathbf{I}$. Este hecho se refleja expresando que la matriz de coeficientes para el modelo de rango reducido es ortogonal por columnas pero no es ortonormal.

Otro hecho de importancia a tener en consideración en el manejo de muestras de tamaño pequeño es aplicar un test de esfericidad (normalidad e independencia) a $\mathbf{R}$, ya que la estimación de $\mathbf{L}$ y $\mathbf{V}$ se fundamenta en dicha matriz $\mathbf{R}$, y pueden existir, en casos de muestra como la considerada, errores significativos.

El test de esfericidad es un test de contraste de hipótesis de la hipótesis nula que la matriz de correlación de la población es una matriz identidad. Es decir, la hipótesis nula especifica que los elementos de $\mathbf{z}$ están ya incorrelacionados en la población de la cual se extrajo la muestra, y que las correlaciones cuantificadas en $\mathbf{R}$ difieren de cero solo por casualidad. Si esto es así, la nube de puntos de la población en el espacio de las variables normalizadas es esférica, de ahí el nombre del test.

Bartlett propuso la formulación del test en 1950. Su fundamento pasa por la noción introducida por Wilks en 1932 de tomar el determinante de la matriz de dispersión como la analogía multivariante de la varianza. Este índice fue nombrado por Wilks como “varianza generalizada”. Sea $\mathbf{P}$ la matriz de correlación de la población; para la variable normalizada $\mathbf{z}$, $|\mathbf{P}|$ es la varianza generalizada y $|\mathbf{R}|$ su estimador. La formulación introducida por Bartlett es una aproximación a un test Chi-cuadrado de la hipótesis $H_0: |\mathbf{P}|=1$. Lógicamente $|\mathbf{P}|=1$ solo si $\mathbf{P}=\mathbf{I}$. El criterio del test es:

$$\chi^2_{0.5(p^2-p)} = -\left[(N-1) - \frac{1}{6}(2p+5)\right] \ln |\mathbf{R}|$$

Al objeto de reforzar la “razonabilidad” del criterio de Barlett, es preciso considerar las siguientes premisas:

1. El determinante $|\mathbf{R}|$, obtenido a partir de $\mathbf{Z}^T\mathbf{Z}$ ($1/N$), estará siempre en el rango $[0,1]$; cuando $|\mathbf{R}| \rightarrow 1$, $\mathbf{R} \rightarrow \mathbf{I}$, y cuando $\mathbf{R} \rightarrow \mathbf{I}$, la dispersión se aproxima a la esfericidad ($0 \leq |\mathbf{R}| \leq 1$).
2. Los logaritmos neperianos de fracciones decimales en el rango $[0,1]$ son negativos con rango de variación $[-\infty, 0]$; cuando $|\mathbf{R}| \rightarrow 1$, $\ln|\mathbf{R}| \rightarrow 0$ y $\chi^2 \rightarrow 0$.
3. Un valor elevado de N respecto a p incrementará el valor de χ^2 para un valor dado de $|\mathbf{R}|$; por tanto un ratio elevado de N/p incrementa la potencia del test.

En estas condiciones, un valor no significativo de χ^2 para un nivel de confianza a razonable conduciría a la decisión de no factorizar la matriz, pues la variable vectorial puede ser tratada como un conjunto de elementos incorrelacionados.

Otro punto de importancia a considerar es el número de componentes principales a extraer, lo cual a fin de cuentas supone cuantificar el error residual que se acepta asumir en la simplificación realizada por la heurística. Existen diversos criterios relativos a este particular. Kaiser en 1960 propuso una regla nemotécnica según la cual el número n de componentes a extraer debe ser igual al número de autovalores mayores que 1 (Kaiser, 1960). Esta regla parece funcionar bien cuando N es pequeño o moderado, mientras que para muestras mayores se hace necesario extraer un número mayor de componentes principales que el propuesto por Kaiser. Por su parte Dunteman propone desechar aquellas componentes principales que tengan un valor de la varianza menor a un $70/p$ por ciento de la varianza total (Dunteman, 1989). En el presente trabajo, el criterio que se va a seguir es el planteado por Afifi y Clark en virtud del cual el número de componentes retenidas será tal que acumulen al menos un 80% de la varianza total (Afifi y Clark, 1996).

Como se ha indicado con anterioridad, resulta de especial utilidad escalar las transformaciones y de la variable vectorial $\mathbf{z}$ de modo que sus elementos tengan por media cero y por varianza la unidad. Dicha transformación normalizada se denomina factorización de $\mathbf{z}$, o de $\mathbf{R}$, y cada componente lineal de la transformación se denomina “factor”. Las componentes principales ya tienen por media cero, pero sus varianzas distintas de la unidad se sitúan en los elementos de la

diagonal de $\mathbf{L}$. Dado que y_j tiene varianza λ_j , su factor principal puede ser obtenido en la forma:

$$f_j = \frac{y_j}{\sqrt{\lambda_j}}$$

o, para todos los factores:

$$\mathbf{f} = \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} \mathbf{y}$$

Dado que $y_i = \mathbf{v}_i^T \mathbf{z}$, se tiene:

$$f_j = \frac{\mathbf{v}_j^T \mathbf{z}}{\sqrt{\lambda_j}}$$

y como $\mathbf{y} = \mathbf{V}^T \mathbf{z}$, resulta finalmente:

$$\mathbf{f} = \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} \mathbf{V}^T \mathbf{z} = \mathbf{B}^T \mathbf{z}$$

donde:

$$\mathbf{B} = \mathbf{V} \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}}$$

Por tanto, dicha matriz $\mathbf{B}$ (de dimensiones $p \times n$) es la matriz de coeficientes factoriales para los factores principales.

El interés principal en cualquier solución factorial debe centrarse en la correlación entre las variables originales y los factores. La matriz de dichas correlaciones entre factor-variable muestral se denomina "estructura factorial". De hecho es el elemento interpretativo primario en el análisis de componentes principales. La obtención de la estructura factorial de $\mathbf{S}$ puede explicitarse en los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{z}_i - \mathbf{m}_z)(\mathbf{f}_i - \mathbf{m}_f)^T = \frac{1}{N} \sum \mathbf{z}_i \mathbf{f}_i^T = \frac{1}{N} \sum \mathbf{z}_i (\mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} \mathbf{V}^T \mathbf{z}_i)^T \\ &= \frac{1}{N} \sum (\mathbf{z}_i \mathbf{z}_i^T) \mathbf{V} \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} = \mathbf{R} \mathbf{V} \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

y dado que $\mathbf{R} \mathbf{V} = \mathbf{V} \mathbf{L}$, resulta finalmente:

$$\mathbf{S} = \mathbf{V} \mathbf{L} \mathbf{L}^{-\frac{1}{2}} = \mathbf{V} \mathbf{L}^{\frac{1}{2}}$$

Por último, es preciso abordar la cuestión de la cantidad de varianza explicada por el modelo factorial, siendo éste en consecuencia un indicador de la cantidad de información retenida por el modelo. En concreto se va a abordar la cuestión ¿qué cantidad de varianza del elemento p de la variable muestral es contabilizada por la capa j -ésima de la teoría factorial?

En este sentido, es preciso considerar que p (el orden y la traza de $\mathbf{R}$) es el máximo valor de varianza que un factor puede extraer, y por ello este valor puede ser utilizado como un criterio para la evaluación de λ_j . (Considérese por ejemplo la situación en la que λ_j pudiera valer p , en cuyo caso extremo todos los otros autovalores tomarían el valor cero. Esto significaría que $\mathbf{z}$ era ya una medida pura unifactorial sin componente de error; en cualquier caso esta situación extrema es de difícil presentación, introduciéndose en este punto a título meramente ilustrativo para mejor comprensión del concepto considerado).

Lo que se hace es dividir λ_j por p al objeto de expresar la proporción de la varianza total disponible que es extraída por el factor principal j -ésimo; este ratio se va a denotar por P_{uj} , y es un índice de ponderación adecuado, pues suma la unidad para el modelo de rango completo, a saber:

$$\sum_{j=1}^p \frac{\lambda_j}{p} = 1$$

Por su parte, para el modelo de rango reducido, la situación es la que a continuación se presenta:

$$P_v = \sum_{j=1}^n P_{vj} = \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{p}$$

da la proporción de la varianza total disponible en la variable muestral que es retenida por el modelo.

Dado que:

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^p s_{ij}^2$$

es decir, la proporción de la varianza extraída por un factor puede ser computada sumando los cuadrados de una columna de la matriz de estructura factorial $\mathbf{S}$, y la proporción global de la varianza muestral retenida por el modelo de rango reducido puede ser computada a partir de la suma de estas sumas de cuadrados de columnas para $\mathbf{S}$, conforme se indica a continuación:

$$P_v = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\sum_{i=1}^p s_{ij}^2}{p} \right)$$

La suma de los cuadrados de las filas de **S** también resulta de interés, pues expresa la proporción de la varianza de cada uno de los elementos de la variable vectorial muestral **z** que es extraída por todos los *n* factores. Este valor se denomina **comunalidad alcanzada** para el elemento considerado, y se define como:

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^n s_{ij}^2$$

Es decir, el cuadrado de la correlación entre el elemento *i* con el factor *j* da la parte de la varianza del elemento computada por dicho factor, y la suma de estos cuadrados para los *n* factores es la comunalidad, o varianza explicada, para el elemento.

A.5 Técnicas de análisis factorial aplicables: criterios de elección

En los epígrafes anteriores se ha indicado cómo determinar el número mínimo de dimensiones necesarias para extraer la información contenida en la muestra de partida (mediante el empleo de la técnica de las componentes principales) y cómo factorizar los resultados obtenidos (mediante el empleo de variables normalizadas). No obstante, el objetivo principal de los métodos englobados bajo la denominación de “técnicas de análisis factorial” es obtener un conjunto de parámetros de sencilla comprensión y que analíticamente respondan a las solicitudes de una estructura simple. Dichas solicitudes para la simplicidad estructural fueron determinadas por Thurstone y se pueden explicitar en los términos siguientes (Thurstone, 1947):

1. Cada fila de la matriz factorial debe tener al menos un cero.
2. Si existen *n* factores comunes, cada columna de la matriz factorial debe tener al menos *n* ceros.
3. Para cada par de columnas de la matriz factorial deben existir diversas variables cuyas entradas desaparezcan en una columna pero no en la otra.
4. Para cada par de columnas de la matriz factorial, una gran proporción de las variables debe tener entradas en ambas columnas que desaparezcan cuando el número de factores es cuatro o mayor.
5. Para cada par de columnas de la matriz factorial debiera haber solo un pequeño número de variables con entradas que no desaparezcan en ambas columnas.

Desde que Thurstone enunció los principios de la estructura simple, los análisis factoriales han estado interesados en el desarrollo de técnicas de mejora de la solución ofrecida por las n componentes principales, fundamentadas en la rotación de las componentes hacia posiciones en las cuales la estructura factorial se aproxime a los criterios de Thurstone. La idea de las sistemáticas de rotación analítica es transformar las componentes principales de modo que conserven la elegancia, manejo y utilidad del conjunto de componentes, a la par que aportan la virtud de una aproximación más cercana a la estructura simple, de modo que las nuevas variables sean más fácilmente comprensibles por los decisores.

Es muy importante remarcar que todo el valor del conjunto de n componentes es mantenido *como conjunto* en términos de aplicación de una rotación analítica. Esto es, $\mathbf{R}$ y las comunales permanecen invariadas. Lo que varía son las especificaciones para los factores individuales dadas por los elementos de $\mathbf{S}$. La suma de cuadrados por filas para $\mathbf{S}$ no cambia, pero los elementos de cada fila son modificados hacia la consecución de la estructura simple. Esto significa hacer un esfuerzo de aproximación en el sentido de que todas las s_{ij} se aproximen tanto a cero como a la unidad, motivados por el hecho de que tantos los pesos factoriales muy altos como los muy bajos son fácilmente interpretables, mientras que los intermedios son de más difícil comprensión. Henry Kaiser, el inventor de la rotación Varimax que posteriormente se presentará, estipuló que “dado que un factor es un vector de coeficientes de correlación, el factor más interpretable es aquel basado en coeficientes de correlación que sean máximamente interpretables” (Kaiser, 1958).

Aunque los criterios de Thurstone para la simplicidad estructural guiaron la rotación gráfica durante muchos años, los intentos de desarrollar métodos objetivos de rotación directamente a partir de sus principios resultaron infructuosos. No obstante, una ruptura en esta tendencia se produjo cuando en 1953 Carroll propuso la primera solución analítica práctica para el problema de la rotación (Carroll, 1953). Las computadoras de alta velocidad, que empezaron a estar disponibles para los analistas casi al mismo tiempo, hicieron factibles tales procedimientos. Pronto, diversas aproximaciones computacionales estuvieron disponibles para aquellos investigadores que desearan realizar rotaciones ortogonales rígidas de múltiples factores en un esfuerzo por mejorar la estructura de sus soluciones.

Los primeros métodos analíticos de rotación fueron desarrollados en el sentido de simplificar **las filas** de la matriz factorial $\mathbf{S}$. Los pesos de cada variable fueron modificados de modo tal que cada variable tuviese pesos elevados en el menor

número posible de factores y pesos cero o casi cero en los factores restantes. Entre los creadores de estos primeros métodos de simplificación por filas cabe citar a Carroll (1953), Saunders (1953), Neuhaus y Wrigley (1953) y Ferguson (1954). Posteriormente se mostró la identidad algebraica de todos estos procedimientos y fueron clasificados como la metodología QUARTIMAX por Harman en 1960. El método Quartimax maximiza la varianza de los pesos al cuadrado, a saber:

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n s_{ij}^4 \quad | \text{ maximizar}$$

Dado que las sumas de cuadrados por filas deben permanecer invariadas, lo que hace el método Quartimax es simplificar cada fila o elemento, maximizando las varianzas de los pesos al cuadrado dentro de dicha fila.

Una alternativa a la solución Quartimax es la metodología VARIMAX, la cual implica la simplificación de **las columnas** en vez de las filas de la matriz factorial. El criterio Varimax ha sido el más extensamente utilizado y aceptado para la rotación ortogonal de los factores desde su introducción por Kaiser en 1958. Posee diversas ventajas sobre el método Quartimax. El énfasis en esta metodología se centra en “limpiar” los factores en vez de hacerlo con las variables. Para cada factor, la rotación Varimax trata de arrojar pesos elevados para unas pocas variables; el resto de los pesos en el factor serán casi cero. En el criterio Varimax, Kaiser define la simplicidad de un factor como la varianza de sus pesos al cuadrado, es decir:

$$V_j = \frac{\left\{ p \sum_{i=1}^p (s_{ij}^2)^2 - \left(\sum_{i=1}^p s_{ij}^2 \right)^2 \right\}}{p^2}$$

donde s_{ij} es el nuevo peso factorial para la variable i en el factor j ; $i=1,\dots,p$, y $j=1,2,\dots,n$. En estas condiciones, para la matriz factorial completa el criterio Varimax viene definido por:

$$V = \sum_{j=1}^n V_j = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{\left[p \sum_{i=1}^p (s_{ij}^2)^2 - \left(\sum_{i=1}^p s_{ij}^2 \right)^2 \right]}{p^2} \right\} \quad | \text{ maximizar}$$

La puesta en práctica del criterio Varimax expresado en estos términos ha mostrado un ligero sesgo en las soluciones resultantes. La rotación tiende a producir factores que presentan valores dispares para las sumas de las columnas. Este sesgo se elimina redefiniendo el criterio Varimax en la modalidad que Kaiser denomina criterio Varimax normalizado y que viene dado por:

$$V = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{\left[p \sum_{i=1}^p \left(s_{ij}^2 / h_i^2 \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^p s_{ij}^2 / h_i^2 \right)^2 \right]}{p^2} \right\} \Bigg|_{\text{maximizar}}$$

donde h_i^2 es la comunalidad del elemento i . Después de la rotación hacia un valor máximo de V , cada vector se reajusta multiplicando cada fila de la matriz factorial resultante por la raíz cuadrada de la comunalidad del elemento. La rotación no afecta a las comunalidades de los elementos. Finalmente el criterio es maximizado mediante la aplicación iterativa de una serie de funciones trigonométricas.

En el presente trabajo, la metodología seleccionada en la aplicación de los métodos computacionales a la muestra de referencia es la Varimax normalizada.

APÉNDICE B. COMPLEMENTOS METODOLÓGICOS SOBRE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS POR ENVOLTURA DE DATOS (DEA)

B.1 Introducción

En los análisis econométricos tradicionales, tras una etapa inicial de recopilación y acondicionamiento previo de los datos, resulta elemento prácticamente obligado, a la hora de desarrollar una metodología conducente a la toma de decisiones, el establecimiento de las pertinentes comparaciones entre un determinado tipo de “resultados”.

Uno de los principales problemas encontrados es el establecimiento de una base equitativa de referencia para la realización de estas comparaciones. Así, existirán factores “no cuantificables” inherentes al propio comportamiento humano, y, en cualquier caso, una variedad amplia de características que en determinadas circunstancias pueden incluso representar objetivos divergentes. De un modo genérico, se puede convenir que el objetivo no es cuantificar “¿Cuánto tiene?” un determinado miembro del grupo, sino más bien “¿Cómo de bien lo está haciendo?” conjuntamente con la cuestión complementaria “¿Cuánto podría mejorar?” (Norman y Stoker, 1991).

En el sector privado, una medida prácticamente ineludible del rendimiento es el beneficio. No obstante, el cálculo del beneficio, de un modo riguroso, resulta complejo debido al gran número de factores concurrentes en la determinación del mismo: inversiones a largo plazo, depreciaciones, etc.. Recientes estudios (Grifell-Tatjé y Lovell, 1999) muestran la dependencia del cambio del beneficio conforme a una descomposición directa de factores relativos a efectos cuantitativos y efectos relacionados con los precios. Esta descomposición, inherentemente conlleva el establecimiento de relaciones funcionales entre cantidades de muy diversa índole, fenómeno éste que conduce al ya referido problema del establecimiento de una base homogénea de referencia.

Por su parte, en el sector público, donde el beneficio no suele ser un objetivo, es necesario establecer indicadores de otra índole que permitan una medida eficaz del

desempeño. En cualquier caso, el establecimiento de estos indicadores pasa igualmente por el manejo de magnitudes de muy diferentes características, con lo que la consideración de un referente homogéneo se impone una vez más como factor de capital importancia para el adecuado desarrollo del proceso.

La historia del “análisis por envoltura de datos” (de aquí en adelante DEA) cifra su comienzo en 1978 con la conferencia de Edwardo Rhodes “Data Envelopment Analysis and Approaches for Measuring the Efficiency of Decision-Making Units with an Application to Program Follow-Through in U.S. Education”, pronunciada en la Escuela de Asuntos Públicos de la Universidad de Carnegie-Mellon en Pittsburgh (Rhodes, 1978).

Bajo la supervisión de William W. Cooper, E. Rhodes estaba evaluando el desarrollo de un programa educacional para alumnos desaventajados (esencialmente negros e hispanos) diseñado en las escuelas públicas de los Estados Unidos con el apoyo del Gobierno Federal. El análisis conllevaba la comparación del rendimiento de escuelas que estaban y que no estaban participando en el mencionado programa.

El rendimiento se registraba en términos de parámetros de salida tales como “incremento de la autoestima en el niño desaventajado” (medido a través de tests psicológicos), partiendo de parámetros de entrada tales como “tiempo empleado por la madre en lectura compartida con el niño”. El desafío consistía en evaluar la eficiencia técnica relativa de las escuelas que llevasen aparejado el manejo de múltiples parámetros de entrada y de salida sin utilizar las técnicas tradicionales conocidas hasta la fecha, fundamentadas esencialmente en modelos económicos de estudios en los precios. La respuesta a este problema fructificó en la primera formulación matemática del DEA en su variante “CCR” (la cual se analizará con posterioridad), abriendo la puerta al desarrollo de una nueva herramienta en el campo de la práctica gerencial encaminada a la evaluación de la eficiencia técnica.

En resumen, se puede concluir que el DEA es una técnica encaminada a la evaluación de la eficiencia de una serie de elementos objeto de estudio, habitualmente denominados “Unidades de Toma de Decisión” (de aquí en adelante DMU, acrónimo de los términos ingleses Decision Making Unit), siendo los elementos de juicio para dicha evaluación, múltiples variables de entrada y de salida para cada una de las DMU consideradas. Lógicamente las DMU deben ser comparables, es decir, que tanto sus entradas como sus salidas sean medibles de un modo reproducible y en unidades homogéneas para todas ellas.

No obstante, y fundamentalmente debido a los desarrollos llevados a cabo en los últimos años, el propósito, aplicaciones y perspectivas de futuro del DEA se han extendido más allá del concepto presentado con anterioridad de mera metodología para cálculos de eficiencia. Por contra, el DEA y sus aplicaciones facilitan un nuevo enfoque para organizar y analizar datos. Así, ha llegado a ser una alternativa y un complemento a los análisis tradicionales de tendencias centrales, aportando igualmente un nuevo punto de vista para los tradicionales análisis de coste-beneficio, estimación de fronteras, diseño de estrategias, aprovechamiento de características de los elementos punteros (p.ej., mejores prácticas gerenciales) e inducción de teorías a partir de observaciones externas.

En consecuencia, el DEA supone una alternativa a los principios tradicionales para obtener información a partir de una población de observaciones. En contraste con los tradicionales métodos paramétricos cuyo propósito es optimizar el ajuste de una función de regresión a los referidos datos, el DEA realiza una optimización para cada observación individual, con el objetivo de calcular una frontera constituida por intervalos graduales y delimitada por un conjunto de DMU eficientes.

Tanto el enfoque paramétrico como el no paramétrico utilizan toda la información contenida en los datos. En el análisis paramétrico, se asume que la ecuación optimizada de regresión se aplica a todas las DMU. Por contra, el DEA optimiza la medida del rendimiento de cada una de las DMU. El resultado de ello es la obtención de un conocimiento concreto del estado de situación de cada una de las DMU, en vez de focalizar la atención en la descripción de un “mítico” valor de la “DMU media”. En otras palabras, la atención del DEA se centra en las *observaciones individuales*, como se infiere de las “n” optimizaciones requeridas en el análisis del DEA (una para cada observación), en contraste con las focalizaciones en los *valores medios* y la estimación de parámetros que están asociadas con las aproximaciones estadísticas de optimización única (Charnes, Cooper et al., 1996).

El enfoque paramétrico requiere la imposición de una relación funcional específica (esto es, una ecuación de regresión, una función de producción, etc.), que relacione las variables independientes con las variables dependientes. La forma funcional seleccionada también requiere asunciones específicas en términos de la distribución de los términos de error (p. ej. distribuidos independiente y normalmente) y muchas otras restricciones tales como factores para cuantificar el valor de su producto marginal. Por contra, el DEA no requiere ninguna asunción acerca de la relación funcional. El DEA calcula una medida de la eficiencia máxima para cada DMU relativa a todas las otras DMU en la población observada, con el único requisito de que cada

DMU se sitúe sobre o bajo la frontera extrema. Cada DMU que no se encuentra en la frontera es proyectada mediante una combinación lineal convexa de las DMUs situadas en la frontera sobre la parte de la frontera más próxima a ella, obteniendo así una medida del grado de eficiencia de cada una de las DMU.

Es importante remarcar que los cálculos del DEA, al estar fundamentados en observaciones reales de datos obtenidos de cada DMU, solo ofrecen medidas de *eficiencia relativa*. La eficiencia relativa de cada DMU se calcula con relación a todas las otras DMU, usando los valores reales observados para las salidas y las entradas de cada DMU. Los cálculos del DEA se diseñan de modo que maximicen la eficiencia relativa de cada DMU, sujetos a la condición de que el conjunto de factores de peso obtenidos de esta forma para cada DMU, también deben ser factibles para el resto de las DMU incluidas en los cálculos.

En estas condiciones, el DEA produce una superficie de producción extrema de carácter empírico, la cual en términos económicos representa la que se muestra como la frontera de la mejor práctica productiva posible, es decir, la máxima salida empíricamente obtenible para cualquier DMU en la población observada, dado su nivel de entradas.

Para cada DMU ineficiente (cualquiera que se encuentre bajo la frontera), el DEA identifica las fuentes y el nivel de ineficiencia para cada una de las salidas y de las entradas. El nivel de ineficiencia se determina por comparación respecto a una DMU de referencia o respecto a una combinación convexa de otras DMU de referencia situadas en la frontera eficiente, que utilicen el mismo nivel de entradas, y que produzcan el mismo o un mayor nivel de salidas. Esto se logra solicitando a las soluciones la satisfacción de las restricciones de desigualdad, lo cual puede incrementar algunas salidas (o decrementar algunas entradas) sin empeorar las otras entradas o salidas.

El cálculo de la mejora potencial para cada DMU ineficiente no se corresponde necesariamente con el rendimiento observado de alguna de las DMU integrantes de la frontera de eficiencia o con una proyección de una DMU ineficiente en la frontera eficiente. Las mejoras calculadas (en cada una de las entradas y salidas) para las DMU ineficientes son *indicativos* de las potenciales mejoras obtenibles.

En estas condiciones, se puede concluir que el DEA resulta de especial interés para analistas de operaciones, científicos de las técnicas gerenciales e ingenieros en la industria, debido esencialmente a tres caracteres diferenciales de dicha metodología, a saber:

- a) caracterización de cada DMU por un indicador de eficiencia relativa,
- b) proyecciones específicas de las DMUs para su mejora, fundamentadas en DMUs de referencia que se han mostrado como las correspondientes a la mejor práctica,
- c) no utilización del enfoque indirecto y alternativo de especificar modelos abstractos estadísticos y realizar inferencias fundamentadas en los residuos y análisis de parámetros y coeficientes.

Como ya se ha indicado, a diferencia de los métodos paramétricos tradicionales, el DEA supone un enfoque diferente en el terreno del análisis y organización de datos. Las principales características que confieren al método una potencia considerable en este sentido se referencian a continuación (algunas ya se han presentado con anterioridad, pero aun corriendo el riesgo de caer en la reiteración, se incluyen, dada la importancia de su conocimiento y comprensión):

1. Focalización en las observaciones individuales, en contraste con las medias de poblaciones.
2. Produce una medida agregada para cada DMU en términos de la utilización de los factores de entrada (variables independientes) para producir las salidas deseadas (variables dependientes).
3. Puede utilizar conjuntamente múltiples salidas y múltiples entradas, pudiendo estar cada una especificada en diferentes unidades de medida.
4. Puede considerar variables externas que escapan del control de los responsables de la gestión de las DMUs consideradas.
5. Puede incorporar variables discretas.
6. Admite cualquier valor, y no requiere conocimientos apriorísticos de los pesos o precios para las entradas o las salidas.
7. No establece restricción en la forma funcional de las relaciones de producción.
8. Puede incorporar juicios y restricciones impuestos por el analista cuando éste así lo desee.
9. Produce estimaciones específicas sobre los cambios deseables en las entradas y/o salidas para proyectar las DMUs que se encuentran bajo la frontera de eficiencia sobre dicha frontera de eficiencia.

10. Se centra en fronteras que se han revelado como de mejor práctica, más que en las propiedades de tendencias centrales de las fronteras.
11. Satisface estrictos criterios de igualdad en la evaluación relativa de cada DMU.

Estos caracteres han favorecido la rápida diseminación de la metodología en múltiples modelos y variantes en los últimos 20 años, y fruto de ello es la variedad de campos en los que resulta de aplicación, entre los que cabe citar: educación (escuelas públicas y universidades), sanidad (hospitales, médicos,...), sector bancario, militar (reclutamiento, mantenimiento de aviones), auditorías, deportes, marketing, minería, agricultura, estudios de localización, transportes, etc.

No obstante, el desarrollo en modo alguno ha concluido, y, lejos de todo signo de inmovilismo, se puede afirmar que las potencialidades más fructíferas de la metodología están aún por llegar.

B.2. Notación

De un modo genérico, se tiene que el problema concierne a n DMUs las cuales van a ser objeto de análisis. Se supondrá que cada DMU consume cantidades variables de m entradas diferentes, para producir s salidas diferentes. Para el caso específico de la DMU _{j} se tiene que consume una cantidad $X_j = \{x_{ij}\}$ de entradas ($i = 1, \dots, m$) y que produce una cantidad $Y_j = \{y_{rj}\}$ de salidas ($r = 1, \dots, s$). Para estas constantes, las cuales habitualmente toman la forma de observaciones, se asume que $x_{ij} > 0$ y que $y_{rj} > 0$. La matriz de dimensión $s \times n$ de las medidas de salida se denotará por Y , y la matriz de dimensión $m \times n$ de las medidas de entrada se denota por X .

B.3. Modelos básicos. Formulación

El cuerpo conceptual y metodológico del DEA encuentra su implementación práctica en una serie de modelizaciones, que en función de sus diferentes concepciones, arrojan resultados que dan pie a una variedad de posibilidades interpretativas. Como se indica más adelante, cuatro son los modelos básicos de metodología más extendidos.

No obstante, los elementos fundamentales que diferencian unos modelos de otros se pueden sintetizar como sigue:

- los modelos pueden focalizar los orígenes de la ineficiencia en motivos técnicos, o en la magnitud de la escala a la que opera la DMU considerada;

- el tipo de modelo seleccionado puede predeterminar la geometría de la superficie envolvente, lo cual dará lugar a diferentes tipos de interpretación y de cuantificación de las ineficiencias;
- algunos modelos pueden utilizar formulaciones en términos de matemática diferencial;
- los modelos se suelen presentar en la forma de problemas de programación lineal en sus dos modalidades (primal y dual), y las comparaciones entre los distintos modelos se suelen hacer basándose en la forma geométrica de las superficies que delimitan la frontera de eficiencia, propiedades dependientes de la magnitud de escala de operación, proyecciones sobre la superficie de eficiencia y propiedades de invarianza de las unidades de medida.

Basándose en estos condicionantes, los diferentes modelos del DEA buscan establecer qué subconjunto de las DMU determinan las partes de la superficie envolvente. Como ya se ha indicado, la geometría de la superficie envolvente es prescrita por el modelo específico del DEA que se emplee. Para ser eficiente, los puntos correspondientes a una determinada DMU deben yacer sobre la mencionada superficie de eficiencia. Las DMUs que no pertenezcan a dicha superficie se denominan ineficientes, y el análisis del DEA identifica las fuentes y la cuantía de la ineficiencia y/o suministra una medida agregada de la eficiencia relativa.

A continuación se van a analizar los cuatro modelos básicos del DEA, a los que ya se aludió al inicio de esta sección. La formulación utilizada es la presentada por Charnes y Cooper (Charnes, Cooper et al., 1996).

I. Modelo aditivo

Fue desarrollado por Charnes, Cooper, Golany, Seiford y Stutz en 1985. Se representa según el siguiente par de problemas duales de programación lineal:

a) Modelo aditivo primal

$$\min_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = -\vec{1} s^+ - \vec{1} s^-$$

$$\text{s.a.} \quad Y\lambda - s^+ = Y_0$$

$$-X\lambda - s^- = -X_0$$

$$\vec{1}\lambda = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

b) Modelo aditivo dual

$$\begin{aligned}
 \max_{\mu, v, v_0} \quad & w_0 = \mu^T Y_0 - v^T X_0 + u_0 \\
 \text{s.a.} \quad & \mu^T Y - v^T X + u_0 \vec{1} \leq 0 \\
 & -\mu^T \leq -\vec{1} \\
 & -v^T \leq -\vec{1}
 \end{aligned}$$

El problema primal habitualmente es referido como “*forma envolvente*”, mientras que al problema dual se le denomina “*forma multiplicador*”. Ambos problemas siempre tienen solución; de aquí, el teorema de la dualidad de la programación lineal (Larrañeta, 1987) puede ser usado para garantizar $z_0^* = w_0^*$, donde el superíndice (*) denota un valor óptimo. Se puede resolver cualquiera de estos dos problemas equivalentes de programación lineal por medio de los algoritmos “standard” de la programación lineal y obtener paralelamente una solución para el problema complementario sin un esfuerzo extra. El valor óptimo z_0^* ($= w_0^*$) ofrece un indicador de eficiencia que mide la distancia a la frontera de una DMU en particular que esté siendo evaluada. Así, la DMU_0 es eficiente si y solo si $z_0^* = w_0^* = 0$. La DMU_0 es ineficiente si no se encuentra en la frontera, esto es, si alguna de las componentes de las variables de holgura s^+ o s^- es distinta de cero; los valores de estas componentes distintas de cero identifican las fuentes y la cuantía de la ineficiencia en las correspondientes entradas y salidas.

Este proceso se repite n veces, una para cada DMU_j objeto de evaluación. Por tanto en principio es preciso resolver el problema según el modelo de programación lineal presentado con $(X_0, Y_0) = (X_j, Y_j)$ para $j=1, \dots, n$. Los valores de la función objetivo obtenidos establecen una partición del conjunto original de DMUs en dos subconjuntos: aquellas DMUs para las que la función objetivo toma el valor cero son eficientes y determinan la superficie envolvente, mientras que aquellas que arrojan un valor de la función objetivo distinto de cero son ineficientes y yacen bajo la mencionada superficie.

Asociado con cada DMU_j ineficiente existe un punto óptimo de comparación (X^0, Y^0) en la superficie envolvente, que puede ser expresado como una combinación convexa de las DMUs, esto es:

$$(X_j^0 = \sum \lambda_k^* X_k, Y_j^0 = \sum \lambda_k^* Y_k \quad \text{con} \quad \sum \lambda_k^* = 1, \lambda_k^* \geq 0, \forall k)$$

Este punto de comparación puede ser expresado de modo equivalente por la proyección eficiente $(X_j, Y_j) \rightarrow (X^0, Y^0) = (X_j - s^{-*}, Y_j + s^{+*})$, la cual da (X^0, Y^0) como un punto en la frontera eficiente; es preciso notar que ambas expresiones se reducen a la proyección identidad para las DMUs situadas en la superficie envolvente, ya que para las DMUs eficientes las variables de holgura toman el valor cero.

Los valores óptimos para las variables de holgura, obtenidos de la resolución del problema primal, miden la distancia L1 de (X_j, Y_j) al punto proyectado (X^0, Y^0) en la frontera. Específicamente, para una DMU_0 el problema primal escoge la más extrema de todas las combinaciones convexas de DMUs con niveles de salida $Y\lambda \leq Y_0$ y niveles de entrada $X\lambda \leq X_0$.

El problema dual (forma del multiplicador) ofrece una interpretación geométrica alternativa. Aquí lo que se busca es el hiperplano de soporte más próximo, esto es, $\mu Y_0 - \nu X_0 + u_0 = w_0$, maximizando en este caso w_0 (por el teorema de la dualidad, w_0 está acotado superiormente por cero, y estamos maximizando una cantidad no positiva). Un punto eficiente (X_0, Y_0) yacerá en el hiperplano $\mu^* Y_0 - \nu^* X_0 + u_0^* = 0$ (es preciso subrayar que $(-\nu^*, \mu^*)$ es la normal al hiperplano, y que $u_0^* = 0$ si y solo si el plano pasa por el origen).

II. Modelo multiplicativo

En contraste con la envolvente lineal a intervalos propugnada por la mayoría de los modelos del DEA, los modelos multiplicativos han sido desarrollados de modo que permitan envolventes a intervalos de tipo logarítmico o exponencial. Las medidas multiplicativas de eficiencia tienen interesantes ventajas, las cuales se extienden de un modo natural al caso de múltiples entradas y salidas.

El modelo multiplicativo que desarrolló en primer lugar fue el Modelo Multiplicativo de Unidades Invariantes de Charnes, Cooper, Seiford y Stutz en 1983, el cual resulta de la aplicación del modelo aditivo a los valores de los logaritmos de los datos originales. De aquí que todas las interpretaciones y comentarios dados en el punto anterior (modelo aditivo) son de aplicación, pero considerando en este caso el espacio transformado $(\text{Log}(X), \text{Log}(Y))$.

En estas condiciones, las ecuaciones que definen el modelo son:

a) Modelo multiplicativo invariante primal

$$\begin{aligned}
 \min_{\lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = -\vec{1} s^+ - \vec{1} s^- \\
 \text{s.a.} \quad & \overrightarrow{\text{Log}(Y)} \lambda - s^+ = \overrightarrow{\text{Log}(Y_0)} \\
 & \overrightarrow{\text{Log}(X)} \lambda + s^- = \overrightarrow{\text{Log}(X_0)} \\
 & \vec{1} \lambda = 1 \\
 & \lambda, s^+, s^- \geq 0
 \end{aligned}$$

b) Modelo multiplicativo invariante dual

$$\begin{aligned}
 \max_{\mu, \nu} \quad & w_0 = \mu^T \overrightarrow{\text{Log}(Y_0)} - \nu^T \overrightarrow{\text{Log}(X_0)} + u_0 \\
 \text{s.a.} \quad & \mu^T \overrightarrow{\text{Log}(Y)} - \nu^T \overrightarrow{\text{Log}(X)} + u_0 \vec{1} \leq 0 \\
 & -\mu^T \leq -\vec{1} \\
 & -\nu^T \leq -\vec{1}
 \end{aligned}$$

Un modelo multiplicativo de notable interés es el resultante de suprimir la restricción de convexidad. Este modelo, originalmente desarrollado por Charnes, Cooper, Seiford y Stutz en 1982, viene dado por el siguiente par de problemas duales de programación lineal:

a) Modelo multiplicativo variante primal

$$\begin{aligned}
 \min_{\lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = -\vec{1} s^+ - \vec{1} s^- \\
 \text{s.a.} \quad & \overrightarrow{\text{Log}(Y)} \lambda - s^+ = \overrightarrow{\text{Log}(Y_0)} \\
 & \overrightarrow{\text{Log}(X)} \lambda + s^- = \overrightarrow{\text{Log}(X_0)} \\
 & \lambda, s^+, s^- \geq 0
 \end{aligned}$$

b) Modelo multiplicativo variante dual

$$\begin{aligned}
 \max_{\mu, v} w_0 &= \mu^T \overrightarrow{\text{Log}(Y_0)} - v^T \overrightarrow{\text{Log}(X_0)} \\
 \text{s.a.} \quad &\mu^T \overrightarrow{\text{Log}(Y)} - v^T \overrightarrow{\text{Log}(X)} \leq 0 \\
 &-\mu^T \leq -\overrightarrow{1} \\
 &-v^T \leq -\overrightarrow{1}
 \end{aligned}$$

Prestando atención a la formulación, se observa que es idéntica a la del modelo multiplicativo invariante, excepto por la ausencia de la restricción de convexidad en el problema normalizado primal y por la ausencia de la variable dual asociada u_0 en el problema dual. El efecto de esta modificación se comprende más sencillamente desde el punto de vista del problema dual. La ausencia de u_0 (o lo que es lo mismo $u_0 \equiv 0$) obliga a los hiperplanos de soporte (en el espacio transformado) a pasar por el origen; como resultado, tanto el número de DMUs eficientes como el número de intervalos de la superficie envolvente se ven reducidos. Lo que es más importante, del hecho de estar los hiperplanos obligados a pasar por el origen se deriva que el modelo está restringido a intervalos con retornos de escala constantes en el espacio de datos transformados.

III. Modelo BCC

Desarrollado en 1984, debe su nombre acrónimo a las iniciales de los apellidos de sus creadores: Banker, Charnes y Cooper.

Con anterioridad se ha visto que una DMU ineficiente puede ser hecha totalmente eficiente mediante proyección sobre un punto (X^0, Y^0) de la superficie envolvente. El punto particular de proyección seleccionado, (X^0, Y^0) , depende del modelo de DEA empleado. Como se verá a continuación, mediante el desarrollo de esta metodología BCC, dicho punto depende también de la orientación.

Así, el modelo BCC se puede subdividir en dos submodelos, a saber: modelo con orientación de entrada (el movimiento hacia la frontera se focaliza esencialmente en reducciones proporcionales de las entradas) y modelo con orientación de salida (el movimiento hacia la frontera se realiza esencialmente mediante aumentos proporcionales de las salidas). A continuación se analizan ambos submodelos:

Modelo BCC con orientación de entrada

El par de problemas duales de programación lineal que describen el modelo se presenta a continuación:

a) Modelo primal BCC con orientación de entrada

$$\begin{aligned}
 \min_{\theta, \lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = \theta - \varepsilon \vec{1} s^+ - \varepsilon \vec{1} s^- \\
 \text{s.a.} \quad & Y\lambda - s^+ = Y_0 \\
 & \theta X_0 - X\lambda - s^- = 0 \\
 & \vec{1} \lambda = 1 \\
 & \lambda, s^+, s^- \geq 0
 \end{aligned}$$

b) Modelo dual BCC con orientación de entrada

$$\begin{aligned}
 \max_{\mu, v} \quad & w_0 = \mu^T Y_0 + u_0 \\
 \text{s.a.} \quad & v^T X_0 = 1 \\
 & \mu^T Y - v^T X + u_0 \vec{1} \leq 0 \\
 & -\mu^T \leq -\varepsilon \vec{1} \\
 & -v^T \leq -\varepsilon \vec{1}
 \end{aligned}$$

Se puede observar cómo varios elementos nuevos aparecen en esta formulación en comparación con las presentadas hasta este momento. La variable θ aparece en el problema primal, y la constante ε (de carácter infinitesimal) aparece tanto en la función objetivo del problema primal como en la acotación inferior para los multiplicadores del problema dual. La variable escalar θ es la reducción proporcional aplicada a todas las entradas de la DMU_0 (la DMU que está siendo objeto de evaluación) al objeto de mejorar su eficiencia. Esta reducción es aplicada simultáneamente a todas las entradas, lo cual resulta en un movimiento radial alrededor de la superficie envolvente. La presencia de la constante infinitesimal (ε) en la función objetivo del problema primal, a efectos prácticos, comporta que la minimización fundamentada en la variable θ tenga prioridad sobre la optimización fundamentada en el empleo de las variables de holgura.

Así pues, la optimización puede ser lograda en un proceso de dos etapas, lográndose en primer lugar la máxima reducción de las entradas, a través del valor

óptimo θ^* , y después, en una segunda etapa, el movimiento sobre la frontera de eficiencia es efectuado a través de las variables de holgura (s^+ y s^-).

En estas condiciones, el criterio de optimalidad para una DMU vendrá dado por las dos afirmaciones equivalentes siguientes:

1. Una DMU es eficiente si y solo si las dos condiciones siguientes son satisfechas:

a) $\theta^* = 1$

b) todas las variables de holgura valen cero

2. Una DMU es eficiente si y solo si $w_0^* = z_0^* = 1$

En consecuencia la presencia de variables de holgura distintas de cero y el valor de $\theta^* \leq 1$ identifican las fuentes y la cuantía de cualesquiera ineficiencias que puedan estar presentes.

Es preciso hacer hincapié, que mientras que las superficies envolventes son idénticas para los modelos aditivo y BCC, los valores de la función objetivo (indicadores de eficiencia) y, lo que es aún más importante, las proyecciones de eficiencia difieren. Es muy importante, no obstante, reseñar que tanto el modelo aditivo como el BCC caracterizan a una determinada DMU como ineficiente. Con más generalidad, según lo demostrado por Ahn et al., una DMU se caracteriza como ineficiente en uno de estos modelos si y solo si es caracterizada como ineficiente por el otro modelo también (Ahn et al., 1988). Las diferencias resultantes en los indicadores de eficiencia y en las proyecciones, simplemente reflejan las diferentes métricas usadas en ambos modelos.

Modelo BCC con orientación de salida

La diferencia esencial respecto al modelo con orientación de entrada es que el problema de programación lineal en este caso maximiza un parámetro Φ para lograr un aumento proporcional de las salidas. Este planteamiento queda reflejado en la formulación de los problemas de programación lineal definitorios del problema, en los siguientes términos:

a) Modelo primal BCC con orientación de salida

$$\max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \phi + \varepsilon \mathbf{1}^T s^+ + \varepsilon \mathbf{1}^T s^-$$

$$\begin{aligned}
\text{s.a.} \quad & \phi Y_0 - Y\lambda + s^+ = 0 \\
& X\lambda + s^- = X_0 \\
& \vec{1}\lambda = 1 \\
& \lambda, s^+, s^- \geq 0
\end{aligned}$$

b) Modelo dual BCC con orientación de salida

$$\begin{aligned}
\min_{\mu, \nu, v_0} \quad & q_0 = \nu^T X_0 + v_0 \\
\text{s.a.} \quad & \mu^T Y_0 = 1 \\
& -\mu^T Y + \nu^T X + v_0 \vec{1} \geq 0 \\
& \mu^T \geq \varepsilon \vec{1} \\
& \nu^T \geq \varepsilon \vec{1}
\end{aligned}$$

En el modelo con orientación de salida el foco de atención ya no se sitúa en la minimización de los recursos de entrada; por contra, el objetivo es maximizar la producción de salida, eso sí, sin exceder el nivel dado de recursos. En términos de la formulación presentada, este objetivo se concreta en obtener, a través del parámetro Φ^* , un incremento del valor de Y_0 tan grande como permitan las restricciones impuestas al problema de programación lineal.

Para obtener una interpretación más clara de la significación del problema, considérese la formulación del multiplicador (espacio dual). En este problema dual, el objetivo es encontrar un hiperplano de soporte (esto es, un hiperplano que yazca sobre o por encima de todas las DMUs) que minimice la distancia vertical desde el hiperplano hasta la DMU objeto de análisis. En esta interpretación, el parámetro n_0 viene a desempeñar el papel de ordenada en el origen.

De nuevo es muy importante enfatizar que el aumento de las salidas por sí mismo puede no ser suficiente para lograr la eficiencia. Un movimiento adicional hacia la superficie envolvente puede ser necesario, el cual se ve implementado a través de los valores positivos de las variables de holgura de entrada y/o salida.

Finalmente es preciso subrayar que mientras que las superficies envolventes para los modelos BCC-I y BCC-O son iguales, una DMU que resulte ineficiente se proyecta sobre puntos distintos para ambos modelos. Esto simplemente refleja la focalización en la orientación, esto es, si el énfasis se concentra en la reducción de las entradas o en el aumento de las salidas. La caracterización de la eficiencia

es, en cualquier caso, la misma: un valor óptimo de la función objetivo igual a 1 con todos los valores de las variables de holgura idénticamente iguales a cero. En particular, una DMU es caracterizada como eficiente en un modelo con orientación de salida, si y solo si, es caracterizada como eficiente por un modelo con orientación de entrada aplicado a los mismos datos.

IV. Modelo CCR

Debe su origen a Charnes, Cooper y Rhodes en 1978. Al igual que el modelo BCC admite orientaciones de entrada y de salida, y su formulación es muy parecida a la del referido modelo, según se presenta a continuación:

Modelo CCR con orientación de entrada

La formulación del par de problemas duales de programación lineal que definen el modelo es la siguiente:

a) Modelo primal CCR con orientación de entrada

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = \theta - \varepsilon \vec{1} s^+ - \varepsilon \vec{1} s^- \\ \text{s.a.} \quad & Y\lambda - s^+ = Y_0 \\ & \theta X_0 - X\lambda - s^- = 0 \\ & \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

b) Modelo dual CCR con orientación de entrada

$$\begin{aligned} \max_{\mu, \nu} \quad & w_0 = \mu^T Y_0 \\ \text{s.a.} \quad & \nu^T X_0 = 1 \\ & \mu^T Y - \nu^T X \leq 0 \\ & -\mu^T \leq -\varepsilon \vec{1} \\ & -\nu^T \leq -\varepsilon \vec{1} \end{aligned}$$

Se puede observar que la formulación es idéntica a la del modelo BCC, pero sin la aparición de la restricción de convexidad en la formulación del problema primal, ni de la variable u_0 en la formulación del problema dual.

La ausencia de la restricción de convexidad “estira” la región factible de envolvente convexa propia del modelo BCC a la envolvente cónica generada por las DMUs. El resultado es una reducción en el número de DMUs eficientes.

Es preciso enfatizar de nuevo que la reducción proporcional de las entradas puede por sí misma no ser suficiente para alcanzar la eficiencia. En particular, puede resultar necesario aumentar algunas salidas y decrementar algunas entradas al objeto de alcanzar la eficiencia.

Modelo CCR con orientación de salida

El aumento máximo de la salida se implementa a través de la variable f presentada con anterioridad, la cual se aplica al vector de salida Y_0 de la DMU que sea objeto de análisis. La formulación de los problemas de programación lineal que definen el modelo es la siguiente:

a) Modelo primal CCR con orientación de salida

$$\max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \phi + \varepsilon \vec{1} s^+ + \varepsilon \vec{1} s^-$$

$$\begin{aligned} \text{s.a.} \quad & \phi Y_0 - Y\lambda + s^+ = 0 \\ & X\lambda + s^- = X_0 \\ & \lambda, s^+, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

b) Modelo dual CCR con orientación de salida

$$\begin{aligned} \min_{\mu, v, v_0} q_0 &= v^T X_0 \\ \text{s.a.} \quad & \mu^T Y_0 = 1 \\ & -\mu^T Y + v^T X \geq 0 \\ & \mu^T \geq \varepsilon \vec{1} \\ & v^T \geq \varepsilon \vec{1} \end{aligned}$$

Para la interpretación del modelo, vamos a fijarnos en el problema dual. Se puede observar que la formulación es la misma que en el modelo BCC con orientación de salida, pero con la supresión de la variable n_0 . Dicha variable representaba la ordenada en el origen. Por tanto, para este nuevo modelo, al ser esta variable idénticamente igual a cero, se requiere para todos los hiperplanos de soporte, que pasen por el origen. Esto, arroja un valor de la frontera de eficiencia compuesto por el haz de rayos $\{\alpha (X_2, Y_2) \mid \alpha \geq 0\}$.

Para facilitar el análisis de los diferentes modelos, en el desarrollo anterior se ha empleado la formulación en el modo de par de problemas duales de programación lineal. No obstante, los modelos CCR y BBC se desarrollaron en un principio según una formulación fraccionaria o en forma de “ratio”, y posteriormente se derivó en la formulación en la forma de par de problemas duales de programación lineal.

Estas formulaciones iniciales en forma fraccionaria tienen un gran contenido intuitivo, pues son muy similares a las que habitualmente se utilizan en ingeniería para la medida de la eficiencia, realizando en este caso una extensión del campo bidimensional (una sola entrada y una sola salida) al campo multidimensional.

A continuación se presenta este tipo de formulación para los dos modelos ya aludidos:

Formulación fraccionaria CCR

La característica esencial del modelo es la reducción de la situación de múltiples entradas y múltiples salidas, para cada DMU, a una situación de una sola entrada y de una sola salida “virtuales”. Para cada DMU el cociente entre esta salida y esta entrada virtuales arroja una medida de eficiencia que es una función de los multiplicadores empleados en la formulación. Este cociente, el cual se pretende maximizar, constituye la función objetivo para la DMU₀ que sea objeto de evaluación. Así pues, el problema se puede plantear en los siguientes términos:

$$\max_{u,v} h_0(u,v) = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

Evidentemente, sin ninguna restricción adicional, la solución a esta ecuación es no acotada. El conjunto de restricciones adicionales (una por cada DMU) refleja la condición de que el cociente de la salida virtual respecto a la entrada virtual para cada una de las DMUs consideradas debe ser menor o igual a la unidad.

En estas condiciones la formulación del problema CCR con orientación de entrada en la forma fraccionaria es la siguiente:

$$\max_{u,v} h_0(u,v) = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj}}{\sum_i v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 0, 1, \dots, n$$

$$\frac{u_r}{\sum_i v_i x_{i0}} \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s$$

$$\frac{v_i}{\sum_i v_i x_{i0}} \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m$$

Esta formulación arroja un número infinito de soluciones, pues dado el vector (u, v) que resulte óptimo, basta con multiplicar sus componentes por una constante positiva β para que el nuevo vector así obtenido también resulte óptimo. Se puede definir una relación de equivalencia que establezca una partición del conjunto de soluciones factibles en clases de equivalencia. La transformación desarrollada por Charnes y Cooper en 1962, para la programación lineal fraccionaria, selecciona una solución representativa (esto es, la solución (u, v) para la cual $v^T X_0 = 1$) de cada una de las clases de equivalencia, y tras realizar el cambio de variable

$$\left(\mu \equiv \frac{u^T}{v^T X_0} \quad ; \quad v \equiv \frac{v^T}{v^T X_0} \right)$$

se obtiene el problema equivalente de programación lineal siguiente (Charnes y Cooper, 1962):

$$\max_{\mu, v} w_0 = \sum_r \mu_r y_{r0}$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_i v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_r \mu_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\mu_r \geq \varepsilon$$

$$v_i \geq \varepsilon$$

cuyo problema dual asociado es el que se presentó como formulación del problema primal para el modelo CCR con orientación de entrada en la forma de par de problemas duales de programación lineal.

Para el caso de la orientación de salida, basta considerar el cociente de la magnitud virtual de entrada entre la magnitud virtual de salida y se tiene:

$$\begin{aligned} \min_{u,v} \quad & \frac{v^T X_0}{\mu^T Y_0} \\ \text{s.a.} \quad & \frac{v^T X_j}{\mu^T Y_j} \geq 1 \quad j=1, \dots, n \\ & \frac{u}{\mu^T Y_0} \geq \varepsilon \vec{1} \\ & \frac{v}{\mu^T Y_0} \geq \varepsilon \vec{1} \end{aligned}$$

De nuevo, si se aplicase la transformación de Charnes y Cooper se obtendría el par de problemas duales de programación lineal que definen el modelo para la formulación expandida.

Formulación fraccionaria BCC

La formulación fraccionaria BCC solo difiere de la formulación fraccionaria CCR en la adición de una variable $\bar{u}_0$ en el modelo con orientación de entrada, y de una variable $\bar{v}_0$ en el modelo con orientación de salida.

Si a las fórmulas así obtenidas, se les aplica la transformación de Charnes y Cooper, se obtienen las ya conocidas formulaciones que describen el modelo como par de problemas duales de programación lineal.

B. 4. Resumen de las características de los modelos. Aplicabilidad

A continuación se describen las principales características diferenciales de los distintos modelos básicos presentados hasta ahora, reseñando que las principales diferencias se centran en las diferentes concepciones geométricas de los mismos. Para resaltar este hecho, bastaría con resaltar que, incluso dentro de un mismo modelo, se pueden obtener resultados diferentes simplemente con escoger orientaciones diferentes.

Las elecciones cruciales para los modelos básicos examinados son la superficie envolvente y el camino de proyección sobre la superficie envolvente de las DMU ineficientes. Esencialmente un analista debe escoger entre la superficie a intervalos con retornos de escala constantes, propia del modelo CCR, y la superficie a intervalos con retornos de escala variables, ofrecida por los modelos BCC

o aditivo. Para una superficie dada, la segunda elección es el camino de proyección sobre un punto de la frontera eficiente. Para los modelos CCR y BCC este problema se reduce a la elección entre una orientación de entrada o una de salida.

En cualquier caso, si existen posibilidades de producción con retornos de escala variables, las opciones son tres: una métrica radial con orientación de salida o una con orientación de entrada para el modelo BCC, o la métrica ya descrita L1 para el modelo aditivo. Como ya se ha descrito con anterioridad, la superficie envolvente es la misma para cualquiera de las tres opciones; no obstante, el punto de comparación (proyección sobre la frontera eficiente) para una DMU ineficiente es diferente para los tres modelos.

Es muy importante igualmente resaltar que un parámetro esencial en la selección del modelo es el tipo de propiedades de los retornos de escala asociados a los diferentes tipos de modelos (Banker, 1984). Como ya se ha indicado con anterioridad, las restricciones en los retornos de escala pueden interpretarse en términos equivalentes a restricciones en los hiperplanos de soporte. Así, para las superficies envolventes a intervalos, la no imposición de restricciones equivale a retornos de escala constantes, y todos los hiperplanos soporte han de pasar por el origen. Por contra, la restricción de convexidad admite retornos de escala variables, y los hiperplanos soporte no se ven obligados a pasar por el origen.

La invarianza de unidades de los valores de la función objetivo, propia de los modelos BCC y CCR, es una consecuencia de las propiedades teóricas del infinitésimo ϵ . En principio el producto de dicho infinitésimo por la suma de las variables de holgura no depende de las unidades de medida, ya que el propósito de este término en la función objetivo es distinguir entre DMUs eficientes y no eficientes. No obstante, pueden aparecer dificultades numéricas en los cálculos, al escoger un número arbitrariamente pequeño como valor del infinitésimo. Una implementación correcta del algoritmo requiere una aproximación en dos etapas.

B.5. Extensión a los modelos básicos

La flexibilidad de los modelos básicos puede ser considerablemente aumentada mediante la adición de una serie de consideraciones a sus formulaciones primitivas. Estas extensiones sobre la teoría básica permiten focalizar el análisis al objeto de potenciar elementos tales como factores organizativos y gerenciales, estimaciones precisas de eficiencia y/o superación de ciertas dificultades.

Los principales elementos que permiten la resolución de un gran número de problemas reales, por medio de la modificación de alguno de los cuatro modelos básicos, se presentan a continuación:

Consideración de entradas y de salidas de control externo

Las formulaciones de los modelos básicos consideraban que todas las entradas y salidas eran discrecionales, esto es, controladas por la gerencia de cada DMU y variadas a su discreción. Así, la incapacidad de una DMU de producir máximos niveles de salida con mínimos consumos de las entradas resulta en un decrecimiento del indicador de eficiencia. No obstante, en las situaciones reales, pueden existir entradas y salidas exógenas que escapan al control de la gerencia de la DMU considerada.

Ejemplos de esta situación, extractados de la bibliografía desarrollada al hilo de la técnica de análisis por envoltura de datos (DEA), pueden incluir elementos tales como nevadas o factores climáticos en la evaluación de la eficiencia de patrullas de mantenimiento de carreteras (Cook, Kazakov et al., 1996), características topográficas en el análisis de granjas (Thompson, Dharmapala et al., 1996), tasas de desempleo local en las listas de reclutamiento militares, edad de las instalaciones y servicios de diferentes universidades objeto de estudio (Knox Lovell, Walter y Wood., 1996), etc.

La clave para un tratamiento matemático adecuado de las variables no discrecionales reside en determinar hasta qué punto la información concerniente a dichas variables puede ser reducida de modo que dicho recorte no resulte significativo para su consideración por parte de la gerencia de la DMU objeto de estudio.

A continuación se presenta la metodología que permite incorporar matemáticamente la consideración de este factor en la formulación de los modelos básicos. Así, se va a utilizar para el desarrollo la formulación relativa al modelo aditivo, pero esta extensión se puede implementar en términos similares para cualquiera de los otros tres modelos básicos presentados con anterioridad.

En estas condiciones, supongamos que se puede establecer una partición en los dominios de las variables de entrada y de salida, de modo que queden divididos en subconjuntos de variables discrecionales (D) y no discrecionales (N), a saber:

- Dominio de variables de entrada:

$$I=\{1, 2, \dots, n\}=I_D \cup I_N ; I_D \cap I_N = \emptyset$$

- Dominio de variables de salida:

$$O = \{1, 2, \dots, s\} = O_D \cup O_N; O_D \cap O_N = \emptyset$$

Con ello, la formulación básica del modelo aditivo, introduciendo las variables no discrecionales, viene dada por:

$$\begin{aligned} \min_{\lambda_j, s_r^+, s_i^-} & \left(\sum_{r \in O_D} s_r^+ + \sum_{i \in I_D} s_i^- \right) \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, \dots, s \\ & - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = -x_{io} \quad i = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \\ & s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

donde los conjuntos de subíndices $r \in O_D$ e $i \in I_D$ están restringidos a las entradas y salidas discrecionales.

Esencialmente lo que se hace es omitir los excesos de entrada no discrecionales y las holguras de salida (todas aquellas variables que pertenezcan a I_N y O_N) en la función objetivo a la hora de evaluar las medidas de eficiencia, ya que están más allá del control de la gerencia de la DMU considerada. No obstante, estas variables se incorporan en las restricciones y, por tanto, su presencia es tenida en consideración en la forma de intervención en el proceso de elección de las DMUs de referencia para las cuales las eficiencias relativas máximas están aseguradas.

En el caso de los modelos con orientación de salida y de entrada CCR y BCC, el tratamiento de las variables de entrada y de salida no discrecionales es similar. En particular, para el caso de una orientación de entrada, el hecho relevante no es maximizar el decremento proporcional para el vector completo de las entradas. Por contra, dicha maximización (que en la práctica se plasma en el mínimo valor de θ) debe ser planteada únicamente para el subvector compuesto por las entradas discrecionales.

Así por ejemplo, la formulación para el modelo BCC con orientación de entrada con variables no discrecionales viene dada por:

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda_j, s_r^+, s_i^-} \theta - \varepsilon \left(\sum_{r \in O_D} s_r^+ + \sum_{i \in I_D} s_i^- \right) \\
 \text{s.a.} \quad & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, \dots, s \\
 & \theta x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^+ = 0 \quad i \in I_D \\
 & - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = -x_{io} \quad i \notin I_D \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
 & s_r^+ \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \\
 & s_i^- \geq 0, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

Es interesante remarcar que el valor de θ objeto de minimización aparece solo en las restricciones para las que $i \in I_D$, mientras que las restricciones para las que $i \notin I_D$ operan solo indirectamente (como debe ser) para los niveles de entrada x_{io} que escapan del control gerencial.

Evaluación de supereficiencia

El concepto de “supereficiencia” fue introducido por Andersen y Petersen en 1993. Para su desarrollo, se puede escoger cualquiera de los modelos presentados hasta este punto que utilicen una métrica radial, por ejemplo el BCC-I.

Tomando como base dicho modelo BCC-I como hilo conductor para la introducción del concepto de “supereficiencia”, una unidad ineficiente se caracterizaba según dicho modelo por arrojar un valor del parámetro de minimización (θ) en la función objetivo menor que 1, lo cual significa que una combinación lineal de otras unidades de la muestra podría producir el mismo vector de salidas, usando valores menores para el vector de entradas. Paralelamente, se identificaba el valor de este parámetro con el decremento proporcional que era preciso aplicar al vector de entradas para aproximar a las DMUs ineficientes a la frontera de eficiencia, y en consecuencia dicho parámetro ofrece un criterio de gradación para dichas DMUs (cuando más próximo sea el valor a uno, menor es el decremento que es preciso

aplicar, y en consecuencia, menor es el grado de ineficiencia). Finalmente, el modelo tradicional produce un valor $\theta = 1$ para todas las DMUs eficientes, con lo cual no existe una gradación que ordene jerárquicamente estas DMUs en términos de eficiencia.

La construcción del indicador de supereficiencia propuesto por Andersen y Petersen se basa esencialmente en establecer una comparación entre la DMU objeto de evaluación con una combinación lineal de todas las otras unidades de la muestra, es decir, la propia DMU objeto de evaluación se excluye del proceso.

En cualquier caso es plausible considerar que una DMU eficiente pueda incrementar su vector de entradas proporcionalmente, mientras que sigue conservando la eficiencia. En estas condiciones, la unidad objeto de evaluación obtiene un valor $\theta > 1$. Este valor refleja la distancia radial de la DMU a la frontera de producción estimada, con dicha DMU excluida de la muestra, es decir, el máximo incremento proporcional en las entradas para el cual se preserva la condición de eficiencia. Así, bajo esta óptica es posible obtener una gradación en términos de eficiencia para las DMUs eficientes, al igual que en el caso de las DMUs ineficientes.

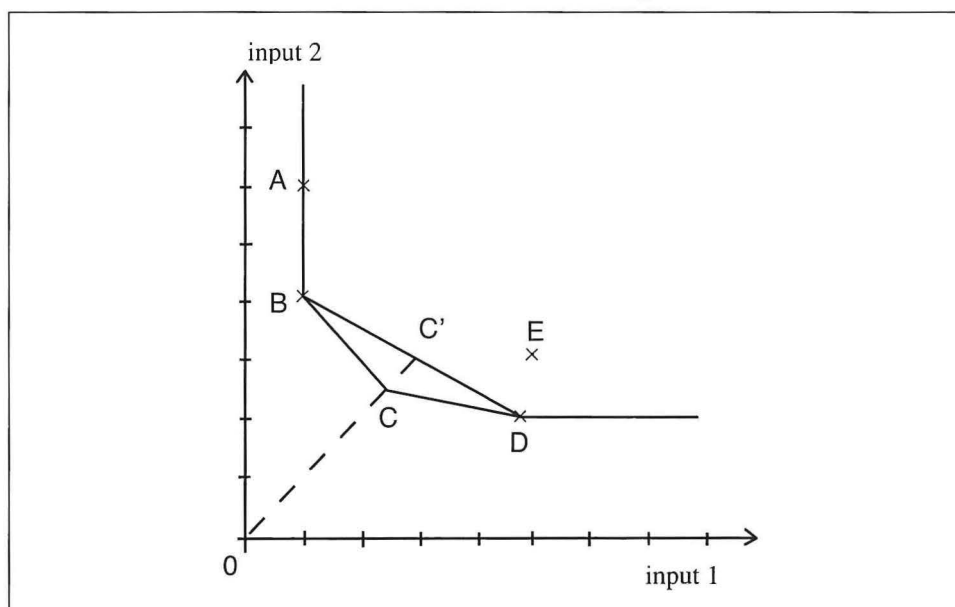
La formulación del modelo es idéntica a la del BCC-I, con la salvedad de excluir la unidad objeto de evaluación del conjunto de referencia, a saber:

$$\begin{aligned}
 \min_{\theta, \lambda, s^+, s^-} \quad & z_0 = \theta - \varepsilon \vec{1} s^+ - \varepsilon \vec{1} s^- \\
 \text{s.a.} \quad & Y\lambda - s^+ = Y_0 \quad \forall Y \neq Y_0 \\
 & \theta X_0 - X\lambda - s^- = 0 \quad \forall X \neq X_0 \\
 & \vec{1} \lambda = 1 \\
 & \lambda, s^+, s^- \geq 0
 \end{aligned}$$

Las consecuencias de excluir la DMU bajo evaluación de la muestra de referencia pueden deducirse de un modo más intuitivo partiendo de una concepción gráfica. Para ello considérese la figura siguiente en la que se presenta un nivel de salida unitario para unos determinados valores de dos entradas diferentes que genéricamente se van a denominar “input 1” e “input 2”. Es decir, la tabla de valores a la que respondería la situación de la figura sería la siguiente:

	DMU				
	A	B	C	D	E
input 1	2,0	2,0	5,0	10,0	10,0
input 2	12,0	8,0	5,0	4,0	6,0
output 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Figura B.1
Gráfico ilustrativo del concepto de “supereficiencia”



El tramo que representa el subconjunto de combinaciones lineales que marcan la eficiencia viene dado por los segmentos BC y CD. No obstante, los puntos de referencia a la hora de evaluar la eficiencia en el modelo tradicional BCC y en el modelo de Andersen y Petersen difieren. Considérese para ello en primer lugar una evaluación de eficiencia para la unidad DMU denotada por A.

Esta DMU es claramente ineficiente con una variable de holgura igual a 2 para la entrada designada por “input 2” en comparación con la DMU denotada por B.

La eliminación de una observación ineficiente no afecta a la disposición del conjunto de puntos de referencia. Como consecuencia, los modelos BCC-I tradicional y el de Andersen y Petersen arrojan el mismo punto de referencia, B, y el índice de eficiencia es la unidad menos el “slack” en la entrada “input 2” ponderado por el infinitésimo ϵ en ambos casos.

Considérese ahora la evaluación de la DMU eficiente denotada como C. De acuerdo con el modelo BCC-I tradicional, el punto de referencia en la evaluación de la unidad C es ella misma, y a esta DMU se le asigna el índice igual a 1. La eliminación de C en el conjunto de referencia implica que C es comparado con el punto ineficiente C' (de coordenadas (6,6)) que yace sobre la frontera delimitada por el resto de observaciones (A,B,D y E)) determinado según una métrica que minimice la distancia a C. En estas condiciones a la DMU C se le asigna un índice de valor 1,2 el cual indica que C puede incrementar su vector de entradas hasta un factor de proporcionalidad de 1,2 y seguir permaneciendo eficiente, pero que será dominado por una combinación lineal de las DMUs B y D si dicho incremento proporcional de las entradas excede el valor 1,2.

Siguiendo un razonamiento análogo, se puede observar que las DMUs B y D pueden incrementar sus vectores de entrada en unas proporciones de 1,316 y 1,250 respectivamente; subsecuentemente se puede inferir que B estaría dominada por una combinación lineal de A y C y D está dominada por C.

Finalmente, considérese una evaluación de la DMU ineficiente denotada por E. Al igual que sucedía en el caso de la DMU A, la eliminación de una observación ineficiente no afecta al conjunto de referencia; en estas condiciones, a E se le asigna un índice de valor 0,833 tanto en el modelo BCC-I como en el de Andersen y Petersen.

En estas condiciones, el índice introducido por Andersen y Petersen, conduce a una gradación jerárquica de las DMUs en orden de eficiencia que vendría dada por: $B > D > C > A > E$.

APÉNDICE C. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACGIH (Ed.). *Threshold limit values and biological exposure indices for 1998-1999*. Cincinnati , Ohio: 1998
- AFIFI A.A. AND CLARK V. *Computer aided multivariate analysis* .New York: Chapman and Hall, 1996
- AHN, T. ET AL. "Some statistical and DEA evaluations of relative efficiencies of public and private institutions of Higher Learning". *Socio-Economic Planning Sciences*, 1988, 22 (6)
- AISS (Ed.). *Audits de sécurité*. Heidelberg: 1993
- ALBESA, A. y MONTOLIÚ, A. *Seguridad e Higiene y Calidad Total*. Barcelona: ENHER, 1992.
- ANDERSEN P., PETERSEN, N.C. "A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, 1993, 39 (10)
- BANKER, R.D. "Estimating most productive scale size using Data Envelopment Analysis". *European Journal of Operational Research*, 1984, 17(1)
- BESTRATÉN, M., MARRÓN VIDAL, M.A. *Gestión de la prevención de riesgos laborales en la pequeña y mediana empresa*. Barcelona: INSHT, 2005.
- BESTRATÉN, M., NOGAREDA, C. *Evaluación de las condiciones de trabajo en pequeñas y medianas empresas*. Madrid: INSHT, 1994.
- BIRD, F.E., GERMAIN, G.L. *Liderazgo práctico en el control de pérdidas*. Longanville, Georgia: Institute Publishing, 1990.
- BIRD, F.E., GERMAIN, G.L. *Practical loss control leadership*. Longanville (Georgia): International Loss Control Institute, 1986

- BORMANS, J. "Couts et benefices". *Promosafe*, 1997, 24
- BUENO, J.M. "Soporte didáctico Planificación Estratégica". Programa de Doctorado "Organización Industrial". Universidad de Sevilla, 1997.
- BUTEL, M. ET AL. "Projet qualité: soigner la demarché". *Travail Changement*, 1998, 238
- CARAZO, J.A. "Los grupos y equipos de iniciativa y mejora en RENFE como elementos de calidad total". *Capital Humano*, 1998 (108)
- CARROLL, J.B. "An analytic solution for approximating simple structure in factor analysis". *Psychometrika*, 1953, 18, (23-38).
- CASTEJÓN, E. "Calidad y seguridad: ¿dos caras de la misma moneda?" *Archivos para la Prevención de Riesgos Laborales*. 1999, 2(3): 125-133
- CASTELLÁ, J.L. *La seguridad en el trabajo y la seguridad en el producto*. Madrid: INSHT, 1992
- CHAMBERS, P.G. "The use of a database structure to help manager safety and environmental actions". *Safety and Health Practitioner*, 1998, 16, (3)
- CHARNES A., COOPER, W.W. "Programming with linear fractional functionals". *Naval Research Logistics Quarterly*, 1962, 9(3/4)
- CHARNES A., COOPER, W.W. ET AL. *Data envelopment analysis: theory, methodology, and application*. Norwell, MA (USA): Kluwer Academic Publishers, 1996.
- CHARNES, A. ZLOBEC, S. "Stability of Efficiency Evaluations in Data Envelopment Analysis". *Zeitschrift für Operations Research*, 1989, 33 (3)
- CHOUCHAN, D. "Un nouveau regard des PME-PMI sur les risques professionnels". *Travail et Sécurité*, 1998, 570
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (Ed.) *Directrices para la evaluación de riesgos en el lugar de trabajo*. Luxemburgo: 1996
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (Ed.). *Fichas Internacionales de Seguridad Química*. Luxemburgo: 2000
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (Ed.) *La formación en seguridad y salud en el lugar de trabajo*. Luxemburgo: 1992.

- COOK, W.D., KAZAKOV, A. ET AL. "On the measurement and monitoring of relative efficiency of highway maintenance patrols". En CHARNES A., COOPER, W.W. ET AL. *Data envelopment analysis: theory, methodology, and application*. Norwell, MA (USA): Kluwer Academic Publishers, 1996.
- CRU, D. , GAU, E. "Les évolutions de la prévention". *Travail Changement*, 1997, 227
- CUSSO, F. "Desarrollo de la seguridad como componente básico en la gestión empresarial". *COASHIQ Bull.*, 1997, 140
- DAVIS, S. *Futuro Perfecto*. Madrid: Folio, 1988.
- DE CRAECKER, W. "La gestion des risques: un processus permanent". *Trav. Bien-être*, 1998, 3-4
- DEACON, S. "The value of health and safety to a successfull business". *Health and Safety Bulletin*, 1998, 272
- DUNTEMAN, C.H. *Principal components analysis*. Sage, Newbury Park, CA: Sage University Papers, 1989
- DYJACK, D.T. ET AL. "Comparison of AIHA ISO 9001 based occupational health and management system guidance document with a manufacturer's occupational health and safety assessment instrument". *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1998, 59 (6)
- ELSIGAN, G. , SAKSVIK, O. "Internal Control". *Sichere Arbeit*, 1998, (1)
- ENSIDESA (Ed.) *Plan de emergencia de factoría*. Avilés: 1992
- ENSIDESA (Ed.) *Proyecto CECA 7249/14/077. "Desarrollo de un programa informático para el conocimiento y tratamiento de los factores ergonómicos en los puestos de trabajo siderúrgicos"*. Avilés: 1992
- EUROPEAN FOUNDATION FOR THE IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING CONDITIONS (Ed.). *New forms of work organisation: can Europe realise its potential ? : results of a survey of direct employee participation in Europe*. Dublin: 1997
- EUROPEAN FOUNDATION FOR THE IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING CONDITIONS (Ed.). *The costs and benefits of Occupational Safety and Health*. Dublin: 1998
- FERNÁNDEZ, J.G. *Fundamentos de Higiene Industrial moderna*. Oviedo: MADIN, 1990

- FINDLAY, J.V., KUHLMAN, R.L. *Leadership in safety*. Longanville (Georgia): International Loss Control Institute, 1980
- FLANZ, J., SCHECKER, H.G. "Categorization and combination of safety – related data for quantitative risk assessments in screening methods". *Safety Science*, 1999, 31, (1)
- GIL, A. "Metodología para la evaluación económica de los accidentes de trabajo". *Prevención, Trabajo y Salud*. 2000, 7
- GIOVANNI, R. DE, LINQUIER, N. "Réussir la modernisation des PME". *Travail Changement*, 1997, 225
- GOODMAN, G.R. "Group decision – making for occupational safety risk assessment". *Professional Safety*, 1998, 43 (5)
- GRIFELL-TATJÉ, E. AND LOVELL, C.A.K. "Profits and productivity". *Management Science*. 1999, 45 (9).
- GUÉLAUD, F. ET AL. "Para un análisis de las condiciones del trabajo obrero en la empresa. Método LEST". Aix-en-Provence: Laboratoire d'Économie et de Sociologie du Travail, 1975
- HANSEN, M.D., GROTEWOLD, H.W., ET AL. "Dollars and sense: using financial principles in the safety profession". *Professional Safety*. June 1997: 36-40
- HEINRICH, H.W., PETERSON, D. ET AL. *Industrial accident prevention*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980
- HOTELLING, H. "The generalization of Student's ratio". *Annals of Mathematical Statistics*, 1931, 2, (360-378)
- HSE (Ed.). *Successfull Health and Safety Management*. London: 1994.
- HSE. Accident Prevention Advisory Unit (Ed.). *The management of health and safety*. London: 1988
- IESE (Ed.). "Cuestionario para la evaluación del nivel de implantación de la gestión de la calidad total (CGT)". *Nota Técnica de la División de Investigación del IESE ref. 0-692-027, PN-298, rev. 2/95*. Barcelona: 1995
- IESE (Ed.). División de Investigación. *Los círculos de calidad: ¿panacea o caja de Pandora?*. Barcelona:, 1987.

- INRS (Ed.). *Prévention des risques professionnels en France. Structures et fonctionnement*. Paris: 1996.
- INSHT (Ed.). *Evaluación de riesgos laborales*. Madrid: 1996.
- INSHT (Ed.). *Guía Técnica para la selección y utilización de los equipos de protección individual*. Madrid: 1999
- INSHT (Ed.). *Métodos de toma de muestra y análisis*. Madrid: 1987-1996.
- ISHIKAWA, K. *Quality Control for the Foreman*. Tokio: JUSE, 1963.
- ITG (Ed.). *Proyecto "Qualyman". Memoria Técnica*. La Coruña: 1998.
- KAISER, H.F. "The varimax criterion for analitic rotation in factor analysis". *Psychometrika*, 1958, 23, (187-200).
- KAISER, H.F. *Comments on communalities and the number of factors*. St. Louis: Washington University, 1960
- KENDALL, M.G. *A course in multivariate analysis*. New York: Hafner, 1957
- KINNEAR, T. *Investigación de mercados*. México D.F.: Mc-Graw Hill Publishing Co., 1996
- KNOX LOVELL, C.A., WALTERS, L.C., WOOD, L.L. "Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis". En CHARNES A., COOPER, W.W. ET AL. *Data envelopment analysis: theory, methodology, and application*. Norwell, MA (USA): Kluwer Academic Publishers, 1996.
- KNOX, B. "Target zero". *Safety and Health Practitioner*, 2000, 18, (8)
- KRÜGER, W. ET AL. *Cost – benefit analysis of health promotion measures*. Dortmund: BAA , 1998
- KUPI, E., SUMELAHTI, J., ET AL. *Working Environment in the Service Sector. How to Evaluate the Profitability of Improvements*. Tampere, Finland: Ministry of Social Affairs and Health. Department for Occupational Safety and Health, 1997
- LARRAÑETA, J. *Programación lineal y grafos*. Sevilla: Servicio de publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1987
- LEX NOVA (Ed.). *Compendio de disposiciones comunitarias y de normativa nacional de Seguridad y Salud Laboral*. Valladolid: 2001
- LLACUNA, J. ET AL. *Técnicas educativas*. Madrid: INSHT, 1989

- LLACUNA, J., RODRÍGUEZ, J.F. *Apuntes sobre planificación de la enseñanza del adulto*. Madrid: INSHT, 1991
- MALEKI, H., ZAHL, E.G. ET AL. *A hybrid statistical-analytical method for assessing violent failure in U.S. coal mines*. Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1999
- MÉNDEZ, A. "Gestión eficaz del capital humano". *Expansión & Empleo*. Noviembre 2000.
- MIKHEEV, M.I. "Occupational health and safety in small enterprises". *International Archives for Occupational Environment and Health*, 1998, 71 (Suppl.)
- MINTZBERG, H. *La estructuración de las organizaciones*. Barcelona: Ariel, 1991
- NAROCKI, C. "La prevención de riesgos laborales en las pequeñas y medianas empresas españolas". *Cuadernos de Relaciones Laborales*, 1997, 10
- NIOSH (Ed.). *Safety and Health Resource Guide for Small Business*. Ohio: 2000
- NORMAN, N. & STOKER, B. *Data envelopment analysis. The assessment of performance*. West Sussex. England: John Willey and Sons, 1991.
- ORMAZÁBAL, L.A. "Gestión integrada de la prevención (GIP) en las PYMES. Experiencias en España". *Prevención*, 1997, 142
- OSHA (Ed.). *OSHA Handbook for Small Business*. Washington: 1996
- OUCHI, W. *Los Círculos de Calidad y Productividad*. Barcelona: ODE Gestión de Planificación Integral S.A, 1982.
- PALOM, F.J. *Círculos de Calidad. Teoría y Práctica*. Barcelona: Marcombo, 1991.
- PASMAN, H.J. "Risk informed resource allocation policy: safety can save costs". *Journal of Hazardous Materials*, 2000, 71 (1-3)
- PIRINGER, R., WITTIG, K. "Safety – check". *Sichere Arbeit*, 2000, 3
- POLA, A. *Gestión de la Calidad*. Barcelona: Marcombo, 1988.
- PORTILLO GARCÍA-PINTOS, J. "Selección y utilización de los E.P.I.". Actas del XIV Congreso Mundial de Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid: 1996
- PORTILLO GARCÍA-PINTOS, J. Documentación del curso "Seguridad Industrial y Seguridad de los Productos". Centro Nacional de Medios de Protección, Sevilla: 2000

- PORTILLO GARCÍA-PINTOS, J. *Guías Orientativas para la selección y utilización de los equipos de protección individual* (8 documentos). Madrid: INSHT, 1998-2001
- PORTILLO GARCÍA-PINTOS, J, GÓMEZ P. ET AL. *Propuesta de manual de auto-protección para la sede de la Tesorería General de la Seguridad Social de Sevilla*. Informe inédito. Centro Nacional de Medios de Protección. Sevilla: 1999
- PORTILLO GARCÍA-PINTOS, J. "Integration of PPE's in type Z management models under total quality criteria. Technical and legal tools for its implementation". Conferencia pronunciada en el 4th Seminar on PPE. Kittilä. Finlandia. Diciembre 1997.
- PORTILLO SOSA, J. "Concepción y desarrollo de la Higiene Industrial en el seno de la empresa". Conferencia pronunciada en la XXI Asamblea de la Comisión de Seguridad en la Industria Siderometalúrgica (CSIS). Zaragoza: 1983
- PORTILLO SOSA, J. "Impacto de la acción comunitaria en relación a las contratas y subcontratas". Conferencia pronunciada en Museba-Ibesvico. Madrid: 1992
- PORTILLO SOSA, J. Problemas de competitividad en las PYMEs: aporte de estrategias y soluciones. En Cursos de verano UIMP. Santander, 1994.
- QUINN, M.M. ET AL. "Sustainable production: a proposal strategy for the work environment". *American Journal of Industrial Medicine*, 1998, 34 (4)
- REDINGER, C.F. , LEVINE, S.P. "Development and evaluation of the Michigan Occupational Health and Safety Management System assessment instrument: a universal OHSMS performance measurement tool". *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1998, 59 (8)
- RHODES, E. *Data Envelopment Analysis and Approaches for Measuring the Efficiency of Decision-making Units with an application to Program Follow-through in U.S. Education*. Pittsburgh, PA: Ph. D. dissertation. School of Urban & Public Affairs, Carnegie Mellow University, 1978
- RIBERA, J. "El modelo europeo de Gestión de Calidad Total – EQA". Notas del Seminario: "El modelo Europeo de Gestión de Calidad Total". Instituto Internacional San Telmo (IIST), Sevilla: 1996.
- RNUR (Ed.). *Les profils de postes. Méthode d'analyse des conditions du travail*. Paris: 1976.

- RODRÍGUEZ, A. *La investigación de accidentes por el método del árbol de causas*. Madrid: INSHT, 1998.
- RUIZ, M. y MANDADO, E. *La innovación tecnológica y su gestión*. Barcelona: Marcombo, 1988.
- SALIDO, M.J. "Nivel de "salud" y calidad de la empresa: autoevaluación simplificada según el modelo EFQM". *Nota Técnica de Prevención número 497*. Madrid: INSHT, 1998.
- SÁNCHEZ, L. "Líderes en la encrucijada". *Nuevo Trabajo*. Septiembre 2000.
- SANZ, M. "Estrecha vinculación recíproca entre calidad y la prevención de riesgos laborales". *Revista UNE*, 2000, 140.
- SCHEEL, H. *Efficiency Measurement System (EMS) v. 1.2. Documentation*. Dortmund: Universidad de Dortmund, 1999.
- SMITH, A. ET AL. "A research method for assessing industrial accidents". Paper presented at the annual convention of Human Factors Society, 1992.
- STALK, G. Y HOUT, T. *Compitiendo contra el Tiempo. La nueva fuente de ventaja competitiva*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Dirección, 1991.
- STSC Inc. (Ed.). *Statgraphics. Statistical graphics system by statistitcal graphics corporation. User's guide*. New York: 1987
- TAGGART, M.D., CARTER, SR. H. "Assessment Matrices for Benchmarking EH&S Programs". *Professional Safety*. May 1999: 34-37
- THOMPSON, R., DHARMAPALA, P.S., THRALL, R.M. "Sensitivity analysis of efficiency measures with applications to Kansas farming and Illinois coal mining". En CHARNES A., COOPER W.W. ET AL. *Data envelopment analysis: theory, methodology, and application*. Norwell, MA (USA): Kluwer Academic Publishers, 1996.
- THURSTONE, L.L. *Multiple-factor analysis*. Chicago: University of Chicago Press, 1947
- UNE 81-900: 1996 (EX). *Servicios de prevención. Reglas generales para la implantación de un sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales (S.G.P.R.L.)*
- UNE 81-901: 1996 (EX). *Servicios de prevención. Reglas generales para la evaluación de los sistemas de gestión de la prevención de riesgos laborales (S.G.P.R.L.). Proceso de auditoría*.

WEINSTEIN, M.B. "Improving behavior based safety through TQM". *Professional Safety*, 1998, 43, (1)

WEISS, D. *La gestión de la función recursos humanos en la empresa*. Madrid: Instituto para las Ciencias de la Dirección, 1993.

"Integration of management systems". *Prevención Express*, 1999, 281

"Resultado de la reunión ISO sobre gestión de la seguridad". *Prevención Express*, 1996, 254: 1-3.

APÉNDICE D. LISTA DE ACRÓNIMOS

A continuación se incluye una lista con ordenación alfabética de los acrónimos de uso generalizado que se han utilizado en el presente trabajo. En ella no se incluyen los acrónimos formados por el autor para la denominación de las diferentes funciones y áreas temáticas analizadas en el mismo. Una explicación relativa a la formación de los mismos, y en consecuencia de su significado, puede encontrarse en el capítulo 3 del presente trabajo.

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AENOR	Asociación Española para la Normalización
AIHA	American Industrial Hygienists Association
AISS	Asociación Internacional de la Seguridad Social
AMFE	Análisis Modal de Fallos y sus Efectos
APA	Asociación para la Prevención de Accidentes
BCC	Banker, Charnes and Cooper
BCG	Boston Consulting Group
BOE	Boletín Oficial del Estado
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCR	Charnes, Cooper and Rodees
CECA	Comunidad Económica del Carbón y del Acero

CEE	Comunidad Económica Europea
CEOE	Confederación Española de Organizaciones Empresariales
CEPYME	Confederación Española de Pequeñas y Medianas Empresas
CGPME	Confédération Générale des Petites et Moyennes Entreprises
CIM	Computer Integrated Manufacturing
COASHIQ	Comisión Autónoma de Seguridad e Higiene de Industrias Químicas y Afines
CSIS	Comisión de Seguridad para la Industria Siderometalúrgica
DEA	Data Envelopment Analysis
DG	Dirección General
DMU	Decision Making Unit
DOCE	Diario Oficial de las Comunidades Europeas
DOG	Diario Oficial de Galicia
EFQM	European Foundation for Quality Management
EIBT	Empresas Innovadoras de Base Tecnológica
EN	European Norm
ENSGSI	Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels
EPI	Equipo de Protección Individual
EQA	European Quality Assurance
FSE	Fondo Social Europeo
GEMA	Gente, Equipos, Materiales y Medio Ambiente
GIP	Gestión Integrada de la Prevención
HAZOP	Hazard Operability
HSE	Health and Safety Executive
I+D	Investigación y Desarrollo
I+DT	Innovación y Desarrollo Tecnológico

INRS	Institut National de Recherché et de Sécurité
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
ISO	International Standardization Organization
JIT	Just in Time
LEST	Laboratoire de Economie et Sociologie du Travail
MRP	Materials Requirement Planning
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
O+RRHH	Organización y Recursos Humanos
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial para la Salud
OSHA	Occupational Safety and Health of America
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PEI	Plan de Emergencia Interior
PME-PMI	Petit et Moyennes Entreprises – Petit et Moyennes Industries
PPRL	Plan de Prevención de Riesgos Laborales
PRL	Prevención de Riesgos Laborales
PWHS	Perception of Workplace Hazards Scale
PYMAR	Pequeños y Medianos Astilleros en Reconversión
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
QFD	Quality Function Deployment
RD	Real Decreto
RNUR	Régie Nationale des Usines Renault
RTP	Residuos Tóxicos y Peligrosos
SGPRL	Sistema para la Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales
SIG	Sistema Integrado de Gestión

TIC	Tecnologías de la Información / Comunicación
TIR	Tasa Interna de Retorno
TQM	Total Quality Management
UNE	Una Norma Española
VAN	Valor Actual Neto



ET110



9 788474 257366



MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO