



Universidade da Coruña  
FACULTAD DE INFORMÁTICA  
Departamento de Computación

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN EL  
CONOCIMIENTO DE FILOSOFÍA HÍBRIDA. UNA  
APLICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO  
AMBIENTAL

DOCTORANDO: ANTONINO SANTOS DEL RIEGO  
DIRECTOR: ALEJANDRO C. PAZOS SIERRA  
A Coruña, Julio 1998



**Universidade da Coruña**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA**  
**Departamento de Computación**

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN EL  
CONOCIMIENTO DE FILOSOFÍA HÍBRIDA. UNA  
APLICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO  
AMBIENTAL**

**DOCTORANDO: ANTONINO SANTOS DEL RIEGO**

**DIRECTOR: ALEJANDRO C. PAZOS SIERRA**

**A Coruña, Julio 1998**

UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
FACULTAD DE INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN

TESIS DOCTORAL

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA BASADO EN EL CONOCIMIENTO DE FILOSOFÍA HÍBRIDA.  
UNA APLICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

**DOCTORANDO:** ANTONINO SANTOS DEL RIEGO  
**DIRECTOR:** ALEJANDRO C. PAZOS SIERRA  
A Coruña, Julio 1998

D. ALEJANDRO PAZOS SIERRA, Profesor Titular de la  
Universidade da Coruña.

HACE CONSTAR QUE: La memoria titulada  
“DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN EL  
CONOCIMIENTO DE FILOSOFÍA HÍBRIDA. UNA  
APLICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO  
AMBIENTAL” ha sido realizada por D. ANTONINO  
SANTOS DEL RIEGO, bajo mi dirección, en el  
Departamento de Computación de la Universidade da  
Coruña, y constituye la Tesis que presenta para optar al  
Grado de DOCTOR en Inteligencia Artificial y  
Computación de la UDC.

A Coruña, 20 de Enero de 1998

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Alejandro Pazos Sierra', written over a horizontal line.

Fdo.: Prof. Dr. D. Alejandro C. Pazos Sierra

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi agradecimiento al director de mi Tesis, profesor D. Alejandro Pazos Sierra, por la confianza depositada en mi.

A todos los miembros del Laboratorio de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos (RNASA-Lab) del Departamento de Computación de la Facultad de Informática de la Universidade da Coruña y especialmente al Gurrumito. También agradecer a los restantes miembros de los laboratorios de la Facultad de Informática de la Universidade da Coruña y en especial a Dafonte su ayuda, sobre todo en los peores momentos, cuando nada funciona y sólo queda apagar y volver a encender los equipos.

A los espeleólogos de Galicia por su apoyo emocional en los momentos más críticos.

Al personal de ENDESA -Ponferrada- y, en especial, al Director de la Central Térmica de Ponferrada D. José Eduardo Santos y a D. Tomás Santos por permitirme el acceso a una gran cantidad de bases de datos medioambientales y poder disponer del tiempo de varios de sus mejores expertos en evaluaciones.

A D. Domingo Gómez Orea y Jaime Aguado Abril por su ayuda en la recopilación de los datos necesarios para el sistema.

Al personal del Centro de Cálculo de la Facultad de Informática de la Universidade da Coruña (CECAFI) y del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) por sus consejos sobre "software" y "hardware" que posteriormente fueron utilizados en parte de este trabajo.

Al Profesor José Luis Freire Nistal, Decano de la Facultad de Informática de la UDC, por poner a mi disposición los equipos necesarios de la Facultad.

Agradecer a NORCONTROL y, en especial, al Director del Departamento de Medio Ambiente D. Fernando J. Solorzano Miranda y a M<sup>ra</sup>. Jesús Veleiro López su colaboración a la hora de estudiar el mundo de las Evaluaciones de Impacto Ambiental y aportar datos reales con los que se ha comprobado la eficiencia del sistema.

A D. José Ramón Villar, D. Álvaro Sánchez y a D. Alfonso López por su ayuda en temas de diseño e integración de las distintas herramientas informáticas usadas en este trabajo.

Finalmente, al Prof. Dr. D. Bernardino Arcay Varela, Profesor Titular de la Universidade da Coruña, por sus valiosos consejos a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

*A mi familia*

# ÍNDICE

---

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1.- LA IMPORTANCIA DE LA ECOLOGÍA</b>	<b>1</b>
<b>1.2.- PRESENTACIÓN DEL TRABAJO: OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>1.3.- RESUMEN</b>	<b>16</b>
<b>2.-ESTADO DE LA CUESTIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>19</b>
<b>2.1.- APROXIMACIONES AL PROBLEMA</b>	<b>19</b>
<b>2.2.- ASPECTOS GENERALES SOBRE LA INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS</b>	<b>23</b>
<b>2.3.- FUNDAMENTOS DE BASES DE DATOS</b>	<b>35</b>
<b>2.4.- FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS</b>	<b>37</b>
<b>2.5.- FUNDAMENTOS DE REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES</b>	<b>40</b>
<b>2.6.- FUNDAMENTOS DEL PROBLEMA A RESOLVER: LAS EVALUACIONES         DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>43</b>
2.6.1.- INTRODUCCIÓN	43
2.6.2.- DEFINICIÓN DE EIA	44
2.6.3.- PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE EIA	46
2.6.4.- INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL	47
2.6.5.- METODOLOGÍAS DE EIA	48
2.6.6.- PROYECTOS CON IMPACTOS PEQUEÑOS	50
2.6.7.- PROYECTOS CON GRANDES IMPACTOS	50
2.6.8.- MÉTODOS DE EIA	51

2.6.9.- MÉTODO DE LEOPOLD	54
2.6.10.- SISTEMA DE BATTELLE-COLLUMBUS	56
2.6.11.- SISTEMAS DE EVALUACIÓN POR COBERTURA O TRANSPARENCIAS	60
2.6.12.- MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN	61
2.6.13.- CONSIDERACIONES AMBIENTALES, DE SALUD Y ECOLOGÍA EN PROYECTOS DE DESARROLLO ECONÓMICO DEL BANCO MUNDIAL	63
2.6.14.- EL MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL. LAS "DECLARACIONES" O INFORMES DE IMPACTO AMBIENTAL	65
2.6.15.- SITUACIÓN ACTUAL DE LAS EIA EN ESPAÑA	71

### 3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: MÉTODO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN \_\_\_\_\_ 73

<b>3.1.- APROXIMACIÓN TÉCNICA A LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>73</b>
<b>3.2.- PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>73</b>
<b>3.3.- VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES</b>	<b>77</b>
<b>3.4.- CÁLCULO DEL EFECTO EN UNIDADES HETEROGÉNEAS</b>	<b>78</b>
<b>3.5.- VALORACIÓN DE IMPACTOS EN UNIDADES DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>78</b>
<b>3.6.- APLICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS</b>	<b>79</b>

### 4.- SOLUCIÓN PROPUESTA: METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA \_\_\_\_\_ 81

<b>4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO</b>	<b>81</b>
<b>4.2.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA BASE DE DATOS</b>	<b>84</b>

4.2.1.- DISEÑO CONCEPTUAL	86
4.2.2.- DISEÑO LÓGICO	89
4.2.3.- DISEÑO FÍSICO	90
<b>4.3.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO</b>	<b>91</b>
4.3.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	93
4.3.2.- EDUCCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS DE LOS EXPERTOS	96
4.3.3.- REPRESENTACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS	99
4.3.4.- SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DESARROLLO	100
4.3.5.- DESARROLLO DE PROTOTIPOS	101
4.3.6.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA COMPLETO	102
4.3.7.- VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA	103
<b>4.4.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES</b>	<b>104</b>
4.4.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	105
4.4.2.- SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES	107
4.4.3.- DESARROLLO DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES	107
4.4.4.- ALCANCE TECNOLÓGICO	108
<b>5.- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS RELACIONAL</b>	<b>110</b>
<b>5.1.- REQUERIMIENTOS DEL DOMINIO DE APLICACIÓN. OBJETOS MODELABLES</b>	<b>111</b>
<b>5.2.- ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE LA BDR</b>	<b>113</b>
<b>5.3.- DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DATOS</b>	<b>114</b>
<b>6.- ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO</b>	<b>120</b>
<b>6.1.- ANTECEDENTES</b>	<b>120</b>
<b>6.2.- ANÁLISIS DEL DOMINIO Y EDUCCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS</b>	<b>121</b>
<b>6.3.- SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DESARROLLO</b>	<b>125</b>

6.3.1.- LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	126
6.3.2.- HERRAMIENTAS DE PROPÓSITO GENERAL	126
<b>6.4.- DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO</b>	<b>127</b>
<b>7.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES E INTEGRACIÓN EN SISTEMAS HÍBRIDOS (BB.DD, SS.EE &amp; RR.NN.AA)</b>	<b>134</b>
<b>7.1.- INTEGRACIÓN DE RR.NN.AA Y BB.DD</b>	<b>134</b>
<b>7.2.- INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONEXIONISTAS Y SIMBÓLICOS</b>	<b>137</b>
<b>7.3.- INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONEXIONISTAS EN SISTEMAS DE FILOSOFÍA HÍBRIDA</b>	<b>143</b>
<b>7.4.- APRENDIZAJE EN EL SISTEMA</b>	<b>148</b>
<b>7.5.- EXPERIMENTACIÓN CON CASOS DEL DOMINIO DE LAS EIA</b>	<b>151</b>
<b>8.- CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS</b>	<b>161</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>169</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>188</b>
<b>1.- ACCIONES Y PROYECTOS QUE REQUIEREN EIA</b>	<b>188</b>
<b>2.- CLASIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES</b>	<b>193</b>
<b>3.- DISEÑO, NORMALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA BDR</b>	<b>196</b>
<b>4.- SUBSISTEMA DE GESTIÓN DE BB.DD</b>	<b>215</b>
<b>5.- SUBSISTEMA DE DEFINICIÓN DE PANTALLAS</b>	<b>220</b>

6.- SUBSISTEMA DE EJECUCIÓN DE PANTALLAS _____	253
7.- EJEMPLO DE DISEÑO DE PANTALLAS _____	254
8.- HERRAMIENTA DE DESARROLLO DE PROPÓSITO GENERAL _____	264
9.- REGLAS DE PRODUCCIÓN DE ACTUALIZACIONES Y CONSULTAS _____	266
10.- ASPECTOS SEMÁNTICOS DE LAS REGLAS _____	273
11.- SECUENCIA DE FUNCIONES DEL SUBSISTEMA DE CONTROL _____	275
12.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA _____	276
13.- GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE CONJUNTOS DE ENTRENAMIENTO _____	295
14.- BASE DE DATOS DEL DOMINIO CONEXIONISTA _____	300
15.- ENTORNO DE TRABAJO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE RR.NN.AA _____	309

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **1.- INTRODUCCIÓN.**

### **1.1.- LA IMPORTANCIA DE LA ECOLOGÍA.**

Actualmente, existe una gran preocupación, con clara tendencia a incrementarse, en el control de aquellas actividades que pueden degradar nuestro entorno. Por ello, la realización de una correcta Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante EIA) ayudará, sin duda, a una integración racional de los proyectos de infraestructura y empresariales en su entorno, intentando compatibilizar el desarrollo y progreso tecnológico con la necesaria calidad de vida medioambiental. El avance producido en los últimos años en el ámbito de la computación permite disponer de equipos muy potentes y sofisticados que se han constituido en una herramienta casi imprescindible a la hora de efectuar estas EIA debido a la gran complejidad de su dominio de aplicación.

“Al intentar discernir entre lo incierto y lo conocido de nuestro entorno, conviene subrayar que si algo se sabe es que la naturaleza actúa según un patrón de interdependencia entre los distintos componentes del ecosistema. Influir en este tipo de patrones desencadena siempre una compleja reacción en el sistema” [GORE-93].

El término ecología fue acuñado hace más de cien años por Ernst Haeckel; el término biocenosis en el año 1883, por Möbius; y el término ecosistema, en la década de los veinte, por Woltereck. Después de cien años, estos términos han sido redescubiertos con el objetivo de tratar aspectos relacionados con la economía de la naturaleza [REMM-83].

La conciencia humana sobre la enorme importancia de la Ecología surge, en gran medida, a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Junio de 1992 en Río de Janeiro [CALD-93] y en la que participaron los líderes de casi todas las naciones. Dicha conferencia sentó las bases de cómo y por qué el progreso económico debe estar indisolublemente ligado a políticas diseñadas para proteger el medio ambiente y administrar con sensatez los recursos naturales. En este sentido, se puede subrayar la importancia de la ecología mediante uno de los apartados de una de las reuniones

previas a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada entre investigadores de todo el mundo:

“Somos personas de fe y de ciencia que, durante siglos, hemos discurrido a menudo por caminos diferentes. Entendemos, sin embargo, que en este momento de crisis medioambiental nuestros caminos convergen. Este encuentro debe simbolizar, por tanto, la reconciliación de nuestras antiguas y, a menudo, antagónicas tradiciones en función de un esfuerzo común: conservar el hogar que compartimos.

Aceptamos nuestra responsabilidad de comunicar a los millones de personas, de las que somos a la vez siervos y guías, la magnitud y las consecuencias de la crisis medioambiental, así como los medios para ponerle freno.

A pesar de la gravedad de la crisis, no hemos perdido la esperanza. Los humanos, con todas nuestras limitaciones y defectos, podemos ser inteligentes, prácticos, caritativos, prudentes e imaginativos. Tenemos acceso a insondables reservas de valor moral y espiritual. En lo más íntimo de nuestro ser anida la voluntad de proporcionar salud, seguridad y futuro a nuestros hijos. Consciente de que el mundo no es patrimonio de una única nación o generación, nos comprometemos a participar activamente en el cuidado y protección del medio ambiente de nuestro planeta” [ORGA-92].

El premio Nobel de Medicina, Konrad Lorenz, destaca como uno de los ocho pecados capitales de la humanidad el “Asolamiento del Espacio Vital”. Para ello, se fundamenta en la creencia errónea, aún existente hoy en día en algunos sectores, que por desconocimiento o por la búsqueda de un enriquecimiento rápido, supone que la naturaleza es inagotable [LORE-73]. La ecología del hombre se transforma muchas veces más aprisa que la de cualquier otro ser. Por lo tanto, el hombre se debe acomodar al ritmo impuesto por su progresiva tecnología cuya aceleración en proporción geométrica es incesante. El hombre promueve, sin poder evitarlo, profundas transformaciones y provoca con excesiva frecuencia el desmoronamiento de la biocenosis en donde vive y de la que vive. El apresuramiento de los tiempos actuales se constituye como un claro enemigo de todo análisis o reflexión de las

acciones que puedan degradar el entorno. Al hablar de análisis y reflexión se está aludiendo directamente a lo que hoy se conoce como EIA.

Ecología, ciencia y política medioambiental, lejos de ciertas posturas ecológicas altamente radicales, deben tratar de forma razonada y moderada las relaciones de la humanidad con la naturaleza. Actualmente están en conflicto distintas versiones de lo que es razonable. En esta controversia el papel que juega la ciencia es crucial, ya que, a través de los conocimientos probados, puede que sea posible averiguar con más precisión la “verdad aproximada” relativa a las consecuencias de la conducta humana en la biosfera.

Las diferentes técnicas y alternativas utilizadas para la resolución de problemas complejos, están definidas, en gran medida, por las características del dominio de aplicación [KUNZ-94]. Partiendo de la idea de la inexistencia del caso ideal (datos y conocimientos totalmente fiables, conocimientos invariantes en el tiempo y un espacio de soluciones pequeño), se puede tomar como referencia la problemática asociada a la resolución de problemas complejos y de naturaleza experta que pueden presentar, total o parcialmente, la ausencia de las características que definen el caso ideal [TURN-93]. En el peor de los casos, el dominio de aplicación estará caracterizado por un espacio de posibles soluciones muy grande con un gran volumen de datos y conocimientos no fiables y dependientes del tiempo [DEAN-87] [SALE-93] [SHOH-88].

## **1.2.- PRESENTACIÓN DEL TRABAJO: OBJETIVOS.**

La conjunción de diferentes métodos para resolver problemas es una cualidad que, en la mayoría de los casos, mejora los resultados. La razón de porqué es tan difícil combinar diferentes métodos para resolver problemas parece estar en que la comunidad informática no piensa en ello habitualmente. El paradigma vigente era, y es todavía en muchos casos, encontrar un buen método para realizar una tarea y después trabajarlo hasta eliminar la última pega. Pues bien, la investigación que se fundamente en distintos métodos, enfoques, etc., dispondrá de diferentes puntos de vista o caminos hacia la solución enriqueciendo, considerablemente, los resultados obtenidos.

Con esto en mente, el presente trabajo de investigación se centrará en el estudio e integración de diferentes técnicas de Inteligencia Artificial (en adelante IA) y de la Informática convencional que permitan la resolución de aquellos problemas que, por su enorme complejidad, no se pueden abordar con un cierto grado de éxito por otras técnicas más sencillas y contrastadas. Paralelamente, se desarrollará una metodología original que permita la integración de los diferentes subsistemas involucrados. Dicha metodología tomará como punto de partida diferentes metodologías utilizadas en las diferentes técnicas involucradas, desarrollando una variante que permita su integración y adaptación a las necesidades del planteamiento de la tesis.

Además, se aborda el diseño y la construcción de un SH para su aplicación en el dominio de las EIA como hipótesis de desarrollo de sistemas para resolver problemas complejos. De esta manera, los expertos podrían disponer de una avanzada herramienta que les sirva de ayuda en la toma de decisiones sobre diferentes aspectos, tales como: el emplazamiento óptimo de proyectos empresariales, el estudio de alternativas para la construcción de infraestructuras, la necesidad de adopción de medidas correctoras que decrementsen los impactos ante cualquier actividad empresarial, etc.

Se puede hacer el siguiente desglose de objetivos a la hora de desarrollar dicho SH:

- El primer objetivo consiste en implementar una Base de Datos Relacional (en adelante BDR) que permita su conexión con varias Bases de Conocimientos, ya que es necesario disponer de una gran cantidad de datos involucrados en la realización de las EIA. En ella, se incluirá toda la información recopilada sobre acciones productoras de impactos en el área que aquí concierne: factores ambientales, medidas correctoras, legislación, etc.; así como las relaciones entre ellas. La ausencia actual de este tipo de BD, y su gran volumen de datos, hará que se tenga que completar la BDR por medio de las conclusiones que se obtengan de las evaluaciones realizadas por el propio sistema; precisándose, por tanto, de sistemas con capacidades de aprendizaje automático que permitan suplir, al menos en parte, la falta inicial de conocimientos. Además, interesa incorporar en el sistema la frecuencia de uso de algunos de los parámetros involucrados, de tal forma que se pueda

dotar al SH final de uno de sus posibles sistemas de aprendizaje. En todo momento, se ha intentado desarrollar un sistema de propósito general que se pueda adaptar fácilmente para utilizarse en otros dominios de aplicación.

Además, el sistema de gestión de datos implementado finalmente es bastante dinámico, ya que las funcionalidades cubiertas por dicho sistema han ido creciendo de forma exponencial a lo largo de su desarrollo, como consecuencia de las necesidades que se fueron detectando y que, en un primer análisis, no fue posible contemplar.

El sistema de gestión de la BD surge de la necesidad de desarrollar una interfaz que permita la gestión de la BD de un Sistema Experto (SE en lo sucesivo) de EIA, se ha enfocado su implementación desde un punto de vista más general, obteniendo como producto final un sistema que es perfectamente extrapolable a otros ámbitos de aplicación que requieran de acceso a datos, ya que proporciona las herramientas necesarias para su gestión y explotación. La BD de EIA desarrollada permitirá la integración, en las diferentes estructuras de la BD, de parte de los conocimientos del SH. En este sentido, se habla de "Sistemas de Bases de Datos Expertos" (en adelante SS.BB.DD.EE en plural y S.BB.DD.E en singular), que es un término reservado para un SE cuyo dominio específico de conocimientos se representa mediante uno de los métodos comunes (marcos, reglas, etc.), los cuales requieren el acceso a BB.DD. En términos más generales, se puede definir un S.BB.DD.E como la integración de un SE con una BD en un sistema único. La integración de SS.EE y BB.DD es especialmente atractiva al posibilitar la manipulación semántica de la BD de una manera directa. Un S.BB.DD.E debe incluir un sistema de interconexión entre las dos partes del sistema, la BD y el SE. El hecho fundamental que se debe tratar es el de la localización de la parte de control.

El carácter multidisciplinar del sistema de gestión de datos, primero de los objetivos planteados, ha obligado y permitido profundizar en el conocimiento de áreas tan diversas como:

- ✓ Las EIA, dominio de aplicación del SH global y cuyos conocimientos han sido necesarios para modelizar e implementar la BD.

- ✓ Teoría de BB.DD y, en especial, del modelo entidad-relación, entidad relación extendido y modelo relacional.
  - ✓ Análisis y estudio detallado de la implementación práctica de un motor relacional.
  - ✓ Teoría de compiladores, para el desarrollo del analizador lexicográfico del sistema.
  - ✓ Desarrollo de librerías dinámicas y controles específicos.
- Un segundo objetivo es la construcción del conjunto de las bases de conocimientos constituyentes de un SE que permitan:
    1. Su conexión con grandes BB.DD, con otros sistemas de IA como las RR.NN.AA y, en general, con múltiples tipos de programas externos realizados con diversas técnicas informáticas que den mayor potencialidad al sistema.
    2. Mayor rapidez y flexibilidad en la actuación y respuesta del sistema, gracias a su modularidad en el funcionamiento.
    3. Posibilidad de integrar técnicas de IA con técnicas de programación convencional.

Así, el SE permitirá establecer las posibles hipótesis de impacto ambiental que se puedan dar en una situación concreta. La utilidad del sistema es doble: por una parte, ayuda al experto en medio ambiente a determinar y caracterizar los impactos ambientales en estudio y sus posibles efectos colaterales y, por otra, los resultados obtenidos por el SE incrementarán los propios conocimientos del sistema.

La tecnología de los SS.EE, practicada en la "Ingeniería del Conocimiento", se está utilizando, satisfactoriamente, en numerosas áreas de aplicación y, en los últimos años, se está asentando como una opción de "Ingeniería del Software" a tener en cuenta en el mundo real de cara a solucionar problemas en el sector productivo de la sociedad. En la actualidad, existen múltiples aplicaciones que incorporan diferentes niveles de conocimientos para incrementar de esta manera su potencia y utilidad. La inclusión de pequeñas bases de conocimientos en aplicaciones informáticas convencionales incrementan y mejoran, en la mayoría de los casos, los resultados obtenidos. En general, los SS.EE utilizan diferentes estructuras para representar los conocimientos y mecanismos

de inferencia para permitir establecer conclusiones en un dominio de trabajo experto. Además, en el presente trabajo de investigación se incluirá, en un nivel de abstracción inferior, un mecanismo de razonamiento basado en restricciones que permite decrementar considerablemente el coste de mantenimiento de aquellos sistemas que abordan dominios grandes y cambiantes. Los dominios de gran tamaño en general, y el de las EIA en particular, requieren un gran número de restricciones, aconsejándose por ello la inclusión de métodos que permitan la reconsideración de algunas de las variables involucradas en la solución del problema.

La aproximación utilizada analiza algunos de los aspectos relacionados con la integración de BB.DD y sistemas basados en reglas. En este sentido, se analiza la falta de consistencia e integridad existente en un gran número de los sistemas basados en reglas actualmente desarrollados. La utilización de herramientas de Ingeniería del Conocimiento de propósito general, que incluyen un cierto nivel de análisis sintáctico de las estructuras de conocimientos, normalmente no explotan aspectos relacionados con la integridad, consistencia y semántica de las estructuras. Este aspecto produce, como resultado de la modificación de los conocimientos existentes o de la inclusión de nuevos conocimientos, un cierto nivel de inconsistencia en las bases de conocimientos.

Además, se analizarán las diferentes categorías de reglas, atendiendo a dos posibles tipos de evento y acción: la actualización y la consulta [STONE-92].

- Con el propósito de cuantificar la posibilidad de los impactos y completar el conjunto final de hipótesis causa-efecto, como tercer objetivo se implementará un conjunto de RR.NN.AA que se integrarán con el SE y la BDR en el SH final. Debido a la variabilidad de la información manejada (diferentes entornos, proyectos, acciones, etc.), el camino más viable para reconocer determinadas situaciones será alguna de las posibles aproximaciones conexionistas. Las respuestas de las RR.NN.AA aportarían parte de la información necesaria para un hipotético posterior procesado simbólico de la misma por el SE. La capacidad de evaluación de las RR.NN.AA unida a las conclusiones obtenidas por los SS.EE y al enorme volumen de datos soportado por la BDR permitirá manejar el amplio y complejo dominio de las EIA de una forma “inteligente”. Las RR.NN.AA añadirán al SH uno

de sus varios niveles de aprendizaje: el conexionista. La incorporación de métodos generales y básicos del área de las EIA junto con estructuras conexionistas permitirá al SH la posibilidad de razonar con nuevos casos, datos incompletos, etc.

- Como precisa cualquier producto de ingeniería, en este caso del conocimiento, un cuarto objetivo consiste en desarrollar un interfaz amigable usuario-sistema que, también, se integrará en el SH. Esta interfaz permitirá al sistema ampliar su facilidad de interacción, su flexibilidad y su ergonomía de diseño y trabajo.

Además, el interfaz del SH se diseñará de forma que su utilización sea muy sencilla, ya que seguirá la secuencia más cercana al comportamiento real del experto y del usuario. El interfaz tendrá una triple utilidad; por un lado, será una potente herramienta para la recopilación de datos; por otro, facilitará la interacción con el usuario final y la posterior transferencia tecnológica del sistema en su fase de sistema de producción; y, finalmente, intentará disminuir el frecuente rechazo inicial de los usuarios a las nuevas tecnologías por tener que adaptarse los usuarios a manejar modelos y procedimientos a los que no están habituados.

- El núcleo principal de este trabajo de investigación será demostrar la posibilidad de integrar en un único sistema todos los elementos expuestos en los puntos anteriores, permitiendo una fácil interacción entre sí de los módulos y del usuario con el sistema completo. Con este propósito, se utilizará un enfoque de diseño “incremental” que permita sucesivas etapas de adquisición y mejora de los conocimientos del sistema, y que estos conocimientos estén a disposición de cualquiera de sus elementos componentes del SH en cualquier momento y de una forma eficiente.

Parece adecuado y justificado intentar resolver este problema con las técnicas y métodos que aquí se proponen (SS.EE, RR.NN.AA y BB.DD.RR) por las razones que, a continuación, se exponen:

- El carácter subjetivo de las variables involucradas. Las EIA incluyen gran cantidad de elementos subjetivos, por lo que su fiabilidad y consistencia dependen, en gran medida,

del equipo encargado de su realización. La incorporación de sistemas como el que se plantea en este trabajo de investigación permitirá incrementar la fiabilidad y consistencia de análisis de las EIA.

- La ausencia de conocimientos teóricos y experimentales sobre las interacciones entre acciones y factores ambientales de un proyecto en un entorno dado, así como de las medidas correctoras, por lo que se precisa de ciclos de retroalimentación entre hipótesis, caso que puede entenderse como "razonamiento no monótono", donde nuevos eventos pueden modificar el razonamiento previo, lo cual puede intentar resolverse diseñando adecuadamente una Base de Conocimientos incremental y un módulo de resolución de conflictos que contemple esta posibilidad.
- El problema no está bien estructurado, ni sus metas ni su desarrollo están explícita y detalladamente establecidas.
- Parte de los conocimientos derivados del dominio utilizados como ejemplos son de naturaleza experta, lo que exige ciclos de retroalimentación entre hipótesis y análisis de resultados.
- Los conocimientos a emplear son "Conocimientos naturales del mundo real", por lo cual estarán afectados, en mayor o menor medida, por los factores componentes de la llamada "maldición de la cuádruple I"; es decir, podrán ser: inciertos, imprecisos, inconsistentes e incompletos.
- La necesidad de establecer preferencias sociales en función del lugar y de su evolución temporal, cuya validez requiere un contraste de los resultados del proceso de evaluación utilizando diferentes hipótesis de trabajo.
- Facilidad de generalización a muchos tipos de proyectos dentro del dominio. Gran parte de las hipótesis definidas en las EIA de un determinado proyecto se pueden reutilizar en otros proyectos.

La aproximación desarrollada en el presente trabajo aporta un amplio conjunto de posibles soluciones a los diferentes campos de la IA e Informática convencional, entre los que cabe destacar:

- Se ha desarrollado una metodología de modelización, diseño e implementación de SS.HH como integración y adaptación de metodologías existentes para cada una de las partes del SH por separado. Para tal propósito, se ha tenido que integrar una metodología de diseño y construcción de RR.NN.AA propia con otras metodologías existentes para BB.DD y SS.EE.
- La conceptualización de los diferentes aspectos relacionados con el diseño e implementación de SS.HH y el estudio de la problemática asociada a tales implementaciones. En concreto, se han analizado diferentes alternativas, sus posibilidades y las diferentes ventajas e inconvenientes de la integración de SS.EE, BB.DD y RR.NN.AA para la resolución de problemas en los que las aproximaciones por separado encuentran dificultades. En general, las distintas alternativas analizadas ayudan a entender el enorme potencial de los SS.HH.
- El SH desarrollado demuestra la posibilidad y adecuación de la aplicación de los SS.EE y las RR.NN.AA en dominios de gran complejidad, amplitud y con una elevada tasa y forma de cambio de los conocimientos. La aproximación de integrar BB.DD, SS.EE y RR.NN.AA propuesta se demuestra ideal para afrontar, con un cierto grado de éxito, dominios de aplicación con un espacio de posibles soluciones muy grande y con conocimientos de naturaleza cambiante a lo largo del tiempo.
- Además, se propone, dentro del tipo de sistemas estudiados, la inclusión de dos SS.EE trabajando de forma cooperativa; uno desarrollado sobre herramientas específicas de propósito general y otro implementado en un lenguaje de programación estándar. La utilización de un lenguaje de programación en la implementación del SE permitirá realizar un mejor ajuste de las necesidades del sistema. El segundo SE, construido en una herramienta de propósito general, facilitará la incorporación de nuevos conocimientos y proporcionará un elevado número de mecanismos de representación e inferencia. Los

diferentes mecanismos de representación e inferencia de la herramienta permitirán la incorporación, sin necesidad de código, del nuevo conocimiento del dominio que pueda aparecer como resultado de, por ejemplo, la inclusión de nueva legislación en EIA. Estos mecanismos permitirán capturar hechos e información procedimental del dominio de trabajo en forma de reglas y representar información descriptiva del mundo real utilizando clases y objetos. Estos mecanismos de representación se utilizan, dentro del SH propuesto, para modelizar el proceso de razonamiento experto en el dominio de las EIA y los correspondientes objetos afectados en el razonamiento.

- Se han analizado diferentes formas de representar los conocimientos que permiten manipular dominios de enorme complejidad y amplitud. En este sentido, la educación de los conocimientos ha estado marcada, en todo momento, por la complejidad del área y de los factores que intervienen en el problema a tratar, entre los que se encuentra la amplitud del dominio y la tasa y forma de cambio de la base de conocimientos y reglas de decisión. El primer factor afecta al tamaño de la base de conocimientos, incrementando la dificultad de construir relaciones de decisión y su control en la resolución del problema. El segundo factor hace que los conocimientos utilizados sean muy cambiantes, lo que incrementa considerablemente la complejidad del SE.
- Otra aportación, dentro del dominio propuesto, es que se han analizado diferentes tipos e implementaciones de reglas de producción atendiendo al tipo de evento y acción. Además, se han investigado diferentes aspectos semánticos relacionados con las reglas: activación de las reglas en diferentes momentos, la utilización de un encadenamiento progresivo o regresivo, el orden de aplicación de las reglas y la resolución de conflictos con la consiguiente posible aparición de nuevos metaconocimientos, etc.
- Dentro de las estructuras de control analizadas, se introduce una estructura basada en la señalización de registros con varias etiquetas semánticas que indican las reglas evaluadas positivamente. En contrapartida, se analizan los sistemas basados en listas de reglas vinculadas a cada tabla. El método propuesto es más rápido pero más complejo.

- Se incorpora la idea de utilización de bases de conocimientos, dentro de un nivel de abstracción superior, que trabajan con operaciones relacionales sobre BB.DD. En un nivel de abstracción inferior, se utiliza un mecanismo de razonamiento basado en restricciones que permite decrementar considerablemente el tamaño de las bases de reglas. Esta aproximación simplifica enormemente los sistemas, sobre todo en el caso de dominios grandes y cambiantes, donde una aproximación basada únicamente en reglas sería prácticamente inviable. La representación de conocimientos basada en restricciones utiliza propiedades, dominios y restricciones sobre las posibles combinaciones de las propiedades y sus dominios. Las combinaciones no identificadas de forma explícita no se consideran. El objetivo de este esquema es el de la consecución de los diferentes valores de las variables que satisfagan las restricciones del dominio. En este sentido, se puede identificar un esquema basado en restricciones como un proceso inferencial abductivo, donde cada ciclo del proceso de razonamiento sugiere nuevas hipótesis a partir de las ya verificadas. La dinámica del dominio de las EIA y, por consiguiente, del SE propuesto, utiliza los operadores relacionales de las reglas de un nivel superior de abstracción en la definición de las variables involucradas y de las posibles restricciones del espacio de búsqueda. Además, se incluyen diferentes niveles de etiquetas semánticas y cuantificadores que definen la confianza de las restricciones. Por ejemplo, no se deben considerar las variables involucradas en la definición de medidas correctoras cuando las características del cruce de impacto identificado no consideran la posibilidad de tomar medidas en ninguna de las fases de su acción.
- Se estudian las ventajas e inconvenientes de las alternativas de implementación de los sistemas de intercomunicación de los SS.HH: procesamiento y control distribuido, procesamiento y control centralizado y procesamiento distribuido y control centralizado en un subsistema independiente.
- Dentro del campo de las BB.DD, se ha explorado la modelización e implementación de dominios de gran complejidad. En particular, se ha necesitado del modelo ERE para abordar la modelización del dominio de las EIA donde, entre otros aspectos, se han incluido relaciones de orden cinco y relaciones de entidades consigo mismas.

- La incorporación de un encadenamiento regresivo como una generalización del concepto de "vista" de BB.DD que elimina la ambigüedad en la actualización de la base de hechos. En este sentido, se utilizan las vistas como una porción restringida de una BD [GARY-97]. Las vistas permiten, además de eliminar la ambigüedad en las actualizaciones, mantener la confidencialidad al restringir el acceso a ciertas partes de la BD y simplifican, considerablemente, las consultas realizadas con frecuencia. Diferentes autores analizan las limitaciones de las vistas [MELT-93] y los aspectos relacionados con su actualización [DATE-94].
- Además, otro aspecto introducido es el de la generación de múltiples vistas sobre las mismas tablas que, normalmente, son excluyentes e incorporan un peso o factor de importancia que determina el nivel de confianza de su clase.
- Otra área de experimentación estudiada, que incluye una gran funcionalidad en los sistemas, analiza las prestaciones de una aproximación basada en versiones de tablas obtenidas; por ejemplo, mediante la aplicación de reglas de producción.
- Se han incorporado, dentro del mismo sistema, distintos niveles de aprendizaje: por instrucciones, socrático o por ejemplos, estadístico, etc., analizando la problemática y las ventajas e inconvenientes de dicha integración.
- Finalmente, se introduce un sistema de múltiples RR.NN.AA que incrementa considerablemente la potencia de los sistemas tradicionales. Con el fin de manipular grandes cantidades y jerarquías de RR.NN.AA, se propone una nueva aproximación basada en un sistema de manipulación de RR.NN.AA independiente del resto del sistema. Dicha aproximación mejora considerablemente las posibilidades de manipulación y experimentación de los sistemas conexionistas. Además, gestiona los RR.NN.AA como módulos reutilizables entre aplicaciones que podrían ser remotas. Con el propósito de validar el sistema desarrollado, se hace una amplia experimentación con 48 casos reales del dominio de la EIA que reflejan diferentes variantes del algoritmo de retropropagación del error.

El sistema propuesto en este trabajo de investigación abarca gran parte de los métodos de EIA más utilizados: método de Leopold [LEOP-81] [SCHL-73], métodos de predicción [TREW-96] y métodos de interpretación [VERH-94]. Se abordará la solución del problema desde la perspectiva de los SS.HH, ya que es la única que permitirá integrar los tres métodos de una forma consistente [PAZO-95]:

- Las BB.DD.RR para representar, entre otras estructuras, la Matriz de Leopold [PAZO-94c].
- Las RR.NN.AA para abordar las tareas de Predicción [PAZO-94b].
- Los SS.EE para tratar la interpretación [PAZO-93].

Distintas investigaciones realizadas sobre la calidad de los procedimientos de identificación y predicción de los impactos utilizados en las EIA en España han detectado un elevado número de evaluaciones poco satisfactorias en cuanto a su calidad [GARC-95]. El sistema propuesto pretende aportar una nueva herramienta que permita mejorar, desde la perspectiva de la IA, los diferentes procedimientos de identificación y predicción de los impactos ambientales en realización de EIA.

Por todo lo expuesto anteriormente en este capítulo, el problema de análisis de las EIA se presenta difícilmente abordable sin la colaboración de BB.DD.RR, SS.EE y RR.NN.AA como un todo, integrados en un SH que obtenga de cada una de estas técnicas las ventajas que presentan y evite en lo posible sus inconvenientes.

Ofrecer la posibilidad de una solución satisfactoria a problemas como los que aquí se abordan proporcionará, dentro del campo de las EIA, beneficios tanto científicos como técnicos y económicos que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Automatización de gran parte de las labores de los expertos en EIA, evitando las tareas más tediosas de los mismos como las grandes cantidades de cálculo. En ellos es donde suelen cometer errores los expertos, la mayor parte de las veces por omisión, a la hora de contemplar todo lo concerniente al caso en cuestión.
- Mejora, en gran medida, de los resultados de las EIA ya que, por una parte, se manejan posibilidades de impacto que permiten al sistema identificar exhaustivamente todo el

conjunto de impactos que se pueden presentar y, por otra, evita al experto la ya citada tediosa y compleja labor de los cálculos involucrados en las EIA.

- Predicción y anticipación en la evaluación de los impactos producidos, permitiendo que se puedan establecer las medidas compensatorias oportunas para que los proyectos evaluados sean lo menos nocivos posible y se ajusten a la legislación vigente.
- Desde un punto de vista meramente económico, incluso sin evaluar los daños medioambientales a medio y largo plazo por la dificultad que entraña el cuantificarlos, evitará los enormes gastos que suelen derivarse de los errores en materia medioambiental, dado que el sistema incrementará la calidad de las EIA, reduciendo consecuentemente la posibilidad de cometer errores. De igual forma, al automatizar la tarea de evaluación se incrementará la productividad y reducirán los costes de realización de las EIA. Además, el empleo generalizado de este tipo de sistemas supondrá la anticipación a múltiples situaciones de riesgo para el medio ambiente, lo cual supondrá un tremendo ahorro económico e, incluso, mejorará la calidad de vida de los habitantes del planeta, cosa que siendo difícil de evaluar económicamente a todo el mundo se le antoja no sólo conveniente sino imprescindible.

La implantación de proyectos empresariales y de desarrollo afecta, de una forma considerable la mayoría de las veces, al medio ambiente. Dichos efectos ambientales se producen durante la fase de obra o de funcionamiento del proyecto y, en algunas ocasiones, pueden continuar mucho tiempo después de su finalización o cierre. En este sentido, las EIA requieren una predicción, tanto cualitativa como cuantitativa, del impacto de las actividades del hombre en el medio ambiente. Como situación ideal, se debería incluir como parte de la planificación de los proyectos los diferentes aspectos relacionados con los impactos ambientales.

En general, la utilización de este tipo de sistemas en el dominio medioambiental supondrá un gran avance al permitir procedimientos precisos de adquisición de parámetros ambientales, mejores técnicas de adquisición, almacenamiento y presentación de datos, información y conclusiones y, en definitiva, mejores instrumentos de ayuda al experto en las EIA.

De esta forma, el sistema facilitará las posibilidades de: establecer medidas correctoras que decrementsen el impacto ambiental, organizar y planificar mejor las acciones encaminadas a

implantar un proyecto evaluado en su entorno y, finalmente, minimizar el impacto del proyecto en el entorno.

### **1.3.- RESUMEN.**

Una vez realizada la introducción, motivaciones y el resumen del presente trabajo de investigación en el capítulo 1, se hace, en el capítulo 2, un estado de la cuestión que incluye una presentación teórica de los métodos y técnicas que se van a utilizar en la resolución del problema planteado: BB.DD, SS.EE, RR.NN.AA e interfaces. En particular, se hace un estudio de los diferentes aspectos relacionados con la integración de técnicas, analizando las ventajas e inconvenientes derivados de la utilización de dichas técnicas a la hora de implementar un sistema que pueda ser considerado como inteligente. Además, se analizarán por separado cada una de las técnicas, aportando, entre otros, todos aquellos conceptos y referencias de interés, como base para la construcción de SS.HH que puedan afrontar con éxito aquellas aplicaciones cuyas características resolutorias definen las hipótesis del presente trabajo de investigación. Además, se realizará un estudio de los distintos métodos de EIA donde se incluye la teoría base utilizada para la obtención de un método de EIA implementable en el SH. En otras palabras, se realizará un análisis en profundidad del dominio de aplicación de las EIA, considerando todos aquellos parámetros, métodos de EIA, aspectos legales, etc., que puedan ser de interés y, por tanto, sea preciso tener en cuenta para el desarrollo del SH.

En el capítulo 3, se hace un planteamiento de los métodos de EIA implementados en el SH propuesto como ejemplo, analizándose las diferentes aproximaciones técnicas de las EIA, los parámetros, tanto heterogéneos como homogéneos, que caracterizan los impactos ambientales y los diferentes aspectos relacionados con la inclusión de medidas correctoras. Además, se estudian las características generales del sistema desarrollado y sus diferentes niveles de abstracción, pudiéndose comprobar que dicho sistema incorpora las ventajas de varios de los métodos de EIA analizados y solventa algunas de sus deficiencias.

Seguidamente, en el capítulo 4, se expone la metodología utilizada para el desarrollo del sistema. La falta de una metodología estándar de diseño de este tipo de SS.HH, debido quizás a su

complejidad, hace necesaria la definición de un conjunto de herramientas y técnicas que puedan ser aplicadas consistentemente al problema que se plantea. En la determinación de las fases de la metodología se definirá una jerarquía de niveles de abstracción, en el sentido de ser lo suficientemente amplia para que, a cada nivel, le correspondan decisiones de diseño bien definidas. A grandes rasgos, se puede ver la metodología resultante como la integración de variantes específicas de las diferentes metodologías conocidas involucradas en cada una de las partes del sistema (BB.DD, SS.EE y RR.NN.AA), adaptándolas a los requerimientos exigidos por el tipo de sistema que se está tratando en el presente trabajo de investigación. Además, se ha desarrollado una metodología de diseño y construcción de RR.NN.AA propia.

A continuación, en el capítulo 5, se trata el diseño e implementación de la BDR para su posterior integración en el SH. La BD se diseñará de tal forma que pueda proporcionar soporte a los diferentes niveles de aprendizaje requeridos. Asimismo, se expone el diseño e implementación del “interface” y “metalenguaje” desarrollado para realizar el mantenimiento y la explotación de la BD.

En el capítulo 6, se aborda el diseño e implementación del SE, sus antecedentes, la educación y representación de los conocimientos, la estructura de control y las herramientas utilizadas. Además, se analizan diferentes aproximaciones en la integración de SS.EE y BB.DD y los aspectos técnicos e implicaciones de los correspondientes subsistemas de control.

En el capítulo 7, se presentan los diferentes aspectos relacionados con el diseño y construcción de RR.NN.AA y su integración en SS.HH (BB.DD, SS.EE y RR.NN.AA). En un primer momento, se analizan las posibilidades de integración de RR.NN.AA y BB.DD. Además, se propone un nuevo nivel de integración, no observado en ninguna de las herramientas, comerciales o experimentales, analizadas hasta la fecha, que mejora considerablemente las prestaciones. Posteriormente, se estudian las diferentes arquitecturas de integración entre sistemas conexionistas y simbólicos atendiendo a su grado de acoplamiento. Como solución al esquema de integración propuesto, se analizan las posibilidades del Sistema de Manipulación de RR.NN.AA propuesto, diseñado y desarrollado para tal fin. La inclusión de una BD del dominio de las RR.NN.AA mejora sustancialmente las posibilidades de integración, gestión, manipulación y modularidad, entre otras, de las RR.NN.AA, independizando considerablemente el nivel conexionista de las

aplicaciones. Gran parte de las características estudiadas se centran en la implementación de RR.NN.AA para la identificación y caracterización de impactos y su integración en el sistema propuesto. Finalmente, se hace un estudio del conocido algoritmo de retropropagación del error y se analizan posibles mejoras a dicho algoritmo utilizando, como base experimental, casos reales del dominio de las EIA. Con tal propósito, se han preparado 48 experimentos diferentes que reflejan, con casos reales, las diferentes variantes analizadas.

Finalmente, en el capítulo 8, se aportan las conclusiones y los futuros desarrollos del trabajo de investigación aquí presentado.

# CAPÍTULO II

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **2.- ESTADO DE LA CUESTIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **2.1.- APROXIMACIONES AL PROBLEMA.**

A pesar de la existencia de otras aproximaciones a la hora de integrar estas técnicas, no se tiene noticia hasta la fecha, después de llevar a cabo una búsqueda intensiva en diferentes bases de documentación: IEEE Computer Magazine, IEEE Computational Science & Engineering, IEEE Expert: Intelligent Systems & their applications, IEEE Transactions on Computers, IEEE Transactions on knowledge & Data Engineering, IEEE Transactions on Neural Networks, International Journal of Neural Systems, INNS Neural Networks, AI Applications, Catálogo de la biblioteca de la Universidad de Harvard, Catálogo de la biblioteca del Massachusetts Institute of Technology, etc. [IEEE-98a] [IEEE-98b] [IEEE-98c] [IEEE-98d] [IEEE-98e] [IEEE-98f] [INTE-98] [JOUR-98] [AI-98] [HARV-98] [MASS-98], de un planteamiento de integración como el aquí propuesto.

Como resultado de las búsquedas bibliográficas realizadas, se tiene conocimiento de que se están desarrollando varios Sistemas Expertos (SS.EE en lo sucesivo) relacionados con temas medioambientales, aunque son pocos los que se utilizan en la práctica habitual de trabajo [SHEP-87] [FEDR-91] [FEDR-94] [SHEP-94] [ALJA-98] [LAKAI-98] [MONG-98] [SENG-98]. Quizá sea por la escasa flexibilidad y adecuación de dichos sistemas a las peculiares necesidades del amplio y cambiante dominio de las EIA. Además, son muchos menos los sistemas utilizados en el área particular de las EIA, ya que, por un lado, gran parte de los sistemas conocidos se encuentran en fase de investigación y desarrollo y, por otro, no se tiene conocimiento, hasta ahora, de sistemas que obtengan resultados satisfactorios en la práctica habitual de las EIA, situación que se pretende resolver con el sistema aquí propuesto.

Los antecedentes del método propuesto y sistema desarrollado están en los modelos generales de EIA del tipo "matriz de Leopold" [LEOP-81], "método de Battelle" [EVER-95] [VIGO-95] [VIGO-96], etc. y en los sistemas de planificación "GRID", "INGRID", "IRANS" [GOME-91] [TOLL-94].

En los últimos años se han desarrollado, y se están desarrollando, un gran número de sistemas relacionados con las EIA y el tratamiento y gestión del agua y del aire; por ejemplo, "MEXSES" [FEDR-95], "GENIE" [FEDR-96] y "CLIMEX" [FEDR-94]. Otros sistemas, como el "QUAL2E", "HYDRO" y "EXSRM", ayudan al usuario en la selección de modelos medioambientales, especificar parámetros e interpretar los resultados [HUSH-90] [FEDR-91] [WRIG-93]. En España, se han desarrollado varios sistemas de EIA basados en informática convencional, entre los que se encuentra el "IMPRO" [GOME-91]. Este sistema, desarrollado con un interfaz muy pobre en modo texto, no incluye ningún grado de conocimiento experto sobre EIA, ni presenta ninguna de las capacidades de aprendizaje deseables para un sistema que pretenda abordar, con éxito, el complejo y amplio dominio de las EIA. Como resultado, el IMPRO ha pasado a formar parte del extenso conjunto de sistemas de demostración del dominio medioambiental.

La mayor parte de estos sistemas no incorporan ninguna de las técnicas abordadas en el presente trabajo (SS.EE, RR.NN.AA, etc.), indispensables para la conclusión de un sistema de EIA eficiente, limitándose a la utilización de una Base de Datos (en adelante BD) convencional que no es capaz de representar y almacenar todo aquello concerniente al tema a tratar.

En general, la complejidad del sistema propuesto necesitará técnicas que permitan trabajar con espacios de búsqueda grandes realizando una aproximación sistemática a la solución del problema por medio de la implementación, entre otros, de métodos de poda en la búsqueda, eliminando aquellos casos no consistentes con los datos objetivos que se poseen [SMIT-89a] [SMIT-89b].

Además, los sistemas que abordan un espacio de soluciones amplio, han de poseer la capacidad de abstraer desde el espacio de búsqueda completo, enfatizando las áreas más importantes del problema que permitan la división del problema global en subproblemas [LENA-90] [LIPE-94] en una labor de análisis para efectuar "a posteriori" la subsecuente labor de síntesis y obtener así la solución completa al problema. En algunas ocasiones, será necesario evaluar conjuntos de soluciones parciales para comprobar su posibilidad de ser viables. En general, la solución del problema se realizará en modo analítico o descendente,

en inglés "top-down", desde los niveles más abstractos a los más concretos, solucionando los diferentes problemas que surjan en cada nivel. Otra de las características que ha de poseer este tipo de sistemas es la capacidad de integrar las soluciones de varios subproblemas, moviéndose entre subproblemas cuando se disponga de la suficiente información para realizar una toma de decisión y suspendiendo la actividad del sistema cuando la información necesaria no esté disponible [FALM-90].

También se debe tener en cuenta la posibilidad de la utilización de varias líneas de razonamiento, ampliando, de este modo, la cobertura de búsquedas incompletas que permitan, además, combinar la potencia de varios métodos [ERMA-80] [ERMA-81] [BALZ-80] [BARK-89]. En este sentido, se analiza la posibilidad de incorporar, por ejemplo, dos SS.EE trabajando de forma cooperativa. Además, la búsqueda de aquellos caminos que permitan integrar en el sistema global tanto SS.EE desarrollados sobre herramientas específicas como implementados en un lenguaje de programación estándar, permitirá dotar al sistema final de los beneficios que aportan ambas aproximaciones [STYL-92] [CUPE-88]. Finalmente, la utilización de Redes de Neuronas Artificiales (RR.NN.AA en lo sucesivo) como técnica alternativa de búsqueda de soluciones permitirá dotar al sistema de los beneficios que aportan la utilización de sistemas conexionistas: aprendizaje a partir de ejemplos, tiempo de educación de conocimientos reducido, procesamiento paralelo, etc. [RUME-94] [JORD-96]. La incorporación de métodos generales y básicos del área de las EIA junto con estructuras conexionistas incorporará al Sistema Híbrido (en adelante SH) la posibilidad de razonar con nuevos casos, datos incompletos, etc., añadiéndole una considerable dosis de robustez y tolerancia a fallos y errores en la percepción y manejo de los datos.

Los dominios de aplicación demasiado grandes suelen dar como resultado unos métodos de representación de los conocimientos demasiado ineficientes. En este sentido, se hace necesaria la utilización de estructuras de datos afinadas. El manejo de grandes cantidades de datos y conocimientos hará necesaria la utilización de Bases de Datos (en adelante BB.DD) que será preciso permitan facilitar su mantenimiento e integración en el sistema final. La enorme complejidad del dominio de las EIA requiere del modelo Entidad Relación Extendido (en adelante ERE) para poder reflejar las intrincadas relaciones derivadas de su

modelización. En concreto, se está hablando de la modelización de relaciones cuaternarias, relaciones de relaciones, relaciones de entidades consigo mismas, etc. Además, este tipo de dominios suele traer parejo, en la mayor parte de los casos, un gran volumen de datos y conocimiento de una naturaleza volátil y cambiante a lo largo del tiempo.

Por todo ello, aquellos sistemas que aborden este tipo de dominios necesariamente han de incorporar diferentes técnicas que permitan mejorar sus conocimientos del dominio, es decir, "capacidad de aprendizaje" [DIET-81] [GENE-82] [CARB-83] [GENT-83]. En la mayor parte de los casos, el aprendizaje en las máquinas se ve limitado a dominios pequeños, precisos y bien definidos. La capacidad de aprendizaje y razonamiento inteligente en un sistema requiere gran cantidad de conocimientos, cuya adquisición va a ser realmente eficaz sólo si el sistema es capaz de aprender gran parte del mismo. Además, el sistema debe poder "olvidarse" de los conocimientos irrelevantes para facilitar el manejo de los datos y no ocupar la tan necesaria memoria ni incrementar el ya de por sí grande espacio de búsqueda. Por consiguiente, aquellos sistemas que tienen por objetivo solucionar problemas complejos encuadrados en grandes dominios de aplicación por medio de la integración de varias tecnologías de IA e Informática convencional, han de incorporar la mayor parte de los diferentes niveles de clasificación del aprendizaje: memorístico, estadístico, por descubrimiento, por analogía, socrático o por ejemplos, por instrucciones, etc. [HORM-83] [PAZO-94a].

Además de la originalidad de los planteamientos teóricos, el presente trabajo de investigación, al enmarcarse en el área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial y presentarse en un entorno de Ingeniería, ha de desarrollarse abarcando algo más que un mero planteamiento teórico; ha de incluir necesariamente un "prototipo de demostración" que corrobore prácticamente y de forma tangible la verdad de la tesis. Con tal propósito, se ha seleccionado el campo de las EIA que, además de su intrínseca complejidad, puede considerarse como uno de los dominios más recientes en los que se está empleando con éxito técnicas de IA. Dado el éxito relativo de la utilización individual de estas técnicas sobre este dominio, se plantea la posibilidad de integrar, para que trabajen de forma cooperativa y coordinada, varias técnicas de IA e Informática convencional, intentando emular, en su proceder, a la propia naturaleza donde casi nunca, por no decir nunca, se abren

todas las puertas con una única llave [SHAN-63]. En principio, es necesario establecer un puente entre los Sistemas Informáticos convencionales para el almacenamiento y procesado de datos, en este caso medioambientales, y los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones basados en la IA. Al respecto, se hace patente la necesidad de desarrollar unos Sistemas Híbridos (en adelante SS.HH) haciendo colaborar SS.EE con RR.NN.AA y Bases de Datos Relacionales (en adelante BB.DD.RR) [GOON-95][RISC-88].

La combinación de técnicas de IA (en particular SS.EE y RR.NN.AA) y de informática convencional (en el presente caso BB.DD.RR), ayudará a solucionar algunos de los problemas de los métodos de identificación tradicionales, como la falta de robustez, profundidad y completitud en los análisis, además de la dificultad de funcionar adecuadamente en determinados problemas del mundo real, como el que aquí se plantea. Los SS.HH deberán incorporar procedimientos de identificación de impactos ambientales a través de análisis del tipo "causa-efecto" y de una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos que se puedan producir.

Es obvio, por la propia esencia del problema y de las herramientas utilizadas, que se trata de sistemas eminentemente heurísticos, donde se pretende asegurar una buena solución que salvaguarde la eficiencia de la solución aportada, a pesar de que pudiera obviarse la solución óptima. En este sentido, el sistema se adapta al viejo dicho de que "lo adecuado puede no ser coincidente con lo ideal", o dicho de otra manera "lo mejor suele ser enemigo de lo bueno".

## **2.2.- ASPECTOS GENERALES SOBRE LA INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS.**

Para considerar a un sistema realmente "inteligente" en su comportamiento se le ha de exigir que posea, al menos, 3 características:

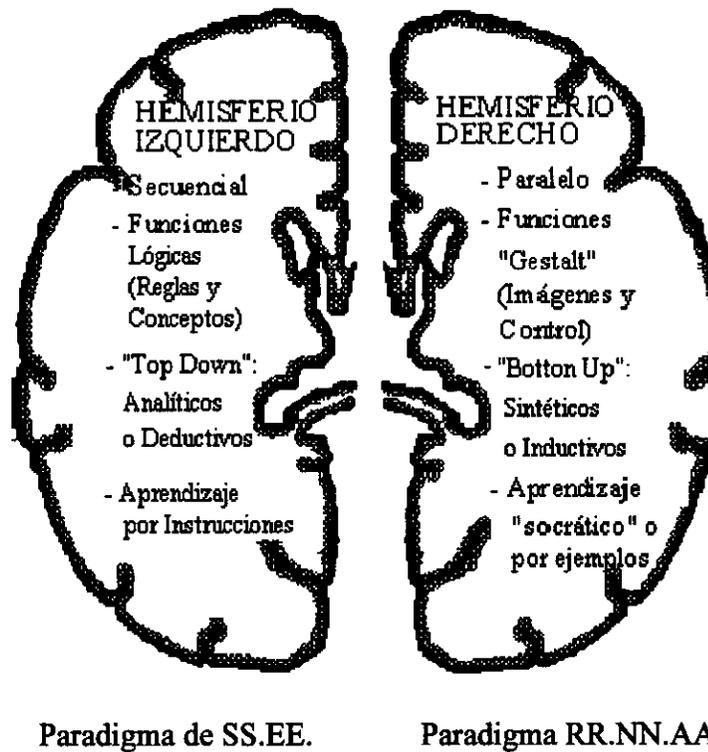
1. Capacidad para considerar y proyectar el pasado: "aprendizaje".
2. Capacidad de analizar y prever el futuro: "análisis de decisión" y "predicción".

3. Intuición en aquellas situaciones donde la proyección del pasado no sea posible: “heurísticas”.

Los Sistemas Conexionistas (SS.CC en adelante) también conocidos como RR.NN.AA, Sistemas Neuromórficos, etc., pueden solventar en gran medida algunas de las deficiencias de los SS.EE y han encontrado su sitio en aplicaciones de diversas áreas como el procesamiento e interpretación de señales biológicas e imágenes, sistemas de toma de decisión, predicción, etc., sustituyendo, y aventajando muchas veces, a otras técnicas convencionales de computación basadas en clasificaciones estadísticas y lógica; e incluso a otras técnicas de IA, como los sistemas basados en conocimientos, SS.EE, etc. [GUTK-92].

Lo que es cada vez más aceptado, por la comunidad científica, es la utilización de cada una de estas técnicas en aquello para lo que se muestran más hábiles. Ello nos lleva a plantear lo que se ha dado en denominar, por algunos autores, como los “Sistemas de Filosofía Híbrida” (SFH) que utilizan de forma cooperativa tanto técnicas y métodos de IA en sus dos enfoques (Simbólico y Conexionista) como de informática convencional [HILL-90] [SUN-95].

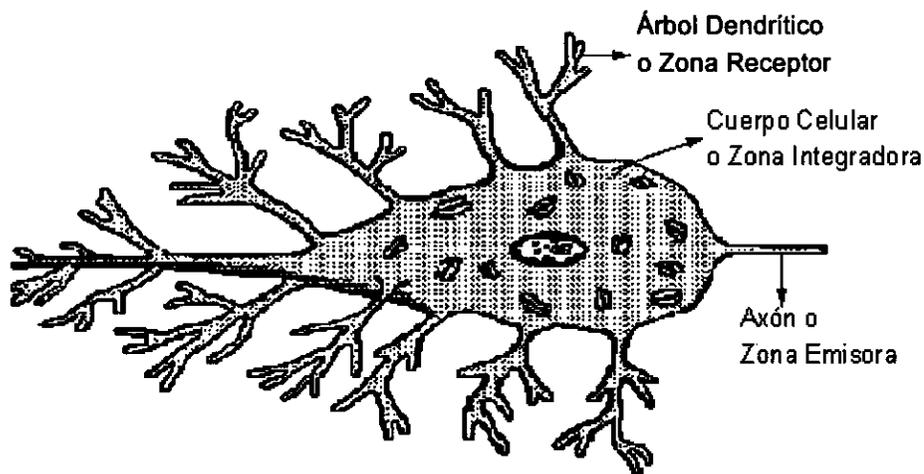
Con dichos SFH no se hace otra cosa que imitar lo que ocurre en el cerebro humano, paradigma de Sistema Inteligente, con la colaboración interhemisférica en el procesamiento natural y fisiológico de la información, pudiéndose equiparar al Hemisferio Izquierdo (en adelante HI) con el Enfoque Simbólico de la IA y al Hemisferio Derecho (en adelante HD) con el Enfoque Conexionista; tal y como se ve en la figura 2.1, donde, en el HI, se aprecian características simbólicas (procede secuencialmente en su actuación, maneja funciones lógicas con conocimientos explícitos en reglas y conceptos o hechos, es deductivo, aprende por instrucciones o reglas, etc.) y, en el HD, características conexionistas (procede en paralelo, maneja funciones “gestalt” con grandes cantidades de datos, procesa noticias y conocimientos al mismo tiempo, es inductivo, tiene un aprendizaje “socrático” o por ejemplos o experiencias, etc.) [PAZO-94a]



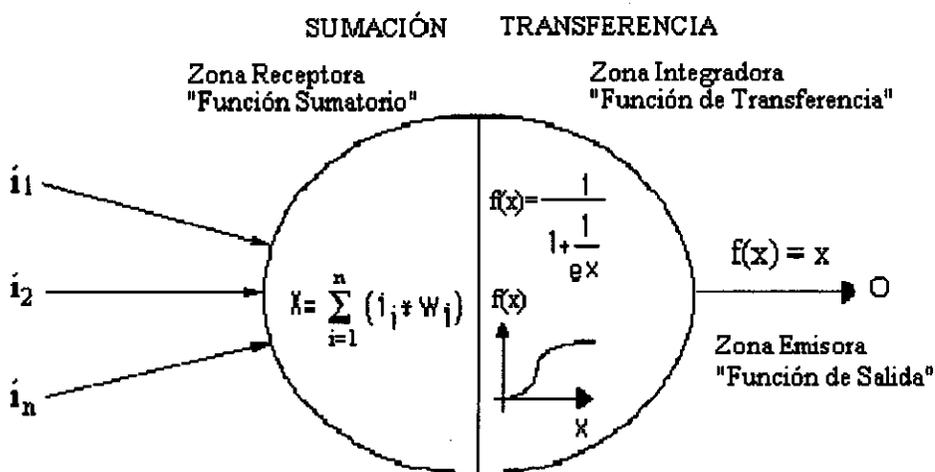
*Figura 2.1.- Hemisferio Izquierdo versus Hemisferio Derecho.*

La principal característica definitoria de los SS.CC es que persiguen la "emulación" del Sistema Nervioso; esto es, simular tanto su función como su estructura. En la simulación de la función intentan obtener resultados análogos a los obtenidos por un ser "inteligente" sin importar demasiado como se consigue; o sea, no importa el tipo de "aprendizaje", "predicción" y "heurísticas" utilizados.

Cuando se aborda la simulación de la estructura de los SS.CC, se tienen que tener en cuenta unos elementos de proceso (en lo sucesivo EE.PP) llamados "Neuronas Formales", emuladores a su vez de las "Neuronas Biológicas" que se interconectan conformando las RR.NN.AA, de forma lo más similar posible a como lo hacen las neuronas biológicas para conformar el Sistema Nervioso. Un ejemplo de la formalización de estos elementos se ve en la figura 2.2 [PAZO-94a].



NEURONA BIOLÓGICA TÍPICA



NEURONA FORMAL TÍPICA

Figura 2.2.- Modelización de la Neurona Biológica.

Las otras características, además de estar conformadas por algún tipo de estas Neuronas Formales o Elementos Formales, que se pueden considerar definitivas de los sistemas conexionistas son las siguientes [McCU-43]:

- Poseen una gran cantidad de Elementos Formales de proceso, en adelante EE.FF, y cada uno de ellos presenta un elevadísimo número de conexiones con el resto de elementos del

sistema, lo cual permite multiplicar los circuitos, estando ello relacionado con tres propiedades intrínsecas de estos sistemas: redundancia, tolerancia a fallos y robustez.

- Cada Elemento Formal (en lo sucesivo EF) procesa la información independientemente del resto, lo cual está relacionado con la reducción del ruido (no propagación del ruido) y el paralelismo (puede manejar al mismo tiempo distintas variables independientes).
- Cada EF está relacionado solamente con información local. Esta característica está relacionada con la reducción del ruido y el paralelismo, mejorándose notablemente con ello la eficiencia de estos sistemas.

Además, los sistemas que incorporan las características aquí presentadas (módulos formales conectados entre sí) han demostrado que pueden tener capacidad de aprendizaje; tomado éste como un proceso que cambia los pesos de las conexiones entre los elementos constituyentes de la red, de forma que los patrones de los datos de entrada al sistema son almacenados en dichas conexiones. La inmensa mayoría de los mecanismos de aprendizaje que utilizan estos sistemas conexionistas están inspirados biológicamente y surgen a partir de los trabajos de Donald Hebb, sobre todo de aquel en que define cómo se podrían modelizar las conexiones entre los elementos formales que emulan el comportamiento de los biológicos, en las denominadas "Sinapsis de Hebb" [HEBB-49]. También han demostrado "capacidad de predicción" siendo posible, utilizándolos, prever el elemento siguiente de una serie en función de los elementos anteriores. Por último, también son capaces de establecer heurísticas gracias a su posibilidad de agrupar un patrón con el más parecido de los que tiene almacenados, dentro de unos límites de convergencia, sin tener que esperar a encontrar un patrón exactamente igual [PAZO-96a].

Se ha de tener en cuenta que las RR.NN.AA necesitan relativamente pocos recursos en la educación de la información necesaria para su implementación, son capaces de obtener una gran precisión y pueden realizar su procesamiento en tiempo real. Las aproximaciones basadas en SS.EE que intentan construir un solucionador de problemas de propósito general, encuentran serios inconvenientes ya que a medida que aumenta la complejidad de un problema, también lo hace el número de caminos mediante los cuales se puede llegar a la solución y el sistema puede requerir gran cantidad de recursos llegando a ser demasiado lento [RUME-86]. Las aproximaciones con SS.EE se consideran aceptables cuando el dominio es

estrecho y perfectamente definido; además, se pueden utilizar las heurísticas para realizar una "poda" y de este modo limitar el espacio de búsqueda [WATE-86].

Las ventajas y desventajas de ambas aproximaciones ayudan a entender mejor el enorme potencial de los SS.HH. En la comparación entre una aproximación simbólica y una conexionista, se hacen evidentes varias ventajas en la utilización de RR.NN.AA antes que los SS.EE en determinadas aspectos como los siguientes [SMOL-88] [HONA-94] [RUME-89]:

1. Aprendizaje a partir de ejemplos del dominio de trabajo. Es lo que se conoce como "aprendizaje socrático". Esta cualidad se hace más determinante cuando se abordan problemas donde no existe un experto "genuino" que posea los conocimientos precisos y que sea capaz de explicitarlo en una forma que permita al Ingeniero del Conocimiento hacerlo comprensible y manejable por la computadora.
2. Capacidad de generalización. Las RR.NN.AA poseen la capacidad de extraer regularidades del conjunto de ejemplos. Gracias a ello se pueden abordar, de una forma eficaz, situaciones nuevas no contempladas con anterioridad.
3. Direccionamiento por el contenido. Otra de las posibilidades de las RR.NN.AA es el de la reconstrucción de patrones a partir de entradas incompletas, pudiendo contemplarse esto, en parte, como "creatividad computacional" o "descubrimiento computacional".
4. Tolerancia parcial a ruido y errores. Los sistemas conexionistas tienen un buen comportamiento ante entradas con ruido y, o, parcialmente erróneas o incompletas. Con ello se considera que puedan tener un comportamiento aceptable en problemas del mundo real donde las entradas a los sistemas raramente son "limpias" y "completas".

En contrapartida, los sistemas conexionistas afrontan con mayor dificultad las tareas relacionadas con el razonamiento a "alto nivel". Comparándolos con los modelos simbólicos, los conexionistas tienen las siguientes limitaciones [RUME-86] [JORD-86] [ELMA-88] [MOZE-88] [SERV-88] [TOUR-88] [MIYA-89] [HINT-81] [SHAS-84] [TOUR-86] [SMOL-87] [ELMA-89]:

1. Aplicabilidad a problemas de un menor rango de dominios. Las RR.NN.AA se aplican, principalmente, cuando no existe un "experto genuino" que proporcione adecuadamente

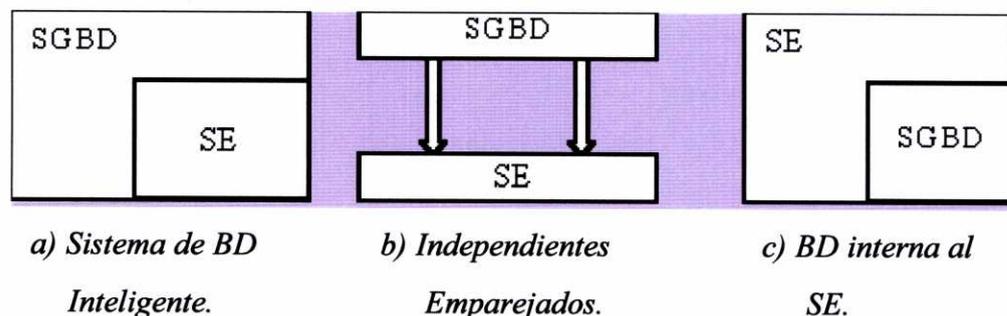
sus conocimientos, en la resolución de problemas de: clasificación, predicción, optimización, control, etc. Los sistemas simbólicos, además de su aplicación en estos dominios, aunque no siempre con la eficiencia necesaria, se utilizan, con relativo éxito por diferentes motivos, en tareas relacionadas con diseño, planificación, configuración, toma de decisión, etc.

2. Capacidad de explicación muy reducida. Algunos investigadores intentan buscar una relación entre la estructura y dinámica de las matrices de pesos de las RR.NN.AA y una explicación lógica de los resultados obtenidos. En general, las explicaciones que una Red de Neuronas Artificiales (en lo sucesivo RNA) puede aportar estarán en función de las características que la definan (pesos, algoritmo de aprendizaje, función de activación, etc.), y no del nivel del dominio del problema, de mayor interés y utilidad para el usuario final. Los SS.EE tienen más y mejores procedimientos de explicación de su actuación lo que los hace más idóneos para tareas de toma de decisión.
3. Procesado secuencial pobre. Los SS.CC tienen más dificultades que los SS.EE en tareas que requieren un procesado secuencial. Esta carencia ha sido eliminada, pero sólo en parte, con la aparición de RR.NN.AA recurrentes.
4. Las RR.NN.AA tienen una cierta dificultad en la representación de estructuras de conocimientos del tipo: conceptos jerárquicos, grafos y redes inferenciales, etc. Algunos autores han intentado abordar este problema por medio de la representación de estructuras de información en las conexiones de la RNA pero todavía sin el éxito esperado.

Tecnológicamente, se hace necesaria la colaboración entre los sistemas simbólicos y conexionistas, puesto que hay fases en el proceso de resolución de problemas en los cuales las aproximaciones por separado encuentran dificultades [MEDS-94].

Resumiendo, las RR.NN.AA resultan de gran ayuda en tareas relacionadas con el reconocimiento de patrones, la adquisición de conocimientos a partir de ejemplos o de grandes BB.DD, la captación y clasificación de datos de grandes BB.DD del dominio de trabajo, la creatividad o descubrimiento computacional, el control de procedimientos complejos, etc. Mientras que los SS.EE tienen mayores facilidades para la explicación de resultados, toma de decisión, análisis y búsqueda de fallos en el sistema, etc.

Tradicionalmente, la interacción entre los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SS.GG.BB.DD en plural y SGBD en singular) y los SS.EE, puede reflejarse en los tres tipos de arquitecturas que se muestran en la figura 2.3:



*Figura 2.3.- Arquitecturas de interacción entre SS.GG.BB.DD y SS.EE.*

Mediante esta interacción se consigue, por una parte, cubrir muchos de los puntos débiles de las BB.DD al realizar tareas que implican manejar una gran cantidad de información y, por otra, mejorar la capacidad de los SS.EE para utilizar y acceder a grandes BB.DD existentes como una extensión de su propia base de conocimientos [GIOI-91]. La principal característica de las bases de datos inteligentes (en adelante BB.DD.II) es que manejan la información de forma natural, haciéndola fácil de almacenar, acceder y utilizar [PARS-90]. La arquitectura propuesta en el presente trabajo de investigación, incorpora, entre el SE y el SGBD, un sistema de control que se encarga de gestionar y controlar los flujos de información entre ambos subsistemas.

En este contexto, la tecnología de SS.EE intenta cubrir la necesidad de una semántica más robusta de los lenguajes de BB.DD. Además, los SS.EE proporcionan dinamismo a las BB.DD dándoles la capacidad de razonar e inferir nueva información a partir de la que ya tienen. Esto da lugar a una capacidad de automodificación, así como a la habilidad de razonar acerca de las necesidades de información del usuario, aún cuando éstas no han sido explícitamente mencionadas.

Las BB.DD.II, en general, son el resultado de la integración de las aproximaciones tradicionales de BD junto con otros campos más recientes como [MCKA-90] [LAKS-94] [BROD-89] [NYGA-86] [TRAU-91] [CATT-91]:

- ◆ Programación orientada a objetos, que proporciona la capacidad de hacer el modelo de la BD muy similar al modelo del usuario del mundo real.
- ◆ Sistemas Expertos, que incorporan dos tipos de soporte:
  - Capacidad de programación de más alto nivel. En este sentido, la integración de SS.EE y SS.GG.BB.DD es particularmente atrayente porque el usuario puede manipular la semántica de la BD de forma directa. Esto elimina la necesidad de predefinir complejos constructores semánticos con el lenguaje básico de la BD para acceder a la información. Los SS.EE no sólo incorporan un modo de almacenar la experiencia y hacerla disponible cuando sea necesaria, sino que también suministran arquitecturas de más alto nivel, útiles para la programación de BB.DD. Estos constructores incluyen reglas regresivas o hacia atrás, en inglés “backward” y progresivas o hacia delante, en inglés “forward”, predicados encadenados, representación de los conocimientos y predicados relacionales. Las reglas regresivas se inician con la meta o hipótesis de su parte conclusión y se encadenan hacia atrás siguiendo los caminos que pudieran llegar a dicha meta. En contrapartida, las reglas progresivas parten de su condición hacia alguna posible meta o conclusión.
  - Un formalismo de representación de conocimientos, que proporciona hechos y reglas, a manejar por el motor de inferencia, como herramientas básicas para la representación de los conocimientos e inferencia de las BB.DD.II.

Para conectar un SE con una BD en el entorno de las BB.DD.II, se requiere algo más que un simple enlace de entrada/salida entre ambos sistemas; es decir, algo más que poseer capacidad de importar y exportar datos. La integración debe darse en los siguientes niveles [CHIG-91]:

1. Nivel de lenguaje. En términos de la sintaxis de lógica en todo el sistema y de la arquitectura subyacente para implementarla.

2. Nivel de entorno de desarrollo de programas. Esto es, desarrollar aplicaciones usando técnicas de Bases de Conocimientos y BB.DD.
3. Nivel de entorno de usuario. Sólo interactuará con un sistema que tenga las capacidades de los dos.

En determinadas ocasiones, el número y complejidad de las reglas y hechos es tal que requiere que sean organizados en una BD. Las razones que justifican esta afirmación son:

1. Los hechos se almacenan mejor, la mayoría de las veces, en BB.DD. Las BB.DD. permiten el acceso compartido a varios usuarios, fuerzan comprobaciones de integridad para mantener la consistencia de los datos facilitando el mantenimiento y tienen mecanismos de recuperación ante errores. En cambio, cuando los datos en un SS.EE se introducen desde un terminal no se comparten y se pierden si el sistema cae. Además, en ciertos dominios hay datos que, por razones de seguridad, no se pueden preguntar al usuario y que, sin embargo, se podrían obtener de una BD del sistema.
2. A veces se tienen demasiados hechos para almacenar en memoria. El elevado número de hechos en tratamiento puede requerir su almacenamiento en dispositivos secundarios.
3. Las reglas necesitan, para su manejo optimizado, indexación y organización. Los primeros SS.EE asumieron que solamente almacenando las reglas como reglas de producción sería fácil añadir nuevas reglas. Pero, al crecer su número, se comprobó que no se podía garantizar su consistencia o que se repitiera la misma información con ligeras variaciones. Además, el tiempo de búsqueda para reglas relevantes crecía rápidamente. Para remediar esto, se desarrollaron los sistemas basados en "marcos", en inglés "frames", donde las reglas son "métodos" para enlazar "marcos" con objetos representados. El formalismo de "marcos" se ha revelado como la técnica de representación de conocimientos más utilizada en IA cuando los conocimientos del dominio están organizados en base a conceptos. Los conocimientos que se expresan en los "marcos" son conocimientos declarativos del dominio. En este sentido, los "marcos" se corresponden con registros que tienen información "hechos" acerca de objetos, como en una BD convencional. Además, los "marcos" incluyen conocimientos procedimentales que reflejan cómo utilizar el "marco", qué se espera que suceda, así como el conjunto de acciones que se deben realizar ante ciertas situaciones. Los "marcos" organizan los conocimientos del dominio en

árboles, o en grafos, ambos contruidos por especialización de conceptos generales en conceptos más específicos. En general, un sistema basado en “marcos” utiliza como técnicas de inferencia la equiparación, para clasificar entidades en una jerarquía; herencia simple y herencia múltiple, para compartir propiedades que están distribuidas en la jerarquía de conceptos o en el grafo, respectivamente; y valores activos y métodos para representar la conducta del sistema [GOME-97]

Existen varias aproximaciones que justifican la integración de ficheros de datos o BB.DD en los SS.HH, siendo las más destacadas las siguientes [PARS-89] [ILLA-88]:

1. Menús de selección. El SE puede inferir, dentro de un conjunto de opciones, que sólo un subconjunto de las elecciones incluidas en el fichero son aplicables en una determinada situación, entonces busca en el fichero de registros los que se emparejan con una condición específica. Los valores para la construcción del menú se toman sólo de los registros que satisfagan la búsqueda.
2. Cuestiones y preguntas cortas. Las respuestas a las preguntas residen en un fichero de datos o en una BD. El SE interroga a esta fuente en vez de obligar al usuario a introducir manualmente la información. Otra aproximación consiste en tener programas que creen un fichero de datos que suministra al SE los valores iniciales.
3. Razonamiento hipotético. Algunos datos utilizados por el SE se almacenan en fuentes de datos externas y se cargan con el propósito de explorar su relevancia. Si los resultados de esta exploración se adaptan al caso del usuario, la consulta prosigue. En caso contrario, se intenta otro o se abandona la consulta.
4. El SE lleva a cabo una inferencia para crear un fichero de requisitos. Entonces examina todo o parte de un fichero de datos para encontrar registros que se adapten a estos requerimientos.

En general, las BB.DD.II permiten recuperar conocimientos en lugar de datos y utilizar heurísticas e inferencia para determinar las necesidades de información del usuario.

La integración de RR.NN.AA con BB.DD permitirá la generación automatizada, mediante la utilización de un lenguaje relacional, de múltiples conjuntos de entrenamiento y “test” de

RR.NN.AA. En este sentido, la aproximación propuesta integra, en el SH final, una jerarquía de RR.NN.AA obtenidas a partir de los resultados de la aplicación de varias sentencias relacionales sobre la BD del sistema.

1. Emite la sentencia relacional o consulta, en inglés "query", de entrada. El resultado compondrá la información de la capa de entrada para un entrenamiento supervisado.
2. Emite la sentencia relacional o consulta de salida. El resultado compondrá la información de la capa de salida.
3. Generación automatizada de conjuntos de entrenamiento y "test". El sistema debe incluir la posibilidad de manipular directamente los conjuntos resultantes.
4. Generación de diferentes arquitecturas de RR.NN.AA. El sistema debe incluir la posibilidad de manipular directamente los parámetros definitorios de las arquitecturas resultantes.
5. Entrenamiento de las RR.NN.AA. El sistema debe incluir diferentes herramientas de monitorización que permitan evaluar la trayectoria de su proceso de aprendizaje.
6. "Test" de las RR.NN.AA. El sistema realiza el "test" de las RR.NN.AA previamente entrenadas para cuantificar su capacidad de generalización.
7. Almacenamiento de la RNA. El sistema almacena las RR.NN.AA, para su posterior utilización en la fase de ejecución, en una BDR. Esta BD deberá contener las diferentes RR.NN.AA generadas por el sistema incluyendo, así, toda una jerarquía de sistemas conexionistas. De esta forma, las estructuras de representación de las RR.NN.AA incorporan las posibilidades de las BB.DD (integridad, consistencia, consultas relacionales, etc.) y, además, con el planteamiento propuesto, diferentes aplicaciones, incluso remotas, podrán utilizar los sistemas conexionistas generados.

Aunque muchos de los desarrollos realizados con RR.NN.AA utilizan BB.DD, en la mayor parte de las ocasiones no se hace hincapié en este hecho, no se le da toda la importancia que debería tener.

Además, no se encuentran referencias en la literatura especializada (Nueral Networks -1991 a 1998-, Neural Computation -1989 a 1997-, Networks: Computation in Neural Systems -1990 a 1997-, Neural Networks World: International Journal on Neural and Mass-Parallel

Computing –1994 a 1997-, International Journal of Neural Systems –1990 a 1997-, Neural Processing –1995-1997-, Neurocomputing –1993 y 1994-, IEEE Transactions on Neural Networks –1990 a 1995-, etc.) que aborden con mayor o menor detalle este asunto; en cambio, sí es un asunto con suficiente entidad como para que se aborde de forma independiente.

La colaboración entre los sistemas simbólicos, conexionistas y BB.DD permitirá abordar, con un elevado grado de éxito, los dominios de trabajo que se pretenden afrontar en el presente trabajo de investigación.

### **2.3.- FUNDAMENTOS DE BASES DE DATOS.**

En este punto, se referencian las publicaciones más relevantes sobre BB.DD que incluyen las nociones básicas que se consideran imprescindibles para entender los aspectos relacionados con el diseño e implementación de BB.DD [CHAM-76] [CARD-85] [FADD-94] [PRAT-94] [SCHK-79] [KORT-91] [ELMA-94] [KROE-95] [ONEI-94] [ROB-95].

En este sentido, el diseño conceptual de las BB.DD se fundamenta en el modelo de Entidad Relación (en adelante ER) [CHEN-76] y en la descripción de los datos como entidades, relaciones y atributos [CHAM-76] [SCHK-79] [CARD-85] [ELMA-94] [FADD-94] [ONEI-94] [PRAT-94] [KROE-95] [ROB-95].

Una limitación del modelo ER a destacar es el no poder expresar relaciones entre relaciones. Para ilustrar el porqué de la necesidad de una construcción de este tipo, se ha de imaginar que se tiene una BD que describe información acerca de las acciones que pueden producir un cierto impacto ambiental en un conjunto de factores ambientales y, además, el impacto entre una acción y un factor ambiental puede sugerir otras posibles parejas de impacto entre acciones y factores ambientales, como se muestra en la figura 2.4.

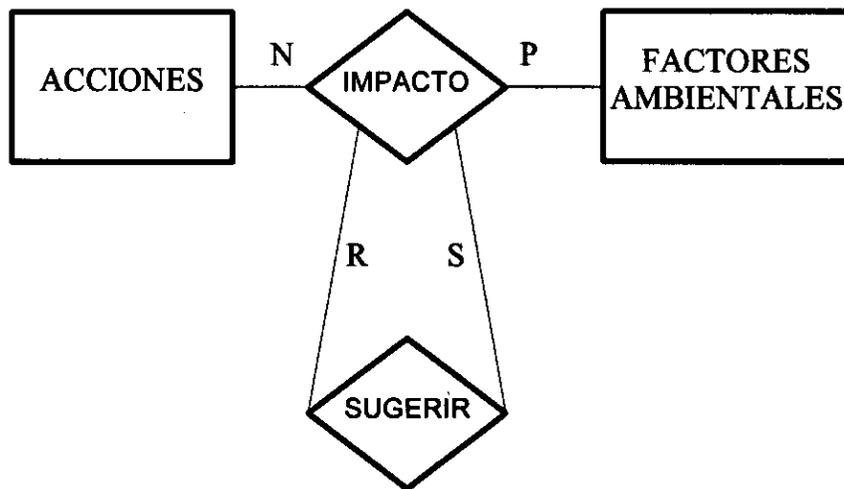


Figura 2.4.- Modelo ER ejemplo de agregación.

Los conjuntos de relaciones *impacto* y *sugerir* pueden combinarse para formar un único conjunto de relaciones. Sin embargo, si esto se hiciese, no podría verse claramente la estructura lógica de este esquema. La solución consiste en utilizar la agregación, que es una abstracción por medio de la cual las relaciones se tratan como entidades de alto nivel [CODD-79]. De este modo, el conjunto de relaciones *impacto* y los conjuntos de entidades *acciones* y *factores ambientales* pueden tratarse como un conjunto de entidades de más alto nivel llamada *acción\_factor*, como se ve en la figura 2.5.

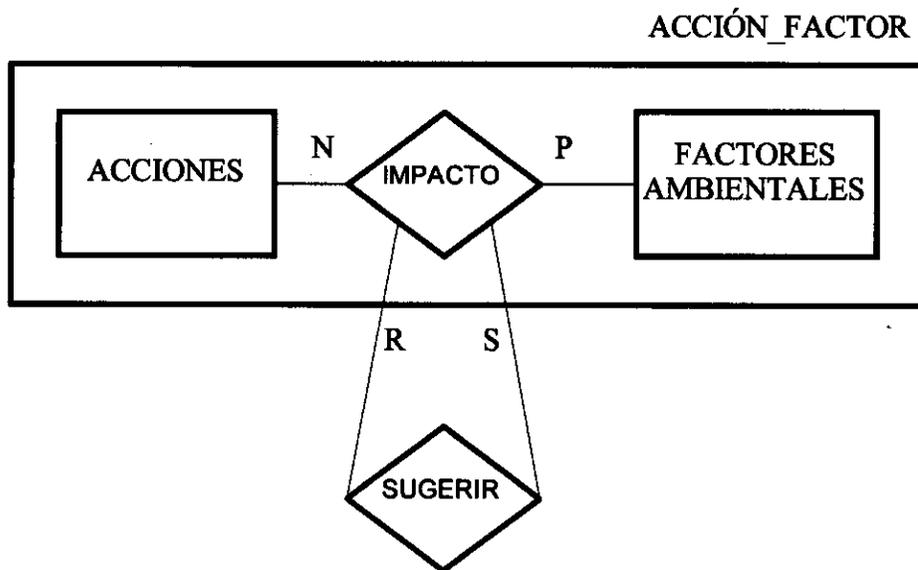


Figura 2.5.- Ejemplo de Agregación.

El modelo relacional de datos utilizado está basado en una estructura de datos simple y uniforme -la relación- y tiene un fundamento teórico sólido [CODD-71a] [CODD-71b] [CODD-74a] [CODD-74b] [CODD-79] [CODD-82] [CODD-90].

#### **2.4.- FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS.**

Al igual que en el punto anterior, en este apartado se referenciarán las publicaciones más relevantes sobre SS.EE e Ingeniería del Conocimiento que incluyen las nociones que se consideran imprescindibles en el presente desarrollo [WATE-86] [MATE-88] [GOME-97].

Como fundamento básico de SS.EE, se ha de considerar la definición formulada por Feigenbaum [FEIG-82]: "Un SE es un conjunto integrado de programas que incorporan el conocimiento especializado y la experiencia de expertos humanos en un dominio determinado para la resolución de problemas, problemas que son lo suficientemente complejos como para que su solución requiera una experiencia y conocimiento experto considerables".

Cabe destacar que, en el desarrollo de un SE, existen dos figuras clave: los Expertos "genuinos" en el dominio y los Ingenieros del Conocimiento cuyas funciones son, entre otras, determinar el dominio en amplitud y profundidad, educir los conocimientos de los expertos, estructurar dichos conocimientos, implementarlos en un sistema informático y verificar y dirigir la validación del sistema [MATE-88].

El principal problema para la creación de un SE es el de la educación de los conocimientos teóricos y prácticos del experto o expertos, así como la familiarización con los términos y conceptos del dominio de trabajo, de forma que sus conocimientos puedan ser representados para su ulterior manejo por un computador [WIEL-88].

Para facilitar la educación, se dispone de una serie de técnicas: entrevistas (abiertas y estructuradas), observación de tareas habituales, incidentes críticos, clasificación de conceptos, cuestionarios, análisis de protocolos, emparrillado, inducción, etc. [GOME-97]

Cuando se desarrolla un SE, por una parte, se trata de analizar el razonamiento de un experto para codificarlo por medio de un lenguaje de programación o herramienta de desarrollo y, por otra, se trata de sintetizar y estructurar los razonamientos para que cuando se ejecuten en el computador se obtengan unos resultados lo más parecidos posibles a los que obtendrían los expertos [HAYE-83]. De lo que se trata, al cabo, es de simular en la computadora el modo de resolver los problemas de los expertos en el dominio.

Sin entrar en los detalles característicos de cada uno de sus diferentes elementos, la figura 2.6 muestra la estructura básica de un SE [HARM-85].

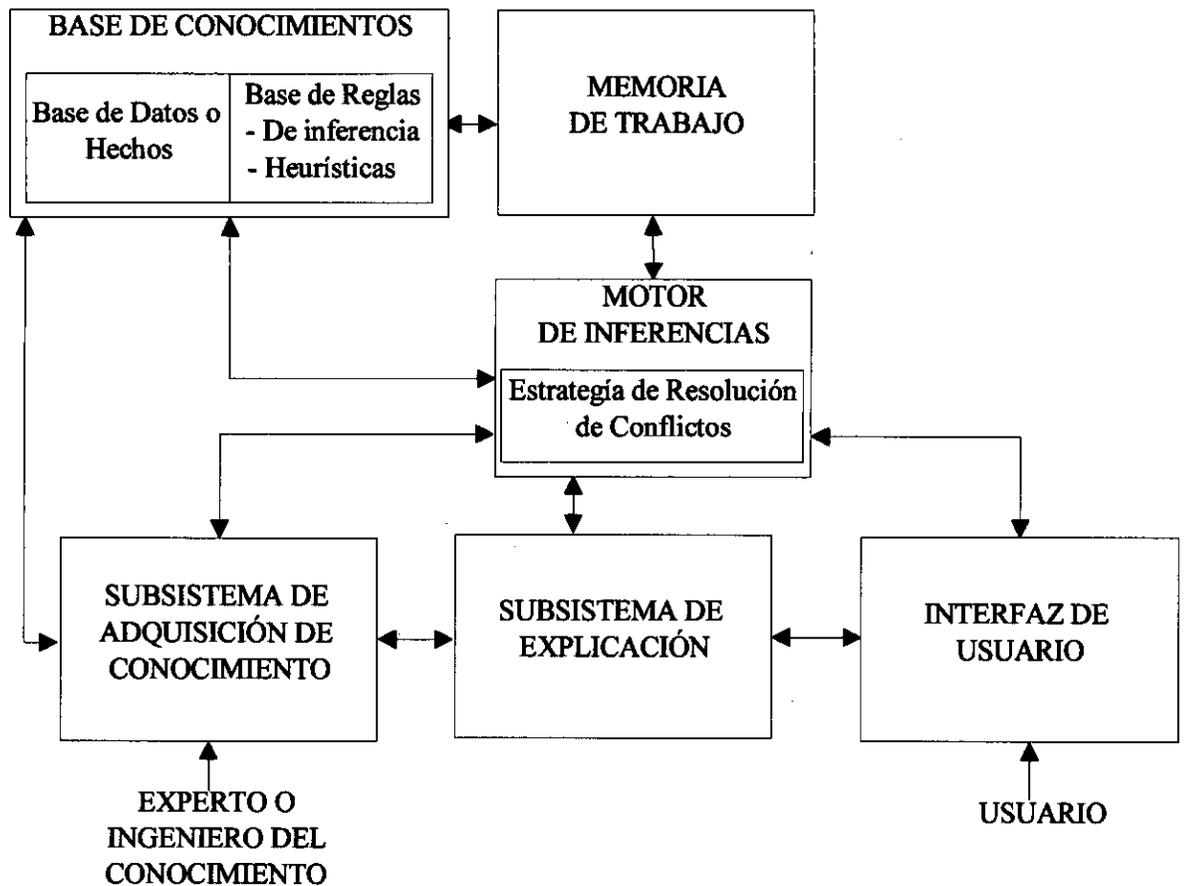


Figura 2.6.- Estructura básica de un SE.

A la hora de implementar un SE, se debe considerar la complejidad del dominio del problema a tratar y los distintos factores que intervienen, entre los que se encuentran los siguientes [PRER-90]:

- Amplitud del dominio. Esta característica afecta al tamaño de la base de conocimientos, incrementando la dificultad de construir relaciones de decisión y su control en la resolución del problema.
- Tasa y forma de cambio de la base de conocimientos y reglas de decisión. Los conocimientos no son estáticos. La aparición de nuevas reglas, entre otras cosas, hace que el conocimiento utilizado sea muy cambiante, lo que incrementará considerablemente la complejidad del SE.
- Entorno de operación. Como, por ejemplo, la tasa de "acierto-fallo".

En este punto, se debe hacer una breve introducción de los sistemas basados en reglas (en adelante, SBR), que aparecen con la idea de estructurar los conocimientos de una forma modular, incrementable y decrementable, que facilite la representación del conocimiento y su inferencia. En esto radica la diferencia fundamental con los programas de informática convencionales, en los que su estructura global descansa fundamentalmente en algoritmos, mientras que los SBR utilizan reglas para describir de una forma natural los conocimientos procedimentales del dominio de trabajo [HARM-85].

Un SBR incorpora conocimiento procedimental, experto o no, en forma de reglas de producción. Se puede hablar de un SE basado en reglas siempre y cuando parte del conocimiento incluido en el sistema en forma de reglas sea "experto".

Nuevamente, sin entrar en los detalles característicos de cada uno de sus diferentes elementos, la figura 2.7 representa el esquema organizativo de un SBR.

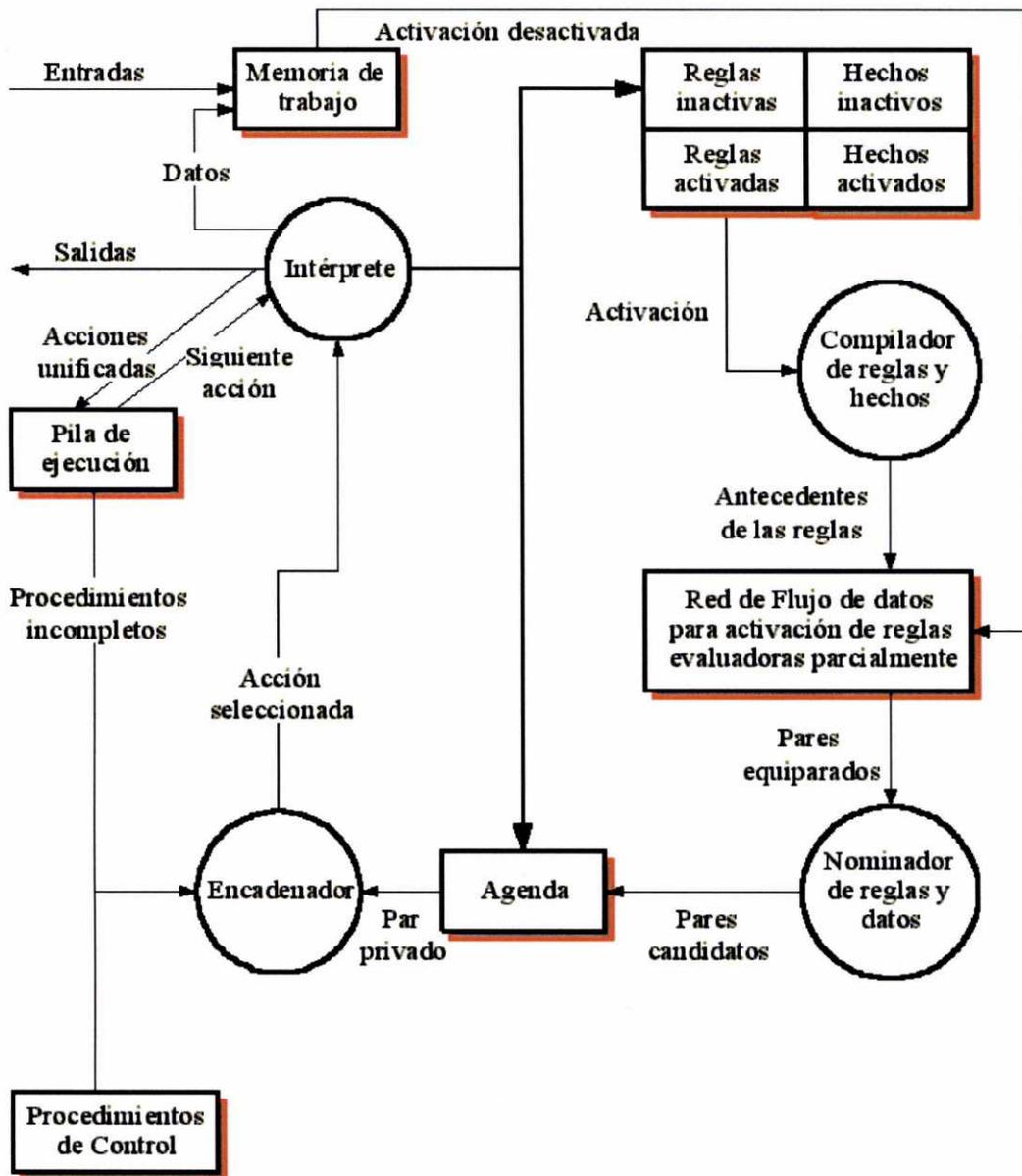


Figura 2.7.- Esquema organizativo de un Sistema Basado en Reglas.

## 2.5.- FUNDAMENTOS DE REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES.

Las RR.NN.AA se inscriben en la perspectiva conexionista de la IA, siendo su objetivo principal el de la emulación o simulación estructural y funcional de las redes de neuronas biológicas [HAYK-94]. El primer modelo de neurona artificial fue propuesto por McCulloch y Pitts en 1943 [McCU-43]. En la figura 2.2 del presente capítulo se ha mostrado la modelización de la Neurona Biológica.

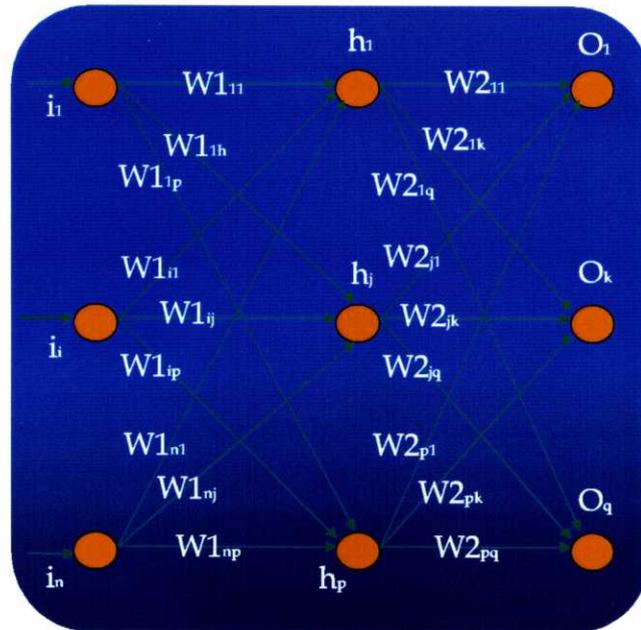
Se puede hablar de las RR.NN.AA como un conjunto de neuronas artificiales o EE.PP capaces de ajustar los pesos de sus conexiones, mediante un proceso de aprendizaje, para que su comportamiento sea el esperado. En otras palabras, se puede ver el aprendizaje como la relación entre una entrada y una salida acompañada, la mayor parte de las veces, por cambios en los valores de algunas de las conexiones existentes entre los elementos de la red.

Las características específicas de los sistemas conexionistas son las ya citadas en el punto 2.2 del presente documento.

Además, los sistemas que incorporan dichas características han demostrado que pueden tener capacidad de aprendizaje; tomado éste como un proceso que cambia los pesos de las conexiones entre los elementos constituyentes de la red, de forma que los patrones de los datos de entrada al sistema son almacenados en dichas conexiones. La inmensa mayoría de los mecanismos de aprendizaje que utilizan estos sistemas conexionistas están inspirados biológicamente y surgen a partir de los trabajos de Donald Hebb, sobre todo de aquel en que define cómo se podrían modelizar las conexiones entre los elementos formales que emulan el comportamiento de los biológicos, en las denominadas "Sinapsis de Hebb" [HEBB-49].

Las reglas de aprendizaje son las encargadas de indicar cómo se han de modificar los pesos sinápticos de las RR.NN.AA para que su respuesta sea "correcta". Sin entrar en detalles de cada una de ellas, únicamente indicar que entre las reglas de aprendizaje más conocidas están [SANT-96]: la regla de Hebb [HEBB-49], la regla de Widrow-Hoff o regla Delta, la regla de Roseblatt o regla del Perceptrón [ROSE-62] [MINS-69], la regla de Retropropagación o regla Delta Generalizada [WEB-74] [RUME-86] [BLUM-92], etc.

La figura 2.8 representa un modelo de RNA con tres capas de EE.PP: de entrada, oculta y de salida, relacionadas por medio de dos matrices de pesos.



*Figura 2.8.- Modelo de RNA con alimentación hacia adelante.*

Cada neurona estará formada por una serie de entradas  $x_i$ . Cada conexión que va de la neurona  $i$  a la neurona  $j$  estará ponderada con el peso  $w_{ji}$ . La función de activación de la neurona será la suma de los productos de cada entrada a esa neurona por su peso correspondiente. Normalmente, se empleará una función sigmoide o hiperbólica tangente (continuas, monótonas, no decrecientes y derivables), dependiendo de si los valores de entrada a los EE.PP están entre -1 y +1 ó entre 0 y 1 respectivamente.

En la actualidad, las RR.NN.AA se están aplicando, sobre todo, en tareas de [MAMM-91]:

- PREDICCIÓN.
  - dbd: “Delta Bar Delta”
  - drs: “Directed Random Search”
  - edbd: “Extended Delta Bar Delta”
  - bkpfuns, bkpcir: “Backpropagation”
  - dnna: “Digital Neural Network”
  - som: “Self-Organizing Map”
  - adaline: “Adaline (Adaptive Linear Network)”
  - madaline: “Multiple Adaline Network”

- **CLASIFICACIÓN.**
  - catlrm: “Categorical Learning”
  - cntprop: “Counterpropagation”
  - lvq: “Learning Vector Quantization”
  - pnn: “Probabilistic Neural Network”
  - som\_cat: “Self-Organizing-Map into Categorization”
  
- **ASOCIACIÓN.**
  - bam: “Bidirectional Associative Memory”
  - boltzcmp, bolzio: “Boltzmann Pattern”
  - hamming, hamlit: “Hamming Network”
  - hopfield: “Hopfield Network”
  - spr: “Spatio-Temporal Pattern Recognition”
  - art: “Adaptive Resonance Theory”
  - som: “Self-Organizain Map”
  
- **FILTRADO.**
  - recirc: “Recirculation”

## **2.6.- FUNDAMENTOS DEL PROBLEMA A RESOLVER: LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL.**

### **2.6.1.- INTRODUCCIÓN.**

El concepto de medio ambiente tiene dos acepciones claramente diferenciadas, según se aplique en los países industrializados o en vías de desarrollo. En los primeros la evaluación ambiental se concentra fundamentalmente en los aspectos de contaminación; mientras que, en los segundos, el concepto tiene un carácter socioeconómico y político más que tecnológico, puesto que se consideran problemas ambientales prioritarios los derivados del propio subdesarrollo.

En el presente trabajo, se abordará el primer caso, por ser el que aquí interesa, sin que por ello deje de preocupar el caso de los países menos desarrollados que, sin duda, precisan de una mayor dedicación y esfuerzo, si cabe, que el de los países industrializados.

Los dos grandes componentes que representan el medio ambiente desde la perspectiva de los diferentes niveles de impactos ambientales son [BOLE-89]:

- Medio ambiente natural: define las características del entorno en el que se desarrolla la vida en la tierra y puede dividirse en atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera.
- Medio ambiente social: define la forma en que las sociedades humanas se han organizado y funcionan para satisfacer sus necesidades básicas. El "Institute for European Environmental Policy" considera que el medio ambiente social se compone de infraestructuras materiales construidas por el hombre, sistemas sociales y sistemas institucionales [INST-94].

#### **2.6.2.- DEFINICIÓN DE EIA.**

Se considera que existe impacto ambiental cuando una acción o actividad produce alteración en el medio ambiente o en alguno de sus componentes. Por lo tanto, en estos estudios, es fundamental la cuantificación de esta alteración [GOME-94].

Teniendo esto en cuenta, conviene analizar la posible respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuándo es suficientemente importante una alteración del medio ambiente como para prevenir de efectuar una determinada actividad?.
- ¿Cuál sería la base de actuación para la evaluación del impacto ambiental ante una alteración del medio ambiente?.
- ¿Cuáles son los parámetros ambientales o los conceptos críticos que deben ser considerados en la evaluación de una posible alteración?.

En la definición de impacto ambiental, se debe abarcar tanto el medio natural como el social; pero, en el caso que aquí interesa, se destacarán dos aspectos: el "ecológico", orientado hacia los estudios de impacto físico o geobiofísico y el "humano", que contempla las facetas sociopolíticas, socioeconómicas y culturales. En ambos casos, se plantearán los efectos a corto, medio y largo plazo sobre los ecosistemas naturales.

En los estudios de impacto ambiental, se evalúan las consecuencias de una acción, para ver las alteraciones en la calidad del ambiente que se tendrían con o sin dicha acción. Tales evaluaciones deben realizarse en la fase previa de los proyectos que puedan incidir en el medio ambiente, antes de que éstos se realicen, con objeto de poder efectuar una mejor planificación y formulación de propuestas desde el punto de vista medioambiental, considerando los factores ambientales por parte de quién corresponda a la hora de decidir que se apruebe una propuesta o se determine una alternativa [GILP-95]. En definitiva, se aplica el concepto de EIA a un estudio encaminado a identificar e interpretar, así como a prevenir, las consecuencias o los efectos que, acciones o proyectos determinados, puedan causar a la salud y el bienestar humanos y al entorno; o sea, en los ecosistemas en que el hombre vive y de los que depende.

Un estudio de impacto ambiental puede servir para, entre otras cosas, optimizar el emplazamiento de proyectos y establecer posibles alternativas al proyecto inicial, establecer medidas correctoras que permitan minimizar el impacto ambiental caso de ser imposible evitarlo, etc.

Las EIA pueden ser integrales o parciales y aplicarse total o parcialmente:

- ◆ a distintas alternativas de un mismo proyecto o acción.
- ◆ a distinto grado de aproximación (estudios preliminares o previos y estudios detallados).
- ◆ a distintas fases del proyecto (en fase de construcción y, o, en fase de operación).

Una clasificación de EIA, compendio de varias existentes que se consideran incompletas, podría ser [HERN-88] [MARS-76] [ORTO-95] [WANN-90]:

- La mayor parte de las EIA se centran, fundamentalmente, en el estudio del impacto físico (aire, agua, etc.) para toda posible degradación.

- En un nivel de estudio intermedio, las Evaluaciones del impacto geobiofísico incluyen las EIA del punto anterior (impacto físico) y se incrementan con el estudio del impacto biológico, geológico y social, comprendiendo incluso aspectos socioculturales.
- El último nivel incluye el punto anterior además de una evaluación económica con base en estudios "coste-beneficio".
- En el caso de acciones o proyectos ya definidos y localizados en emplazamientos concretos "proyectos o acciones ya construidos o en funcionamiento", se debe incluir una Evaluación de tecnología. En este caso, el estudio de impacto ambiental es distinto y sus objetivos son:

- ⇒ Evaluación del medio en estado preoperacional o estado cero "contaminación de fondo".
- ⇒ Evaluación del impacto neto del nuevo proyecto; estudio de medidas correctoras e instrumentos de control.
- ⇒ Incidencia del proyecto en el medio; determinar los impactos netos.
- ⇒ Calcular la capacidad de absorción del impacto por el medio.
- ⇒ Aceptación del proyecto en su situación actual o introducir mejoras o modificaciones.

Una EIA debe considerar, en un primer momento, las acciones causantes de impacto y los Factores Ambientales (FA en singular y FF.AA en plural) afectados. En este sentido, se incluye en los puntos 1 y 2 de la sección de Anexos una posible clasificación de proyectos y acciones que requieren EIA y FF.AA respectivamente.

### **2.6.3.- PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE EIA.**

Se deben considerar cuatro puntos:

- Identificación. Causa-Efecto.
- Predicción de los efectos y magnitud de los indicadores de impacto.
- Interpretación de los efectos ambientales.
- Aplicación de medidas correctoras a los efectos ambientales en aquellos casos que sea posible y viable.

Lo normal, en toda EIA, es considerar el impacto físico parcialmente, puesto que ocuparse de todos los FF.AA es poco menos que imposible por su extensión y complejidad y queda fuera de los objetivos del presente trabajo. Se suelen estudiar los relacionados con la alteración del medio físico a través de los vectores aire, agua y suelo, que son los portadores de los efectos derivados de ciertas causas, hacia los últimos receptores: el hombre, el biotopo y la biocenosis [WATH-88].

#### **2.6.4.- INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL.**

Son los elementos o parámetros que proporcionan la medida de la magnitud del impacto, en su aspecto cualitativo y cuantitativo. Su selección es fundamental para tener éxito en la EIA [McCR-89].

Los pasos a seguir son:

1. Establecer los indicadores de impacto más significativos para cada caso.
2. Establecer las escalas, dimensiones o unidades de medida para cada proyecto -en cada alternativa-.
3. Se debe asignar un peso -ponderación- a los indicadores. Este punto es de gran dificultad y debe ser realizado por un experto "genuino" en el tema. En el presente trabajo de investigación se contó para esta tarea con la participación de D. José Eduardo Santos (Director de la Central Térmica de Barcena, ENDESA), Dña. M<sup>a</sup> Dolores García Vidaurrázaga (Directora Técnica de Xestur-Pontevedra), D. Fernando Solorzano (Departamento Medio Ambiente, Norsistemas-Coruña) y Dña. M<sup>a</sup> Jesús Veleiro (Departamento Medio Ambiente, Norsistemas-Coruña).

Las características de los pasos anteriores justifican, por si solos y por su complejidad, la utilización de técnicas de IA.

Algunos de los problemas que se encuentran son, entre otros, la falta de capacidad para captar e interpretar los datos existentes de nuestro medio ambiente; esto es, convertir los datos disponibles

en información útil y conocer íntimamente ciertos fenómenos ambientales como la difusión atmosférica o marina.

### **2.6.5.- METODOLOGÍAS DE EIA.**

En primer lugar, se deben considerar dos tipos de acciones o proyectos: los que pueden producir pequeños impactos y los que pueden provocar grandes impactos.

Los métodos para evaluar el impacto ambiental son muy diferentes en un caso y otro. La magnitud del impacto puede deducirse de un estudio general y breve del proyecto, en una evaluación preliminar que debe hacerse siempre. Se intenta encontrar un modelo que represente u ofrezca una idea real, aunque sea a escala reducida, del comportamiento del sistema [ECSE-94].

Los modelos pueden ser estáticos o dinámicos, según la variable tiempo se introduzca o no en ellos en determinadas condiciones. Las fases de la construcción del modelo son:

- Delimitación del sistema -acotar el sistema en sentido espacial y temporal-, consiguiendo lo que se conoce como el “universo de análisis”.
- Determinar la magnitud del impacto. La metodología será muy distinta, en cuanto al alcance y profundidad de la evaluación, si el impacto es grande o pequeño. Este estudio preliminar debe hacerse para todas las alternativas.

En general, una metodología de EIA debe cubrir, total o parcialmente, los siguientes aspectos relacionados con las tareas de identificación, predicción y evaluación de los impactos ambientales producidos por un proyecto empresarial o de infraestructura:

- ◆ Identificación.
  - Descripción del sistema ambiental existente.
  - Determinación de los componentes del proyecto.
  - Definición de las alteraciones del medio causadas por el proyecto.

- ◆ **Predicción.**
  - Identificación de las alternativas ambientales significativas.
  - Revisión del cambio cuantitativo y, o, espacial en el medio ambiental identificado.
  - Estimación de la probabilidad de ocurrencia del impacto.
  
- ◆ **Evaluación.**
  - Determinar la incidencia de costos y beneficios en los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto.
  - Especificar y comparar las relaciones costo/beneficio entre varias alternativas.

Entre las múltiples metodologías para EIA que se pueden destacar están las siguientes:

- **Método de Leopold:** es un método de identificación que utiliza una matriz causa-efecto del tipo “Matriz de Leopold” [LEOP-81] [SCHL-73].
- **Método de predicción:** es un modelo fisico-matemático. Habitualmente, se aplica a emisiones de contaminantes desde un foco a la atmósfera o al agua [TREW-96].
- **Métodos de interpretación:** es un método de evaluación [VERH-94].

Aquí se pretende, con el sistema propuesto en esta tesis, abarcar gran parte de los tres métodos previamente citados abordando la solución del problema desde la perspectiva de los SS.HH, que es la única que nos permitirá integrar los tres de una forma consistente [PAZO-95]:

- Las BB.DD para representar, entre otras estructuras, la Matriz de Leopold [PAZO-94c].
- Las RR.NN.AA para abordar las tareas de Predicción [PAZO-94b].
- Los SS.EE para tratar la interpretación [PAZO-93].

## **2.6.6.- PROYECTOS CON IMPACTOS PEQUEÑOS.**

Conviene determinar las siguientes operaciones de forma muy sencilla:

- Características o naturaleza del proyecto.
- Condiciones y características del territorio afectado por el proyecto.
- Propuestas incluidas en el proyecto para el control de la contaminación y protección del entorno ambiental.
- Acciones del proyecto que pueden afectar al medio ambiente especificando la posibilidad de evitarlas.

## **2.6.7.- PROYECTOS CON GRANDES IMPACTOS.**

La evaluación debe incluir [CEIA-94]:

- Descripción general del proyecto y su justificación.
- Alternativas.
- Descripción del proyecto en sus aspectos físicos, con una predicción de la naturaleza y magnitud de los efectos ambientales -positivos y negativos- y de las medidas correctoras previstas para reducir o evitar los impactos.
- Estudio del entorno ambiental: factores sociopolíticos, económicos y geobiofísicos.
- Lista de indicadores de impacto, así como métodos utilizados para determinar sus escalas de magnitud y pesos relativos.
- Evaluación de las magnitudes de los indicadores de impacto y del impacto total del proyecto y sus alternativas.

La evaluación puede finalizar aquí o continuar con tres pasos más, que serían:

- Recomendaciones para la aceptación de acciones correctoras, o desestimación de una o varias alternativas.

- Propuestas o recomendaciones de los métodos de inspección y control a seguir durante la construcción del proyecto y una vez que el mismo esté en funcionamiento.
- Explicación de las recomendaciones y propuestas.

Los tres puntos anteriores justifican la utilización de SS.EE en EIA, dado que:

- Un SE incorpora información dentro de su estructura de conocimientos y la utiliza para enfocar los mecanismos de inferencia en la dirección adecuada en lo que se conoce como "eficiencia inferencial". Esto permitirá al SE seleccionar las alternativas más adecuadas para la resolución de un problema.
- El SE puede ser utilizado como un asesor, estableciendo una serie de recomendaciones.
- Un SE puede describir el proceso inferencial de su razonamiento por medio de facilidades de explicación, siendo ésta una de las características que diferencian a los SS.EE de otro software "convencional" y de IA. Los medios de explicación son importantes para los SS.EE que se emplean como asesores, dado que el usuario, normalmente, no acepta ciegamente los resultados. El SE explica, en términos entendibles por el usuario, que hace y justifica sus acciones; por ejemplo, siguiendo la traza de las reglas que ha disparado. Las explicaciones cumplen una serie de objetivos, entre los que cabe destacar: la ayuda en la depuración del sistema, la información al usuario del estado del sistema, el incremento de la pericia del usuario y el aumento de claridad en los conceptos utilizados por el sistema.

### **2.6.8.- MÉTODOS DE EIA.**

Como ya se ha comentado previamente, una EIA completa debe abarcar, al menos, las siguientes cuatro acciones:

- Describir la acción propuesta, así como otras alternativas.
- Predecir la naturaleza y magnitud de los "efectos ambientales".
- Interpretar los resultados.
- Prevenir los efectos ambientales.

Entre los métodos o procedimientos seguidos estarían los siguientes:

- Métodos de identificación.
- Métodos de predicción.
- Métodos de interpretación.
- Métodos de prevención.

Para definir la naturaleza y la dimensión exacta de un impacto físico, así como para prevenir o reducir sus efectos, hay que conocer el foco contaminante y el medio receptor. Esto implica analizar una serie de componentes ambientales, tener información suficiente y saber interpretar los datos disponibles.

Los componentes ambientales se clasifican en dos grupos: fijos o no modificables por la acción del hombre y variables o sobre los cuales se puede actuar.

Los componentes fijos son:

- Condiciones topográficas, meteorológicas y biológicas de la zona.
- Características físicas, químicas y biológicas de los contaminantes; los efectos de sus interrelaciones y sus efectos sobre el medio natural receptor.
- Tecnología disponible. Por ejemplo, en el caso de la energía eléctrica, hoy sólo se cuenta con térmicas de carbón, fuel-oil, solares, eólicas y nucleares.

Los componentes variables, sobre los que sí se puede actuar, son:

- Tipo de planta a instalar, aceptar o rechazar una producción, etc.
- Tamaño de la planta o volumen de producción; materias primas; sistema de producción; equipos de depuración, etc.
- Localización de la planta.
- Calidad del medio deseado: nivel de contaminación admisible, SO<sub>2</sub> en aire, ruido, etc.

- Número de habitantes que puede acoger la zona, así como el tipo de urbanismo; volumen de edificaciones, servicios, etc.; espacio destinado a otras actividades económicas como la agricultura y el turismo; etc.

En función de los componentes variables analizados, se han de considerar varios aspectos de interés relacionados con el foco contaminante y su entorno; esto es, tipo o calidad del contaminante -según el tipo de fabricación-, cantidad de contaminante -según el volumen vertido-, localización del punto de emisión -según la situación de la planta-, calidad del medio receptor -contaminación de fondo en el lugar escogido, resiliencia del medio que dará la cantidad de impacto físico que tal medio puede recibir- y, finalmente, la localización del receptor -según sea medio rural o urbano, etc.-

Los métodos de identificación son:

- Listas de efectos ambientales: "factores ambientales" e "indicadores de impacto".
- Matrices causa-efecto: relacionan acciones humanas con FF.AA.
- Diagramas de flujo: establecen relaciones causa/efecto/impacto.

Los métodos de predicción utilizan modelos reducidos, unidos a una serie de ensayos y pruebas experimentales, tomando los datos "in situ". Por ejemplo, puede determinarse la dispersión de contaminantes que se emiten por un foco "chimenea" en la atmósfera y su incidencia en la calidad del aire según la concentración de contaminante a nivel del suelo en distintos puntos, en el entorno del foco, estableciéndose tanto la distribución de contaminantes como su frecuencia. Para ello, se necesitan los siguientes datos:

- Condiciones climatológicas -vientos y temperaturas- de la zona junto con la información diaria meteorológica y datos históricos de los últimos años.
- Topografía de la zona.
- Altura geométrica y efectiva de la chimenea.
- Composición del efluente o concentración de contaminantes en la emisión.
- Condiciones de emisión del efluente: volumen, velocidad y temperatura de los gases.

En los resultados, se puede calcular la evaluación neta del impacto ambiental y la evaluación global de los impactos "métodos de evaluación".

### **2.6.9.- MÉTODO DE LEOPOLD.**

Este método es de gran utilidad en evaluaciones preliminares. La matriz de Leopold representa en sus columnas las acciones que pueden alterar el medio ambiente y en sus filas las características del medio o FF.AA que pueden ser alteradas. Los elementos de la matriz representan las interacciones existentes, siendo necesaria la determinación de las interacciones importantes a considerar. Lo normal en cada proyecto es obtener de 25 a 50 interacciones. Los pasos para la utilización de la matriz de Leopold [LEOP-81] son:

- Identificar las interacciones existentes considerando todas las acciones -columnas- que pueden tener lugar dentro del proyecto en cuestión.
- Para cada acción, se consideran todos los FF.AA -filas- que pueden quedar afectados significativamente. Se tendrán, finalmente, las interacciones representativas. Hay que tener en cuenta que los efectos no son excluyentes, por ello se tienen que identificar los efectos de primer grado de cada acción específica para no considerar un efecto dos o más veces.
- Evaluación de las cuadrículas más importantes o representativas de la matriz. A cada cuadrícula "interacción" se le asignan los siguientes parámetros:
  - ⇒ Magnitud o valor del parámetro, que estará comprendida entre 1 y 10. El valor 10 corresponde a la alteración máxima provocada en el FA considerado y 1 al mínimo. Este parámetro estará precedido por un signo positivo o negativo, según se trate de efectos positivos o negativos sobre el medio ambiente.
  - ⇒ Importancia o ponderación. Da el peso relativo que el FA considerado tiene dentro del proyecto o la posibilidad de que se presenten alteraciones. Este peso puede variar en función del tipo de proyecto y entorno, siendo su valor altamente subjetivo.
- Interpretar los parámetros de la matriz. Es aconsejable transformar la matriz inicial para reducir sus dimensiones, indicando, en la matriz así obtenida, el grado de impacto que una

acción puede tener sobre un factor del medio. A pesar de la ponderación, los valores de las cuadrículas de una matriz no son comparables, ni se pueden sumar o acumular; sin embargo, lo que si admite comparación son las cuadrículas correspondientes a alternativas de un mismo proyecto.

Los estudios de impacto ambiental deben incluir:

- Descripción y datos técnicos suficientes para evaluar el impacto.
- El impacto probable del proyecto sobre el medio ambiente.
- Los probables efectos adversos que no pueden evitarse.
- Las alternativas existentes.
- La relación entre el uso del medio por el hombre, local y a corto plazo, y el mantenimiento y aumento de productividad a largo plazo.
- La irreversibilidad y falta de recuperación de los recursos afectados.
- Las objeciones planteadas por terceros.

Los defectos que pueden ser achacables al método de Leopold son:

- Los impactos considerados no son excluyentes y no realiza la lista de factores según efectos finales.
- No es selectivo, no focaliza en los aspectos más críticos y, además, no distingue entre efectos a corto y largo plazo -podrían usarse dos matrices distintas según dos escalas de tiempo-.
- No es sistemático, deja los parámetros y sus relaciones al criterio del usuario "reglas", por lo que es muy baja su eficacia ante ciertos objetivos que deben cumplirse en todo estudio de impacto ambiental: predicción e interpretación.

Aunque la solución a algunos de estos problemas por el SH serán tratados en la parte de EIA en el sistema, a continuación se enumeran las siguientes posibles soluciones:

- Ponderar los solapamientos de los impactos y clasificar los impactos no excluyentes en diferentes niveles de importancia.

- Focalizar en los aspectos importantes estableciendo una serie de hipótesis a verificar. Respecto al aspecto temporal de los efectos, se introducen para cada uno de ellos unos parámetros para cuantificar el tiempo asociado a la importancia del efecto, como son:
  - ◆ Momento: Tiempo transcurrido entre la acción y el efecto.
  - ◆ Duración: Tiempo de permanencia del efecto desde la acción.
  - ◆ Reversibilidad: Posibilidad de reconstruir la situación inicial -nunca, a corto, medio o largo plazo-.
- Establecer los valores de caracterización de los impactos en función del tipo de proyecto, acciones y de otros casos de EIA conocidos, permitiendo que el usuario los modifique. Así como el establecimiento de relaciones del tipo "SI uno ENTONCES otro" entre varios impactos. Con todo esto, se pretende incrementar la eficacia y eficiencia de las EIA.

#### **2.6.10.- SISTEMA DE BATTELLE-COLLUMBUS.**

Este método, se centra en la planificación de la gestión de recursos de agua, aunque puede aplicarse a otros tipos de proyecto.

Consiste en la definición de una lista de indicadores de impacto, con 78 parámetros ambientales que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente derivado de las acciones o los proyectos en consideración [VIGO-95] [EVER-95].

Estos parámetros están ordenados en un primer nivel según 18 "componentes ambientales" (especies y poblaciones, habitats y comunidades, ecosistemas, contaminación del agua, contaminación atmosférica, contaminación del suelo, ruido, suelo, aire, agua, biota, objetos artesanales, composición, valores educacionales y científicos, valores históricos, cultura, sensaciones, estilo de vida -patrones culturales-), que se pueden agrupar en 4 categorías ambientales: ecología, contaminación, aspectos estéticos y aspectos de interés humano.

Todo ello tiene por objeto establecer los niveles de información progresiva:

<b>CATEGORÍAS AMBIENTALES → COMPONENTES → PARÁMETROS</b>
--

En último término, se evaluarán los parámetros ambientales, pretendiendo:

- I. Representar la calidad del medio ambiente -identificación-.
- II. Facilitar la medida sobre el terreno -predicción, interpretación e inspección-.
- III. Responder a las exigencias del proyecto a evaluar -identificación-.
- IV. Ser evaluables a nivel de proyecto -predicción e interpretación-.

Obtenidos los parámetros, se pretende establecer un sistema en el que dichos parámetros sean comparables, representando valores que, en lo posible, sean resultado de mediciones reales [ENVI-95].

Los pasos para transformar los datos en "unidades de impacto ambiental" (en adelante UIA) son:

1. Transformar los datos en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental que representan y para el parámetro correspondiente.
2. Ponderar la importancia del parámetro considerado, según su importancia relativa dentro del medio ambiente.
3. Expresar, a partir de los dos parámetros anteriores, el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad por su índice ponderal.

El índice de calidad ambiental es el valor que un determinado parámetro –SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc.- tiene en una situación dada. Dicho valor es muy variable y, a cada uno, le corresponde un cierto grado de calidad. Para obtener valores de calidad comparables al extremo óptimo se le asigna el 1 y al pésimo el 0, quedando comprendido entre ambos extremos los valores intermedios para definir estados de calidad del parámetro.

El modelo de "Battelle-Collumbus" indica el sistema para establecer la "función de evaluación" de la calidad ambiental  $CA$  de un parámetro  $i$  en función de su magnitud  $M$ :

$$CA(i) = f(M(i))$$

Esta función puede ser lineal, con pendiente positiva -por ejemplo, extensión de tierra cultivable- o negativa -por ejemplo, pesticidas en el agua-, o bien tener un punto máximo intermedio -por ejemplo, pH del agua-, u otras formas, según la correspondiente relación entre la calidad y la magnitud que no siempre es directa o inversa.

Así pues, para evaluar la calidad del estado de un parámetro definido por su magnitud habrá que establecer, en primer lugar, la función de evaluación  $f(M(i))$ , que se puede representar gráficamente con el índice de calidad en el eje de ordenadas y la magnitud medible en el de abscisas, obteniendo en ordenadas el índice de calidad correspondiente para cada valor de abscisas. La figura 2.9 muestra un ejemplo de una función de evaluación ambiental, en este caso concreto, asociada al indicador de impacto "Nivel de Inmisión NO por personas afectadas".

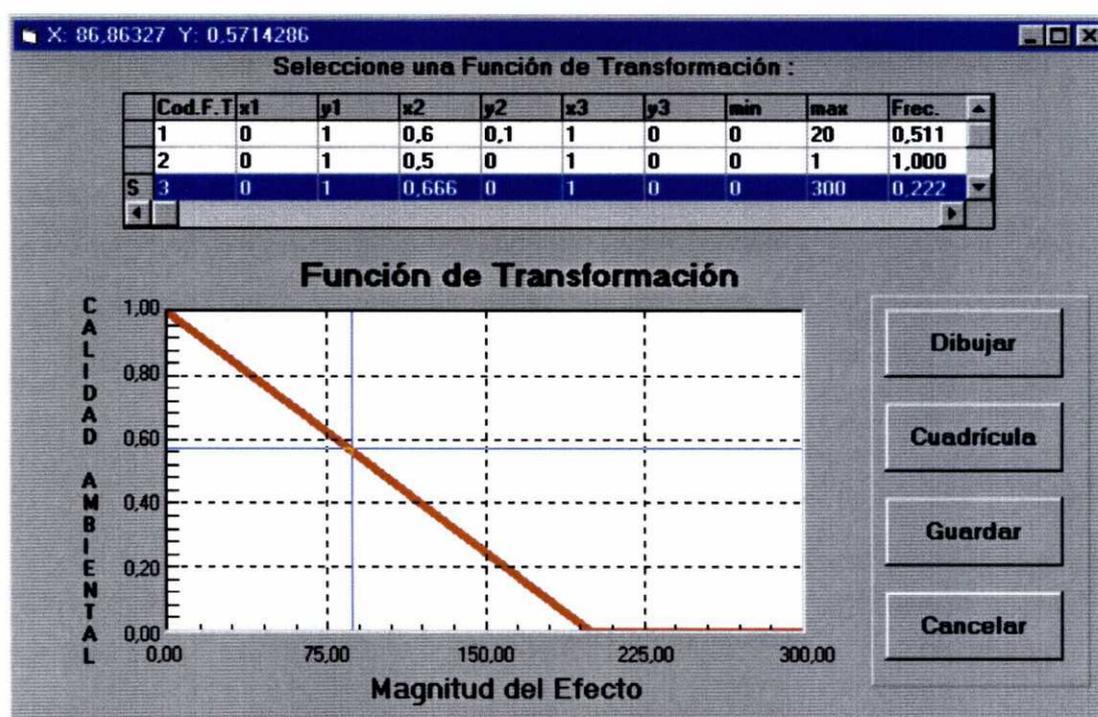


Figura 2.9.- Funciones de Evaluación Ambiental.

La función  $f(M(i))$  puede ser distinta según el entorno físico y socioeconómico del proyecto.

Para la ponderación de parámetros es necesario disponer de un mecanismo que permita contemplar en conjunto todos los parámetros y, además, ofrezca una imagen coherente de la

situación. Para esto, se debe reflejar la diferencia entre unos parámetros y otros, en cuanto a su mayor o menor contribución al medio ambiente, por medio de la asignación a cada parámetro de un peso o índice ponderal. Este peso se expresa en "unidades de importancia", variando en función del país o región donde se encuentra el proceso a evaluar. El valor asignado a cada parámetro resulta de la distribución relativa de "mil unidades" asignadas al total de parámetros como "medio ambiente de calidad óptima". Estos valores son de naturaleza altamente subjetiva y sólo un experto "genuino" en medio ambiente está en posesión de suficientes conocimientos como para establecerlos, o un sistema de aprendizaje "socrático" con suficientes ejemplos podría inferirlos. Como ya se ha citado, en el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha contado con el asesoramiento de diversos expertos profesionales en el tema y, además, se usará un sistema conexionista incluido en el SH para inferir los conocimientos residentes en una BD.

En cuanto a la obtención de unidades commensurables o unidades de impacto neto, si a la situación óptima del medio le corresponde la unidad 1000, como suma de las situaciones óptimas de sus parámetros definidos por sus UIP, la representación conseguida es coherente, apareciendo en ella los parámetros según su contribución relativa. Ahora bien, en el caso en que estos parámetros no se hallen en su situación óptima, su contribución a la situación del medio vendrá disminuida en el mismo porcentaje que su calidad y, en consecuencia, sus unidades de impacto ambiental -UIA-.

$$UIA = CA(i) \cdot UIP(i)$$

La evaluación final se realiza aplicando el sistema establecido a la situación del medio con y sin proyecto de forma que se obtienen, para cada parámetro, unos valores cuya diferencia indica el impacto neto del proyecto según dicho parámetro. El cálculo de UIA, que puede ser positivo o negativo, se puede realizar de la siguiente forma:

$$UIA(i) \text{ con proyecto} - UIA(i) \text{ sin proyecto} = UIA(i) \text{ debido al proyect}$$

Se pueden sumar las UIA y evaluar el impacto global de distintas alternativas de un mismo proyecto para, de su comparación, obtener la óptima. También sirve, esta evaluación global, para tomar las medidas necesarias para minimizar el impacto ambiental del proyecto y, de una forma

general, según variaciones porcentuales, para apreciar la degradación del medio como resultado del proyecto, tanto globalmente como en sus distintos sectores -categorías, componentes o parámetros-.

El modelo dispone, además, de un "sistema de alarma" por considerar que hay que detectar ciertas situaciones críticas. Aunque el impacto global de un proyecto sea admisible, puede haber ciertos parámetros que hayan sido afectados en forma más o menos inadmisibles. Se puede reflejar, para cada parámetro, los valores en unidades de impacto ambiental neto  $UIA(i)$  correspondientes a:

- Con proyecto: " $UIA(i)$  con proy".
- Sin proyecto: " $UIA(i)$  sin proy".
- Debido al proyecto: " $UIA(i)$  debido proy".

Finalmente, se hace una evaluación global, o de comparación, de alternativas realizando las adiciones que se crean necesarias, siendo obtenido el impacto global debido al proyecto mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Impacto global} = \sum_{i=0}^{i=n} UIA(i) \text{ debido al proyecto.}$$

#### **2.6.11.- SISTEMAS DE EVALUACIÓN POR COBERTURA O TRANSPARENCIAS.**

Este método se utiliza fundamentalmente para trabajos de EIA ligados a planificación y ordenación del territorio: trazado de autopistas, ferrocarril, líneas eléctricas de alta tensión, oleoductos y gaseoductos, aeropuertos, canales, etc. Está enfocado hacia la localización de usos en el territorio, pero sin llegar a una evaluación profunda de los impactos. Lo común a todos los métodos es una identificación e inventario de recursos.

Las técnicas empleadas en estos métodos pueden operar con macromagnitudes; fotogramas aéreos y técnicas de teledetección, pudiendo constituirse esto en una ulterior evolución del presente

trabajo de investigación, integrando al SH un procedimiento de captura y mejora de imágenes obtenidas vía satélite, etc.

El sistema llamado de coberturas, transparencias o superposiciones, efectúa una división del territorio afectado por la totalidad del proyecto mediante el trazado de unas retículas. Se obtienen una serie de unidades geográficas, en cada una de las cuales se estudia un conjunto de factores ambientales y se aplican unos indicadores de impacto previamente establecidos. Se utilizan transparencias, marcándose, en cada una de ellas, los resultados obtenidos en el estudio. Se superponen después los resultados de las distintas transparencias y, mediante un proceso computerizado de integración, se llega a unas conclusiones finales [MORR-95].

#### **2.6.12.- MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN.**

En este método se deben tener muy claros los objetivos y finalidades que persiguen las evaluaciones y un amplio conocimiento en medio ambiente de la planificación socioeconómica y de las ventajas e inconvenientes de cada alternativa. El método debe estar provisto de explicaciones muy claras de los criterios seguidos en la interpretación de resultados, para que sirvan de ayuda al enjuiciar los resultados.

La interpretación se puede hacer a través de modelos de síntesis, por comparación de resultados de determinados "indicadores" de impacto con la información básica existente.

La forma de actuar sería la siguiente:

1. Identificar FF.AA a través de cualquier método de identificación, como el de Leopold, listas de chequeo o el examen de diagramas completos de flujo.
2. Aplicación de métodos de predicción de efectos. En esta fase, hay que estudiar las implicaciones correspondientes a cada FA, si bien en cada uno de los grandes componentes o sistemas del medio -atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera, utilización de recursos naturales, componente social, etc.- se opera principalmente con un "indicador" de impacto que es siempre el contaminante que se emite en mayor cuantía o el elemento determinante de la problemática

específica del área de estudio. Se estudiará a fondo toda la temática referente a la propia actividad del proyecto: alternativas energéticas, características de las instalaciones, rendimientos, residuos, cálculo de emisiones, medidas correctoras para la depuración de gases, aguas y otros, etc.

3. Aplicación de un modelo o técnica de interpretación.
4. Evaluación final de los impactos geobiofísicos.
5. Estudio beneficio/coste del proyecto.
6. Evaluación global del impacto ambiental del proyecto.

Se podría continuar con:

7. Evaluación y comparación de alternativas energéticas.
8. Elaboración de directrices para los métodos de inspección y control de impactos durante la construcción del proyecto y, una vez finalizado, en su fase de funcionamiento.

Como ejemplo, se verá la aplicación de un modelo de interpretación, en el que se consideran dos alternativas: una evaluando emisiones y la otra evaluando inmisiones.

- a) Evaluación de emisiones. Inicialmente, se estudia el volumen y tipo de emisiones que van a producirse. Este estudio se realizará aplicando factores de emisión. Se toma como "indicador de impacto" las concentraciones que se emiten de  $\text{SO}_2$  -tomar un contaminante y otro parámetro como "indicador" no quiere decir que no se consideren los otros factores ambientales, sino que es ese indicador el que dirige el estudio, por cuanto es el más indicativo o significativo para esa EIA-. Una vez evaluadas las emisiones se enjuician cualitativa y cuantitativamente.

Cualitativamente, se estudian los contaminantes desde el punto de vista de sus propias características y sus posibles efectos sobre el biotopo -caso de lluvias ácidas, por ejemplo, sobre lagos y embalses o sobre el suelo- y la biocenosis -flora y fauna-, así como sobre el hombre. Y se consideran los posibles efectos sinérgicos entre contaminantes.

En el aspecto cuantitativo se efectúan la comparación, por un lado, de las emisiones con otras existentes del mismo y otros sectores y el efecto que han causado sobre el ecosistema en que están ubicadas y, por otro, de las emisiones resultantes con las establecidas para tal sector por la legislación.

A continuación, se hace un inventario de emisiones, conociendo las producciones. Además, hay que evaluar de forma teórica los demás FF.AA.

b) Evaluación de inmisiones. Empleando el modelo físico/matemático de dispersión, se opera con valores reales de micrometeorología, calculando la matriz cúbica de frecuencia de situaciones meteorológicas. Se consideran también parámetros físicos medidos en otros focos semejantes o evaluados de forma muy ajustada, con lo cual se llega a unos resultados de la incidencia de las emisiones en la calidad del aire.

Los resultados -el impacto neto del proyecto sería la contribución de este foco a los valores de inmisión de la zona- se suman al valor de la contaminación de fondo y el valor total se compara con los valores de referencia establecidos como valores de calidad del aire en situaciones admisibles. A continuación, en función de los resultados obtenidos, se procede a establecer las medidas correctoras oportunas y a prever las medidas a aplicar en situaciones de emergencia.

### **2.6.13.- CONSIDERACIONES AMBIENTALES, DE SALUD Y ECOLOGÍA EN PROYECTOS DE DESARROLLO ECONÓMICO DEL BANCO MUNDIAL.**

El Banco Mundial ha establecido una metodología que se fija en la identificación y medición de los efectos de los proyectos de desarrollo sobre la ecología humana y ambiental. Puede interpretarse, por tanto, como un método de identificación.

Estas consideraciones ambientales se agrupan en seis categorías o componentes que tienen por objeto señalar los puntos generales que sirven de base para: analizar las posibles consecuencias del proyecto, indicar la información necesaria y el tipo de experiencia que se requiere para estudiar con profundidad los aspectos ambientales de los diferentes proyectos y, finalmente, proporcionar

una estructura para la formulación de procedimientos y pautas para el examen y la consideración sistemática de los FF.AA [WORLD-93]. El Banco Mundial ha establecido las categorías o componentes ambientales siguientes:

- ◆ Vinculación entre el medio ambiente y los recursos.
  - Composición del ecosistema. Función y factores del ecosistema como, por ejemplo, el uso de la tierra y la capacidad de la misma para sostener a la población y absorber la contaminación.
  - Cambios o alternativas: selección de la tecnología, posibilidad de transformación de materiales con fines de aprovechamiento, etc.
- ◆ Diseño y construcción del proyecto.
  - Protección inmediata de los valores ambientales
  - Planes consolidados para proteger la flora y la fauna y evitar la erosión.
- ◆ Operaciones.
  - Administración de las materias primas.
  - Manejo de los desperdicios.
  - Mantenimiento de medidas de protección.
  - Vigilancia o control de los efectos.
- ◆ Factores socio-culturales.
  - Efectos socio-culturales incluyendo prioridades.
  - Reubicación de personas.
- ◆ Repercusiones en la salud.
  - Control de los vectores de enfermedades.
  - Introducción y, o, propagación de las enfermedades.
- ◆ Consideraciones a largo plazo.
  - Sucesos imprevistos incluyendo catástrofes.
  - Contexto del desarrollo regional.

El Banco Mundial sigue una metodología de análisis dividida en nueve puntos. En este análisis, se trata el medio ambiente como una entidad económica; es decir, se le aplican los conceptos de escasez, prioridades y distintas posibilidades de acción o alternativas [ADRI-93] [WORLD-93].

Los nueve puntos previamente citados son los siguientes:

- 1) Vinculación con los recursos naturales: consideraciones que se tienen en cuenta desde la extracción del recurso o su llegada al país, para el proyecto sometido a evaluación.
- 2) Proceso: análisis de las distintas posibilidades en cuanto a operaciones individuales y a los procesos de transformación química. Evaluación de tecnologías.
- 3) Capacidad asimilativa del lugar: análisis de la capacidad actual de carga de la tierra, de los cursos de agua y del aire para determinar las condiciones originales y el efecto del proyecto.
- 4) Manejo de los desechos: análisis de todos los productos, inclusive los subproductos, y los desechos para su tratamiento, reutilización y asimilación.
- 5) Operación y control: mantenimiento y control dentro del proyecto incluyendo el aire, el agua y la tierra, tanto desde el punto de vista químico como biológico.
- 6) Aspectos sociales: las relaciones humanas en los sistemas de asentamientos.
- 7) Aspectos relacionados con la salud: seguridad y bienestar de la población afectada.
- 8) Destino final: transformación, reutilización y asimilación del producto en cuestión y productos futuros y su retorno, en los casos que sea posible, a la vinculación con los recursos naturales.
- 9) Optimización: análisis de costos de las distintas alternativas con la propuesta de adopción de las más adecuada.

#### **2.6.14.- EL MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL. LAS "DECLARACIONES" O INFORMES DE IMPACTO AMBIENTAL.**

El conjunto de evaluaciones sobre tecnología, economía y ecología debe efectuarse paralelamente y en forma integrada, constituyendo el "informe o declaración de impacto ambiental". El alcance o contenido de las declaraciones se centra en los siguientes aspectos:

- Descripción de la acción propuesta. Exposición y justificación de sus objetivos. Descripción del medio ambiente afectado.
- Relaciones con los planes, las políticas y el control de usos del suelo establecidos en el área afectada.

- Impacto ambiental probable: positivo o negativo; secundario o indirecto y primario o directo.
- Consideraciones alternativas.
- Efectos adversos que no puedan evitarse.
- Relaciones entre el medio ambiente local y los usos a corto plazo, así como las consideraciones ambientales a largo plazo.
- Deterioros irreversibles e irreparables de recursos que produciría la acción propuesta en el caso de llevarse a cabo.
- Descripción de otras consideraciones, además de los efectos ambientales adversos que deben tenerse en cuenta en la acción propuesta, y relación de tales consideraciones con las alternativas.

En España, los preceptos base sobre contaminación atmosférica están recogidos en la siguiente legislación:

1. Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico. (B.O.E. del 26 de diciembre de 1972).
2. Decreto del Ministerio de Planificación del Desarrollo, 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico. Reglamento de Contaminación Atmosférica, que desarrolla la ley anterior. (B.O.E. del 22 de abril de 1975).
3. Orden del Ministerio de la Gobernación, de 10 de agosto de 1976, por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera (B.O.E. del 5 de noviembre de 1976).
4. Orden del Ministerio de Industria, de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera (B.O.E. del 3 de diciembre 1976). Esta orden y la anterior son desarrollo del Decreto 833/1975 y de la Ley 38/1972.
5. La ley 25/1988, sobre autopistas y, la 4/1989, sobre conservación de áreas naturales, contienen varios requerimientos sobre actividades sujetas a EIA.
6. Los puntos 1, 2 y 4 del artículo 31 del Reglamento General de Carreteras aprobado en el Real Decreto 1812/1994, de 2 de Septiembre de 1994.

Referente a las EIA, se regulan en la Orden Ministerial mencionada previamente en el punto 4. En el artículo 2º 1.a) se señala lo siguiente:

"A la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología (del Ministerio de Industria) competen las siguientes funciones en el campo de la lucha contra la contaminación industrial:

- ◆ El estudio de los proyectos de nuevas industrias potencialmente contaminantes de la atmósfera y ampliación de las existentes, al objeto de enjuiciar la eficacia de las medidas correctoras previstas y evaluar el impacto ambiental de tales actividades; ..." Para cumplir este objetivo, la citada orden (artículo 8º, punto 1) exige que se presente un proyecto específico, que debe contener los datos técnicos necesarios para el adecuado enjuiciamiento de la actividad desde el punto de vista de su incidencia sobre el medio ambiente atmosférico, así como las medidas correctoras propuestas, los cuales podrán, según las características del proyecto y circunstancias que concurren en cada caso, abarcar algunos o la totalidad de los siguientes aspectos:
  - Superficie de los terrenos sobre los que está instalada la planta.
  - Breve descripción y diagrama de los procesos de fabricación y servicios. Plano general de la planta, señalando los puntos de emisión de contaminantes a la atmósfera.
  - En el caso de generadores de vapor: tipo de actividad, volúmenes de producción previstos, inversiones necesarias y plazo de ejecución.
  - Procedencia, proveedores, tipo, consumo máximo horario y total anual, y características medias de los combustibles que se tiene previsto utilizar. En el caso de instalaciones térmicas de carbón, se incluirá un análisis del carbón, de un mínimo de diez muestras representativas. Incluirá los análisis inmediato y elemental, así como el análisis complementario (azufre pirítico, azufre sulfato, azufre orgánico y azufre fijo, carbonatos, halógenos, fósforo y arsénico) y análisis de cenizas.
  - Especificaciones medias de las materias primas que se van a utilizar en el proceso de fabricación y que tengan influencia sobre las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Consumo máximo horario y total de las mismas.

- Descripción de los medios previstos para disminuir la contaminación, ya sea por elección de una tecnología limpia o instalación de depuradores. Principales características de los depuradores, con indicación de su eficacia y costo presupuestado. Medidas previstas en caso de avería de los mismos. Dispositivos automáticos de regulación de las instalaciones de combustión o de proceso.
- Características de los instrumentos de medida manual o automática de las emisiones de contaminantes y, eventualmente, de las inmisiones, en el supuesto de que vayan a ser instalados.
- Altura y diámetro de cada chimenea y su ubicación en el plano a que se refiere el apartado 1.2 anterior. Memoria justificativa de los cálculos de altura de la chimenea, de acuerdo con lo señalado en el artículo décimo de esta orden.
- Caudales máximos y medio, en m<sup>3</sup>/h, para cada foco puntual, de las emisiones gaseosas previstas en cada proceso industrial; y concentración de cada tipo de contaminantes antes de su paso por las instalaciones depuradoras y a la salida de las mismas. Se indicará también la cantidad en peso de los contaminantes emitidos por unidad de producto fabricado.
- Velocidad y temperatura de los efluentes a la salida de las chimeneas.
- Cantidad y destino de los polvos que se recogerán en los filtros, con indicación de si se obtendrán en estado seco o húmedo. En este último caso se indicará la concentración de los lodos y el tratamiento previsto para su desecación o para el vertido de las aguas residuales.
- Mapa geográfico (escala 1:25.000 o, en su defecto, 1:50.000) de la zona circundante a la planta en un radio de acción de 20 kilómetros para las industrias del grupo A del catálogo de actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera, y de 8 kilómetros para las del grupo B; señalando la posición de la industria con respecto a los lugares habitados más cercanos, con indicación del número de habitantes de cada localidad. En dicho mapa deben “croquizarse” las masas arbóreas o cultivos agrícolas existentes, con indicación de sus características.
- En las industrias del grupo A en que la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología lo estime conveniente, se indicará el nivel de contaminación de fondo de la zona, utilizado para el cálculo de la altura de las chimeneas.

- En el caso de industrias cuyo volumen de emisión de anhídrido sulfuroso sea superior a 100 Kg/h., se indicarán los datos meteorológicos precisos que han servido de base para los estudios de dispersión de contaminantes.
  - Relación de personal técnico que se encargará del servicio de lucha contra la contaminación atmosférica en la planta industrial.
  - Cuando el volumen de emisión de contaminantes sea muy elevado para la zona donde se instale la planta industrial, se indicarán las medidas previstas en caso de parada, averías o accidentes, tanto en el proceso de fabricación como en los equipos de depuración, con indicación del tiempo máximo necesario para reducir la emisión accidental de contaminantes con la aplicación de las medidas de emergencia previstas y de la frecuencia de las paradas teóricamente previstas o programadas.
7. Directiva 85/337 de la CEE, la cual establece, en su punto 2 lo siguiente: “los Estados miembros de la CEE adoptarán las disposiciones necesarias para que, antes de conceder la autorización, los proyectos que puedan tener repercusiones importantes sobre el medio ambiente, en particular debido a su naturaleza, sus dimensiones o su localización, se sometan a una evaluación en lo que se refiere a sus repercusiones”. En su anexo 2, se establecen los proyectos que, por sus características, deben someterse al procedimiento de EIA.
  8. Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, sobre EIA, que traspa la Directiva 85/377 CEE al Derecho Español.
  9. Real Decreto 113/88 de 30 de septiembre, que aprueba el reglamento que se debe seguir para la realización de las EIA.
  10. Las Comunidades Autónomas poseen su propia normativa en materia de EIA, adecuándola a las características específicas de su territorio. Para no extenderse demasiado, se introduce, de forma breve, la normativa de las Comunidades Autónomas de Galicia, y sus limítrofes, Asturias y Castilla-León.
    - 10.1. Galicia [SECR-95] [NORM-98].
      - 10.1.1. Decreto 185/84, de 27 de diciembre, de la Consellería de Presidencia, referente a diferentes medidas a tomar en materia de medio ambiente.
      - 10.1.2. Decreto 442/90, de 13 de septiembre, referente a la regulación de las EIA.

- 10.1.3. Ley 1/1995, de 2 de enero, de protección ambiental de Galicia.
- 10.1.4. Decreto 327/1991, de 4 de octubre, de Evaluación de Efectos Ambientales para Galicia.
- 10.1.5. Decreto 261/944, de 29 de julio, que otorga a la Subdirección Xeral de Protección Ambiental, dependiente de la Secretaría Xeral de Protección Civil e Medio Ambiente, competencias en la coordinación y programación de acciones en materia de impacto ambiental, efectos ambientales, actividades clasificadas e inspección ambiental. También se le otorga la coordinación, control y evaluación de las acciones en materia de protección ambiental.
- 10.1.6. Decreto 482/97 que constituye la estructura de la Consellería de Medio Ambiente.
- 10.1.7. En la actualidad, se encuentran en fase de borrador una serie de decretos que modificarán la ley gallega sobre EIA. La aprobación de estos decretos está prevista para finales de 1.998.

En el decreto 442/90 se especifica que “Quedan sometidos a esta avaliación as obras, instalacións ou calquera outra das seguintes actividades: refinamento de petróleo bruto, centrais eléctricas con potencia igual ou superior a 300Mw, instalacións destinadas a eliminar residuos radiactivos, plantas siderúrxicas integradas, instalacións químicas integradas, construcción de autoestradas, autovías e liñas de ferrocarril de longo recorrido que supoñan novo trazado, portos comerciais, vías navegables e portos de navegación, instalacións de eliminación de residuos tóxicos e perigosos, grandes presas, repoboacións e todas aquelas actividades que produzan unha alteración física ou perda dos valores materiais.” También indica el contenido de los Estudios de Impacto Ambiental: a) Descripción do proxecto e das súas acción. Exame de alternativas e xustificación da solución adoptada. ” ... “; b) Inventario ambiental e descripción das interaccións ecolóxicas ou ambientais claves. ” ... “; c) Identificación e valoración dos impactos, tanto na solución proposta como nas súas alternativas. ” ... “; d) Establecemento de medidas protectoras e correctoras e programa de vixilancia ambiental.” ... “; e) Documento de síntesis.

10.2. Asturias.

10.2.1. Ley 1/1987, de 9 de marzo, de Coordinación y Ordenación Territorial, introduce, en las EIA, los aspectos referentes a los efectos sociales, económicos y territoriales.

### 10.3. Castilla-León.

10.3.1. Decreto 289/1989, de 16 de noviembre, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, establece el procedimiento a seguir en toda EIA. Además, la "Ley de Concentración Parcelaria" vincula a las EIA el proceso de concentración en ciertas situaciones.

En resumen, toda EIA debe estar avalada por un estudio de impacto ambiental, que será el encargado de la identificación y cuantificación de los impactos ambientales del proyecto, concluyéndose el proceso con la emisión, por un órgano ambiental de la administración pública, de la declaración de impacto ambiental.

#### **2.6.15.- SITUACIÓN ACTUAL DE LAS EIA EN ESPAÑA.**

De los 4000 procedimientos administrativos de EIA iniciados por la Administración Central y las correspondientes Administraciones Autonómicas en España desde 1988 hasta 1995, solamente se han completado, con la emisión del correspondiente informe, alrededor de 900 evaluaciones [GARC-95].

La mayor parte de los proyectos de EIA realizados en las diferentes Autonomías incluyen, principalmente, evaluaciones de canteras, embalses, obras urbanas, autopistas y autovías, centrales eléctricas, industria química y puertos. La Secretaría General de Medio Ambiente de la Administración Central ha iniciado, desde Julio de 1988 hasta Abril de 1995, 453 proyectos de EIA. La tabla 2.1 proporciona, en las dos primeras columnas, el tipo y el número de proyectos evaluados y, en las dos últimas, el número de evaluaciones iniciadas y no completadas con la correspondiente declaración de EIA publicada en el B.O.E y el de EIA que si se han completado, respectivamente.

<b>EIA REALIZADAS EN ESPAÑA DESDE JULIO DE 1988 HASTA ABRIL DE 1995</b>			
<b>TIPO DE PROYECTO</b>	<b>NÚMERO TOTAL DE EIA</b>	<b>PROCESOS INICIADOS</b>	<b>PROCESOS COMPLETADOS</b>
Autopistas	212	112	100
Canteras	69	32	37
Embalses	110	26	84
Ferrocarriles	14	5	9
Centrales Eléctricas	6	2	4
Industria Química	1	1	-
Puertos	14	9	5
Almacenamiento de Sustancias Radioactivas	6	4	2
Proyectos de Regadío	10	1	9
Aeropuerto	1	-	1
Otros	10	2	8
<b>TOTAL</b>	<b>453</b>	<b>194</b>	<b>259</b>

*Tabla 2.1.- Situación de las EIA en España, desde Julio de 1.988 hasta Abril de 1.995.*

Recientemente, la Secretaria General de Medio Ambiente ha elaborado una nueva propuesta de ley sobre las EIA. Esta ley podría variar, total o parcialmente, la reglamentación vigente hasta la actualidad, siendo su objetivo principal la adaptación de todos los decretos actualmente existentes en materia de EIA para extender y mejorar su alcance. Además, varias Autonomías, entre las que destaca Galicia, Cataluña y La Rioja, están desarrollando en función de sus competencias nuevas leyes de protección medioambiental en materia de EIA.

Además, la Xunta de Galicia consciente de la importancia del cuidado del Medio Ambiente, ha decidido crear la Consellería de Medio Ambiente con las funciones, entre otras, que antes tenía la Secretaría Xeral para el Medio Ambiente. Dentro de esta nueva Consellería se establece un organismo denominado "Centro de Información e Tecnoloxía Ambiental" que tiene como una de sus funciones favorecer las investigaciones en el ámbito medioambiental, siendo ello muestra de la importancia concedida a la investigación en dicho campo.

# CAPÍTULO III

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

### **3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: MÉTODO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL IMPLEMENTADO EN EL SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.**

#### **3.1.- APROXIMACIÓN TÉCNICA A LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL.**

La tarea fundamental de las EIA radica en identificar, valorar y prevenir/compensar la incidencia de un proyecto en el medio ambiente. La identificación del impacto implica dos tareas: la primera, analiza las acciones causantes de impacto y, la segunda, establece hipótesis del tipo de relación causa-efecto. Estas hipótesis relacionan acciones con FF.AA con lo que se pretenden identificar los efectos en el medio y posteriores impactos.

La valoración de los impactos ambientales comprende dos pasos: una primera valoración en unidades heterogéneas, distintas para cada factor, y una posterior valoración en unidades de impacto ambiental homogéneas entre los distintos impactos y, por tanto, comparables.

La prevención de impactos tiene por finalidad proponer medidas correctoras para evitar, reducir o compensar los efectos ambientales producidos. El sistema desarrollado contempla tanto efectos positivos como negativos; las mejoras de éstos deben interpretarse como medidas compensatorias.

#### **3.2.- PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.**

En primer lugar, los impactos se caracterizan con un signo y un valor. El signo puede ser (+) para impactos beneficiosos o negativo (-) para los perjudiciales; el sistema puede establecer un signo especial para aquellos impactos que no pueden interpretarse como beneficiosos o como perjudiciales. El sistema, al encontrarse con un signo de este tipo, lo considera inicialmente como perjudicial, estableciendo posteriormente su signo definitivo en función de la diferencia entre el impacto sin proyecto y con él. El valor representa la magnitud del impacto expresada en unidades de impacto ambiental.

El valor del impacto está en función de cuatro parámetros [GLASS-94]:

- Importancia del efecto, o grado y forma de la incidencia sobre el FA afectado.
- Magnitud del efecto, o cantidad y calidad del FA afectado.
- Función de transformación, que relaciona el estado del FA afectado con la calidad ambiental.
- Peso o importancia del factor afectado.

El modelo diferencia los efectos sobre los FF.AA del impacto ambiental derivado de ellos. El efecto queda perfectamente identificado por medio de las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y el entorno, cuantificado por los atributos del efecto y por la cantidad de factor afectado; esto es, se le aplicarán los conceptos de importancia y magnitud. El efecto será considerado impacto ambiental cuando así se interprete, exigiendo esta interpretación la inclusión de juicios de valor y elementos de naturaleza altamente subjetiva, siendo utilizados para ello los conceptos de función de transformación y de pesos de los FF.AA.

La repercusión de los efectos en la salud o bienestar humano será la que confiera a los efectos su carácter de impacto ambiental.

El sistema identifica los efectos por el cruce entre las acciones causa de impacto y los FF.AA receptores de incidencias. Una vez identificados los efectos, se describe cada uno de ellos de acuerdo con una serie de atributos determinantes de su importancia, reservándole al usuario la posibilidad de modificar los parámetros establecidos por el sistema.

Las acciones están estructuradas en una clase con tres niveles de desagregación a los que se denomina fases, elementos y acciones. Las fases se corresponden con las etapas de desarrollo del proyecto: planificación, construcción y explotación. Los elementos se corresponden con las partes que componen un proyecto y las acciones serán las causantes directas de impactos. Para un proyecto, el usuario debe encargarse de determinar un conjunto inicial de acciones relevantes. Posteriormente, el sistema se encargará de establecer el conjunto final de acciones relevantes por medio de la aplicación del SE.

Cada una de las alteraciones aceptadas se caracteriza por medio de una serie de atributos (signo, intensidad, extensión, momento, duración, reversibilidad y posibilidad de medidas correctoras) de los cuales se obtiene la importancia del efecto. El sistema realiza la caracterización de las alteraciones para su posible modificación posterior por el usuario. La importancia se deduce de los siete atributos citados que tienen unos valores posibles asignados por convenio:

1. El signo establece el carácter beneficioso (+1), perjudicial (-1), o difícil de cualificar (considerado inicialmente como perjudicial, -1). En el caso de signo difícil de cualificar se tomará como perjudicial en un primer momento, para que posteriormente sea el sistema el encargado de determinar su signo en función del impacto neto.
2. La intensidad hace referencia al grado de incidencia sobre el factor ambiental. Se le asignará un 1 para la intensidad baja, 2 para la media y 3 para la alta.
3. La extensión hace referencia al área de influencia del impacto en el entorno considerado; una ubicación precisa y reducida se puntuará con 1, mientras que si la influencia es generalizada se puntuará como 3. Situaciones intermedias se puntuarán con un 2.
4. El momento describe el tiempo que transcurre entre la acción y el efecto. Se puntúa 1, 2 o 3 según este período sea de más de tres años, de uno a tres años o cero años, respectivamente.
5. La duración hace referencia al tiempo que permanecerá el efecto a partir del inicio de la acción. Se le asignará un 3 si es permanente, un 1 si es temporal en un período corto de tiempo y un 2 para situaciones intermedias de temporalidad durante períodos prolongados de tiempo.
6. La reversibilidad establece la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el efecto. Tomará los valores 1, 2, 3 ó 4 dependiendo respectivamente del plazo en el que esto sea posible, es decir: a corto, medio, largo e imposible.
7. La posibilidad de medidas correctoras indica la posibilidad de establecer medidas para compensar los efectos. Si es posible en la fase de proyecto se caracteriza con 1, 2 en la fase de obra, 3 en la de funcionamiento y 4 si no son posibles.

Se ha optado por utilizar este tipo de representación, en lugar de otras posibles, de cara a la simplificación del ya por sí complejo sistema. En concreto, se está hablando de la posibilidad de utilizar variables lingüísticas como esquema de representación de los atributos citados [GOME-97]. En este sentido, en lugar de utilizar valores fijos para representar características subjetivas, se utilizarían valores difusos y funciones difusas en los elementos del SH.

La importancia del impacto viene representada por un valor deducido de los siete atributos anteriores. Estas variables, además del papel descriptivo de las características del impacto, tienen una intención valorativa, donde las puntuaciones más altas reflejan efectos más importantes.

$$\text{Importancia} = \text{Signo } f(\text{intensidad, extensión, momento, duración, reversibilidad y medidas})$$

La función utilizada es de tipo lineal y consiste en la suma ponderada de las puntuaciones asignadas a los parámetros que caracterizan el impacto.

$$Im = 3*I + 2*E + M + P + 3*R - (3*R \text{ si medidas correctoras})$$

Donde:

- $Im$  = importancia
- $I$  = intensidad
- $E$  = extensión
- $M$  = momento
- $P$  = duración
- $R$  = reversibilidad

La ecuación propone reducir la importancia en su aspecto de reversibilidad para el caso de impactos que admiten fáciles medidas correctoras. El valor obtenido por esta ecuación se normaliza a valores entre 0 y 1.

Seguidamente, se verá un ejemplo del cálculo de la importancia de un impacto ambiental.

$S = -$	$I = 1$
$E = 1$	$M = 1$
$P = 3$	$R = 4$
$MC = 2$	$Im = 9$

$$I_m = 3 \cdot I + 2 \cdot E + M + P + 3 \cdot R - 3 \cdot R = 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 + 3 + 3 \cdot 4 - 3 \cdot 4 = 9$$

$$I_m \text{ normalizada} = (I_m - I_m \text{ mínima}) / (I_m \text{ máxima} - I_m \text{ mínima}) = (9 - 7) / (33 - 7) = 0,08$$

Se trata de un impacto negativo (-1), de intensidad baja (1), puntual, de incidencia inmediata a la acción, permanente, irreversible que puede corregirse incluyendo medidas correctoras en la fase de obra.

Si la corrección fuese imposible la importancia sería:

$$I_m = 3 \cdot I + 2 \cdot E + M + P + 3 \cdot R = 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 + 3 + 3 \cdot 4 = 21$$

$$I_m \text{ normalizada} = (I_m - I_m \text{ mínima}) / (I_m \text{ máxima} - I_m \text{ mínima}) = (21 - 7) / (33 - 7) = 0,54$$

El cálculo de la importancia puede repetirse tantas veces como se quiera variando las hipótesis.

### **3.3.- VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.**

El modelo de EIA realiza la valoración de las hipótesis de impacto confirmadas en dos pasos:

- ◆ Cuantificación de los efectos en unidades heterogéneas, o magnitud del efecto.
- ◆ Transformación de la magnitud del efecto a unidades de impacto ambiental homogéneas y, por tanto, sumables.

Se entiende por "magnitud del efecto" a la cantidad de FA afectado. Cada FA se puede representar por medio de una serie de parámetros sobre los que el factor se manifestará; por ejemplo, la incidencia de una acción sobre los monumentos histórico-artísticos se produce sobre las distintas clases arquitectónicas afectadas.

El segundo paso se encarga de valorar el impacto ambiental. Consiste en la transformación del efecto producido sobre los FF.AA en unidades de impacto ambiental.

Posteriormente, se determinarán las medidas correctoras necesarias para el cumplimiento de la legislación en medio ambiente, repitiéndose los cálculos tras modificar los parámetros oportunos.

### **3.4.- CÁLCULO DEL EFECTO EN UNIDADES HETEROGÉNEAS.**

La cuantificación del efecto se realiza mediante indicadores, entendiéndose por indicador la expresión medible de un factor ambiental. En ocasiones, el indicador puede ser una variable independiente, mientras en otras se forma como variable dependiente. El modelo establece y solicita los parámetros necesarios para los indicadores, los cuales estarán asociados a las hipótesis de los efectos confirmados. Normalmente, el indicador vendrá expresado por la cantidad afectada de cada clase en que puede presentarse el factor ponderada por su calidad.

La predicción de la magnitud de cada efecto es una tarea que debe ser desarrollada por un "experto" en el FA correspondiente y exige conocimientos profundos del mismo para definir el indicador más adecuado. Una vez establecido el indicador de medida, se calcula la magnitud del factor sin proyecto, la magnitud con proyecto y el neto o diferencia entre las dos anteriores.

El neto representa la magnitud del efecto expresada en unidades heterogéneas, distintas para cada factor y, por tanto, no sumables. El efecto sobre un factor será la suma de los efectos producidos entre todas las acciones que afectan a dicho factor.

### **3.5.- VALORACIÓN DE IMPACTOS EN UNIDADES DE IMPACTO AMBIENTAL.**

Consiste en la transformación de los efectos a unidades de impacto ambiental, la cual será común para todos los efectos. Estas unidades permiten la comparación de magnitudes heterogéneas. La máxima magnitud que puede alcanzar el impacto de un proyecto es de 1000 unidades. El cálculo en unidades de impacto ambiental depende de la magnitud e importancia del efecto, del peso del factor y de la función de transformación que relaciona la magnitud de un factor con la calidad ambiental.

$$V = ((0,7 * \text{valor del efecto}) + (0,3 * \text{importancia})) * \text{peso del factor}$$

Donde  $V$  es el valor del impacto ambiental.

El valor del efecto se obtiene de la aplicación de la función de transformación a la magnitud, por tanto varía entre 0 y 1.

La función de transformación define la relación entre la magnitud de un FA y la calidad ambiental, o relación entre las diferentes formas de manifestarse un factor y la calidad ambiental. La función de transformación puede ser directa o inversa, según aumente o disminuya la calidad ambiental cuando crece la magnitud del factor. Otro tipo de función de transformación presenta un máximo en un punto intermedio del eje de abscisas, entendiéndose que el aumento o disminución de su magnitud, a partir de ese punto, implican una pérdida de calidad ambiental.

El sistema desarrollado utiliza como función de transformación una cuantificación escalada de las magnitudes del efecto, asignándoles un índice de calidad ambiental para valores de magnitud comprendidos entre pares de valores.

Se pueden obtener resultados parciales de impacto por cada acción, o por factores, sumando los valores de los impactos asociados a cada uno de ellos. El impacto de cada acción se obtiene por suma de los impactos correspondientes a cada acción. El impacto de cada elemento se obtiene sumando los impactos correspondientes a las acciones que lo forman. El impacto de cada fase se obtendrá por la suma de los impactos de los elementos que la forman. Con estos cálculos se determinan las acciones productoras de mayor impacto y sus medidas correctoras, así como el impacto producido en cada uno de los elementos y cuales se verán afectados en mayor medida.

### **3.6.- APLICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS.**

Las medidas correctoras pretenden reducir los efectos ambientales que, por sus características, producen un fuerte impacto, y, o, alguno de sus parámetros esté por encima del límite establecido

por la legislación vigente en medio ambiente. Estas medidas están orientadas tanto a la mejora de los efectos positivos como a la atenuación de los negativos. Cuando el sistema detecta la necesidad de introducir medidas correctoras, en primer lugar indica qué medidas se pueden adoptar para, posteriormente, establecer una nueva configuración en la caracterización del cruce y valorar sus parámetros en función de las medidas correctoras que se tomen. Una vez establecidas las mejoras, se repetirá el proceso de cálculo. En general, las acciones causantes de impacto se mantienen, aunque se disminuya el valor de los impactos producidos.

Finalmente, la EIA permitirá establecer los impactos principales, los inevitables y los que requieren un mayor seguimiento; así como dar una explicación de impactos a la población afectada.

# CAPÍTULO IV

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

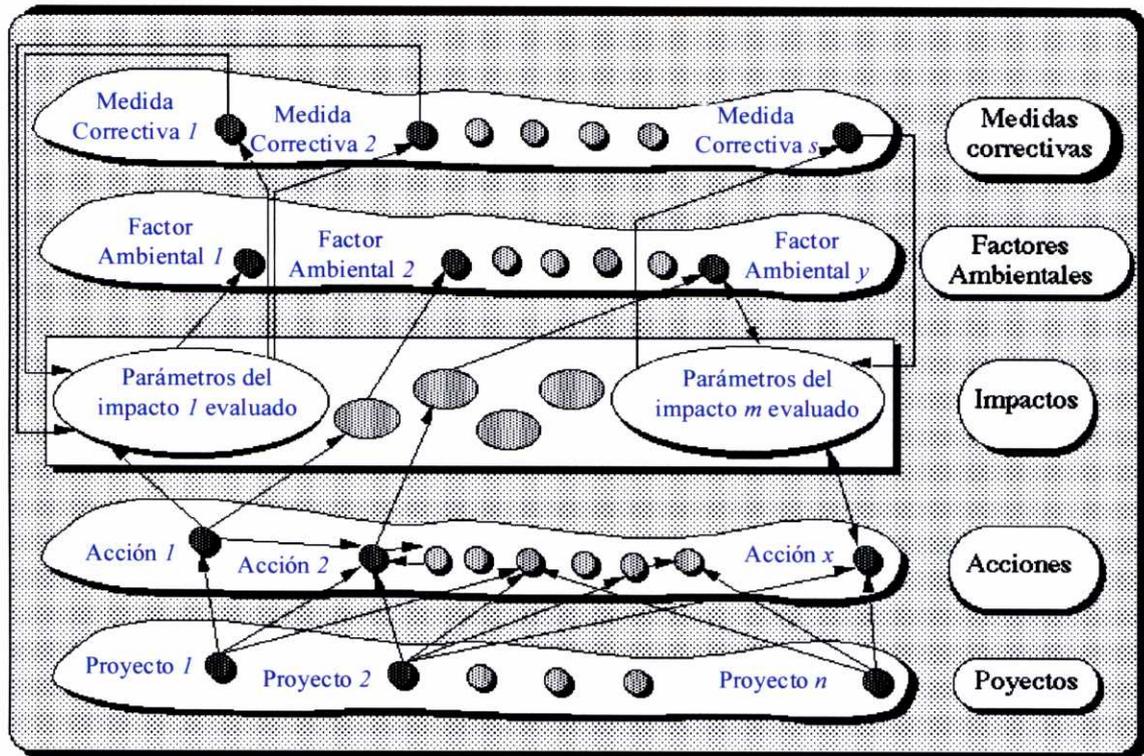
#### **4.- SOLUCIÓN PROPUESTA: METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.**

Una vez analizado el dominio de aplicación y las tecnologías involucradas en el diseño e implementación del SH propuesto, se presenta, en este capítulo, una breve descripción de las características generales del SH junto con una metodología de diseño que se estima apropiada para el trabajo de investigación aquí propuesto. Se puede hablar de la conjunción-integración de las diferentes metodologías propuestas por diversos autores para cada una de las partes del SH (BB.DD.RR, SS.EE. y RR.NN.AA) [KORT-91] [KRIS-92] [GOME-97] [PART-91]. Las tareas inherentes al diseño del sistema, debido a su complejidad, necesariamente han de afrontarse con procedimientos ordenados y metódicos.

La inexistencia en la literatura de una metodología de diseño para SS.HH como el aquí propuesto, debido quizás a sus características intrínsecas, hace necesaria la definición de un conjunto de herramientas y técnicas que puedan ser aplicadas consistentemente al problema que se plantea. En la determinación de las fases de la metodología, se definirá una jerarquía de niveles de abstracción, en el sentido de ser lo suficientemente amplia para que a cada nivel le correspondan decisiones de diseño bien definidas. Un primer desglose en fases establecerá tres diferentes niveles de diseño: conceptual, lógico y físico.

##### **4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO.**

El sistema desarrollado se encuadra dentro del dominio del "Estudio de Impacto Ambiental" y pretende demostrar la utilidad de los Sistemas Híbridos –BB.DD.RR, SS.EE y RR.NN.AA- en las EIA. Su contenido, a grandes rasgos, está estructurado en un conjunto de fases que aparecen en la figura 4.1 y se describen a continuación como "niveles de abstracción" del modelo propuesto [PAZO-94c].



*Figura 4.1.- Niveles de abstracción del modelo propuesto.*

A continuación se detallan las características de los conceptos expuestos en la columna de la derecha de la figura 4.1.

1. **Proyectos.** En este punto, el sistema identifica el tipo de proyecto empresarial o de infraestructura que se pretende evaluar.
2. **Acciones.** Se establecen las posibles acciones del proyecto definido en el punto anterior que puedan producir un cierto impacto en el medio ambiente. En esta fase se trabaja sobre una clase que desagrega el proyecto en tres niveles: fases, elementos y acciones desencadenantes de impactos.
3. **Impactos y FF.AA.** Partiendo de las acciones identificadas en el punto anterior, se establecen las hipótesis asociadas con las interacciones ecológicas y ambientales clave. En esta fase, se utilizará una clase que desagrega los factores ambientales del subsistema físico natural en: medio inerte (aire, agua, residuos, tierra-suelo y sustancias radiactivas), medio biótico

(vegetación, fauna, hombre, procesos del medio biótico, ruido y contaminación térmica), medio perceptual (paisaje intrínseco, intervisibilidad y componentes singulares del paisaje) y usos del suelo rústico (recreativo y productivo). Cada uno de los subcomponentes del subsistema físico está formado por los factores ambientales, los cuales tienen asociado un peso de ponderación de importancia en el medio ambiente. En relación con este aspecto, el sistema incorpora conocimientos del entorno que permiten la desagregación en factores ambientales y el establecimiento de los cruces acciones-FF.AA más oportunos. Los pares formados entre las acciones y los FF.AA definen cada uno de los impactos producidos por la acción sobre el factor ambiental. Una vez identificados los cruces, se valoran sus impactos; es decir, los efectos que las acciones producen sobre los factores ambientales. La descripción de los efectos está representada por una serie de parámetros que representan su importancia. La valoración realizada se representa primero en unidades heterogéneas; esto es, dependientes del indicador utilizado para cuantificar los cruces. Posteriormente, dichas unidades se transforman en unidades homogéneas a todos los impactos, permitiendo así jerarquizar y comparar los impactos ambientales para determinar su importancia relativa. Las unidades heterogéneas se calculan por medio de un indicador de impacto ambiental, indicador que estará formado por una serie de parámetros ambientales. Las unidades heterogéneas se transforman a unidades homogéneas o magnitud del efecto, por medio de la aplicación de una función de transformación, función que será aplicada al neto del efecto, obtenido de la diferencia entre el efecto producido con y sin el proyecto. Finalmente, se obtiene el valor del impacto a partir de la importancia, la magnitud y el peso del factor ambiental afectado.

4. Medidas correctivas. En este nivel de abstracción, el modelo se encarga de proponer medidas protectoras y correctoras para aquellos efectos que incumplan la legislación en medio ambiente, estableciendo los parámetros y la caracterización del efecto que debe ser modificada. Posteriormente, se repetirán los cálculos con la finalidad de hallar el impacto corregido.

Finalmente, se presentan los resultados asociados a los efectos confirmados: caracterización, importancia, valor sin proyecto, valor con proyecto, función de transformación, impacto, etc.

## 4.2.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.

Un buen diseño es la clave de una eficiente ingeniería del software. Un sistema de software bien diseñado es fácil de implementar y mantener, además de ser comprensible, consistente y fiable. Los sistemas mal diseñados, aunque puedan funcionar, serán inconsistentes, costosos de mantener, difíciles de probar y poco fiables [SOMM-88]. La metodología está compuesta por un conjunto de modelos y herramientas que permiten pasar de una etapa a la siguiente del proceso de diseño de la BD [ROLL-88]. Como ya se ha citado previamente, se han definido tres grandes fases o niveles:

⇒ Diseño conceptual: En esta fase se hace una representación de los recursos de información del problema.

⇒ Diseño lógico: Posteriormente, se transforma el esquema conceptual obtenido, adaptándolo a un modelo de datos. En este sentido, se utilizará el modelo relacional.

⇒ Diseño físico: Para finalizar, se instrumenta o implementa, lo más eficientemente posible, el esquema lógico.

Este enfoque demuestra que la metodología estructura el diseño en una secuencia de pasos, de modo que cada fase resuelve un problema de diseño bien definido [HAWR-84].

Existen dos causas principales que conducen a un diseño incorrecto [KERS-83]:

- La falta de conocimientos del dominio de aplicación, conocimiento que si poseen los usuarios y expertos aunque no siempre sepan expresarlo de forma correcta y precisa.
- Falta de experiencia en el modelado, experiencia aportada por los diseñadores de bases de datos.

Para resolver el problema de la comunicación con el usuario, se propone la utilización de un enfoque basado en el "modelo ER". Este modelo permite entablar un diálogo con el usuario

que facilite el modelado del dominio de aplicación. El "modelo ER" permite representar conceptualmente los objetos a modelar con un buen nivel de abstracción. La popularidad de este modelo para el diseño de alto nivel de BD se debe a la economía de conceptos y a la amplia aceptación de las entidades e interrelaciones como conceptos de modelado estructural [BROD-84].

La figura 4.2 representa esquemáticamente las primeras etapas de esta metodología, donde tras partir del dominio de las EIA y utilizando, en una primera etapa, el modelo ER, se llega a una modelo relacional y, finalmente, a un conjunto de tablas, en el que se almacena toda la información necesaria en las EIA: acciones, FF.AA, caracterización de efectos, funciones de transformación, etc.

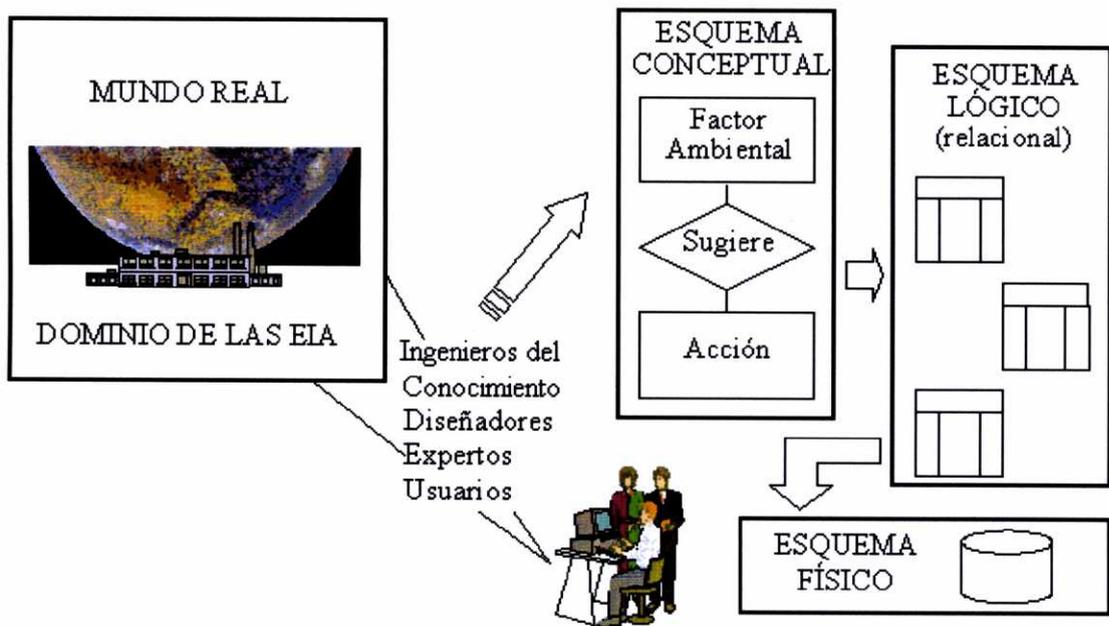


Figura 4.2.- Esquema gráfico de la Metodología propuesta para el diseño de la BDR.

El modelo ER proporciona un conjunto de entidades con sus atributos, interrelaciones y restricciones semánticas que, aplicándoles unas determinadas reglas semánticas y de derivación, dan lugar a un conjunto de relaciones con sus propios atributos y dependencias funcionales. Además, se obtienen restricciones semánticas, como las definidas sobre los dominios o las de integridad referencial. Finalmente, se realiza el proceso de normalización.

#### 4.2.1.- DISEÑO CONCEPTUAL.

En este punto, se analiza la primera fase de la metodología de diseño de BB.DD, el diseño conceptual. El diseño conceptual o modelo conceptual se puede subdividir en dos etapas: el análisis de requisitos y la conceptualización.

La primera etapa se encarga de la identificación y descripción del dominio de las EIA. Mediante el estudio de diferentes documentos y de entrevistas con expertos del mundo de las EIA, utilizando el lenguaje natural, se elabora un esquema descriptivo de dicho dominio [MANN-83]. Este primer esquema, se irá refinando hasta llegar al esquema conceptual.

En la etapa de conceptualización, se transforma el esquema descriptivo, refinándolo y estructurándolo adecuadamente. La figura 4.3 muestra el proceso de modelización conceptual, distinguiéndose los subprocesos que se tienen que realizar para pasar del dominio de aplicación al esquema descriptivo y de éste al esquema conceptual [BENC-79] [FURT-86].

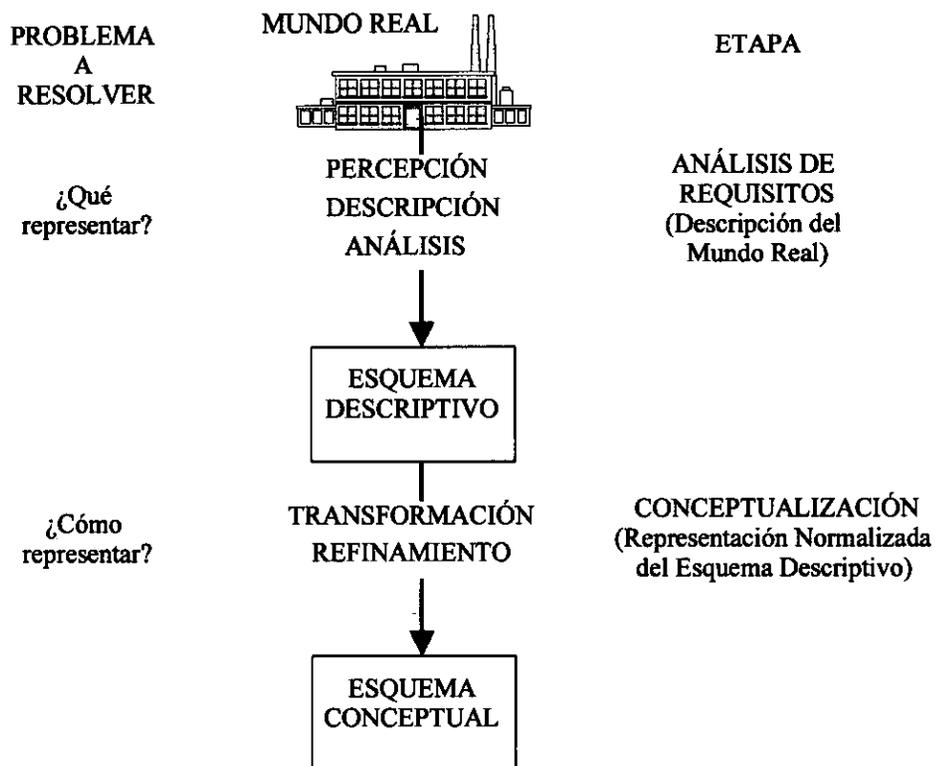


Figura 4.3.- Proceso de modelización conceptual.

Una característica importante del esquema conceptual [CERI-83] es que sea “infológico”, en el sentido que no describa los aspectos ligados a la instrumentación de un SGBD, sino que permita ver la información con todo su sentido semántico.

En la figura 4.4, se pueden observar las entradas y salidas del diseño conceptual. Se parte del análisis del dominio de aplicación, las EIA, analizando documentos, normativas, legislación, etc., y realizando entrevistas a varios niveles dentro del personal involucrado en dichas tareas.

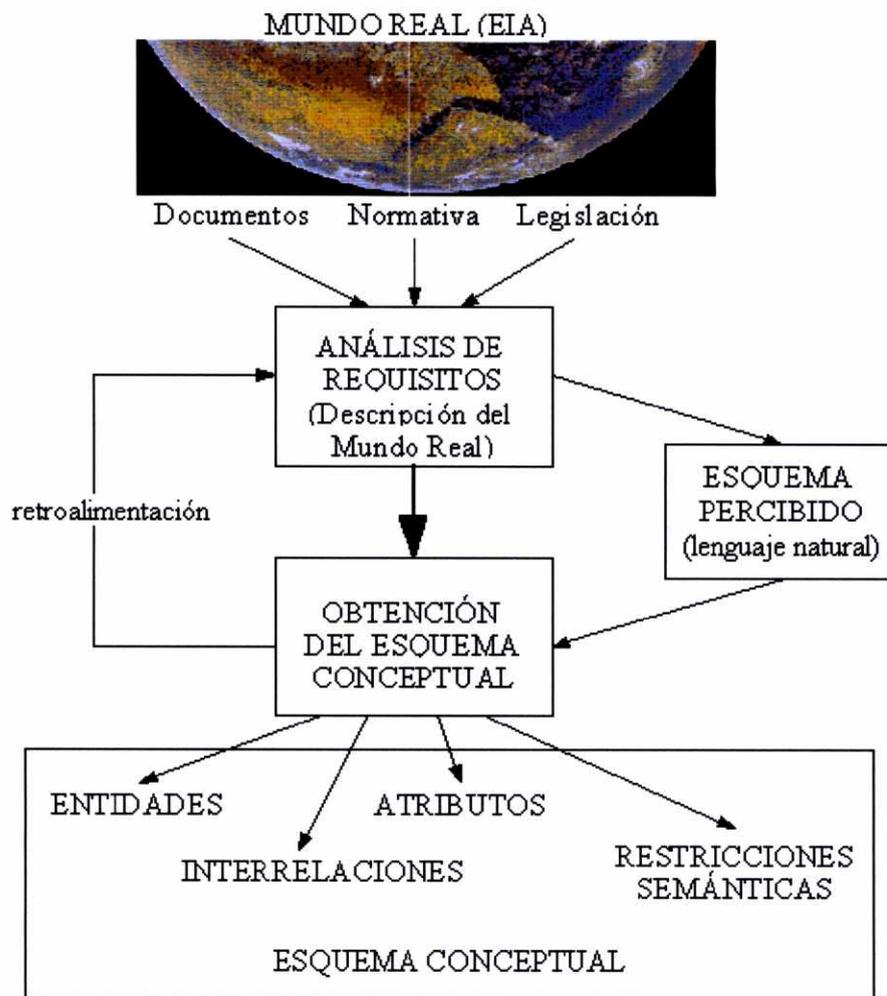


Figura 4.4.- Entradas y salidas de la modelización conceptual.

Posteriormente, se elabora un esquema que contenga el conjunto de entidades, atributos, interrelaciones y restricciones semánticas que representen los requisitos del sistema a diseñar. Este

esquema se irá refinando y normalizando hasta obtener un esquema en el modelo ER. Existen varios métodos, basados en conceptos lingüísticos, encargados de transformar un esquema descriptivo en lenguaje natural en un esquema ER [CARS-83] [CHEN-83]. Del estudio de las frases que definen los requisitos del sistema se pueden ir definiendo los distintos objetos. Por ejemplo, los verbos *ser* y *tener* definen claramente ciertas especificaciones de requisitos. El primero permite crear jerarquías de entidades que pueden asociarse al concepto de generalización [SMIT-77]. El segundo puede asociarse a múltiples interpretaciones, como puede ser la interrelación entre entidades o la asociación de las entidades con sus atributos "agregación". Por ejemplo, "... las acciones pueden tener un impacto sobre más de un FA ..." establece la interrelación entre las entidades ACCIONES y FACTORES AMBIENTALES. De una forma similar, si se dice que "... las características de un impacto tienen un signo, una intensidad, una extensión, un momento, una posibilidad de medidas correctoras, una duración y una posibilidad de reversibilidad ...", se está asociando a la entidad CARACTERÍSTICAS una serie de atributos: signo, intensidad, extensión, momento, correctoras, duración, reversibilidad, etc.

Otros aspectos a tener en cuenta, como puede ser el número de las entidades singular o plural, permite deducir ciertos tipos, cardinalidades y grados de las interrelaciones; por ejemplo, la frase "... un indicador de impacto puede utilizar varias funciones de transformación para la cuantificación de los impactos ambientales ... y ... una misma función de transformación puede aplicarse en varios indicadores de impacto ..." hace referencia a una relación del tipo N:M y de grado dos.

Como regla general, se deben considerar los objetos como entidad, en lugar de como atributos, cuando el objeto tiene asociados otros atributos o está relacionado con otras entidades, o cuando los atributos son multivaluados.

Este proceso iterativo, mediante refinamientos sucesivos, permitirá definir el esquema conceptual que refleje fielmente, mediante una descripción rigurosa, la información involucrada en las EIA, aislando la representación de la información de los requisitos de la máquina, de las exigencias de cada usuario en particular y de los SS.GG.BB.DD. En resumen, un esquema conceptual comprende una descripción central única de los distintos contenidos de información que pueden coexistir en una base de datos [ANSI-77].

Para obtener el esquema conceptual, se utilizará el modelo ER que se caracteriza por su claridad, coherencia, plenitud -sin buscar la exhaustividad-, fidelidad y simplicidad.

El enorme tamaño y complejidad de una BD que contemple todos aquellos datos involucrados en el dominio de las EIA hace necesario tener que abordar el diseño de los esquemas de sus distintos subsistemas, siguiendo para cada uno de ellos una metodología analítica o descendente; es decir, para cada subsistema se desarrollará su correspondiente esquema ER con sus entidades, atributos e interrelaciones.

El esquema global se elaborará de manera sintética o ascendente por medio de la integración de todos los esquemas de los subsistemas, comprobando este esquema para verificar si refleja el mundo real de las EIA y proceder, posteriormente, a sucesivos refinamientos del esquema.

#### **4.2.2.- DISEÑO LÓGICO.**

En esta fase se desarrolla una estructura lógica adecuada que permita evitar cargas suplementarias de programación y elimine las posibles redundancias, estableciendo un cierto equilibrio entre las necesidades de los usuarios y la eficiencia del sistema. A partir del esquema conceptual de la etapa anterior, se desarrolla un esquema lógico basado en el modelo relacional.

El paso de un esquema en el modelo ER al relacional sigue tres principios básicos: 1º) todo tipo de entidad se convierte en una relación; 2º) todo tipo de interrelación N:M se transforma en una relación y 3º) todo tipo de interrelación 1:N produce una propagación de clave o crea una nueva relación.

Las interrelaciones N:M dan lugar a una nueva relación cuya clave es la concatenación de las claves primarias de las entidades que participan en ella. Las interrelaciones 1:N se transforman mediante el mecanismo de propagación de clave, por el que se incluye en la entidad del lado N el atributo clave de la entidad del lado 1.

### 4.2.3.- DISEÑO FÍSICO.

En esta fase, se hace una descripción del esquema en el modelo relacional utilizando el lenguaje de definición de datos del SGBD. Esta operación lleva consigo un conocimiento del SGBD que se utilice. El modelo de referencia ANSI [ANSI-86] advierte sobre los inconvenientes relacionados con el traslado a programas de la semántica de los datos y aconseja almacenar de forma centralizada el control de integridad de la BD.

Se han de seguir una serie de recomendaciones a la hora de abordar el diseño físico [CODD-90] [DATE-86] [DURE-91]:

- Definir diferentes niveles de comprobación en el SGBD.
- Posibilitar la definición de operadores sobre los dominios.
- Mantener la integridad de los dominios entre sí. Para lo cual puede ser aconsejable trabajar con tablas de dominios que permiten, entre otras cosas: aislar los datos de los procesos, compartir datos, estandarizar la validación de datos, etc.
- Declarar una sola vez cada tipo de datos. La mayor parte de los SGBD no dispone de sentencias que permitan la definición de dominios, teniéndose que especificar el tipo de dato, la longitud y sus restricciones en el momento de definir las columnas de las tablas.
- Declarar los campos de las claves primarias de forma que no admitan valores nulos.
- Definir de tipo único la combinación de todos los campos de la clave primaria.
- Controlar las operaciones de actualización que puedan violar las restricciones de clave foránea. Por ejemplo: borrado de filas que tengan una clave referenciada, modificación de una clave primaria referenciada, inserción en la tabla que referencia, modificación en la clave foránea de la tabla que referencia, etc.
- Comprobar periódicamente posibles violaciones de integridad asociadas con las restricciones asociadas a las claves primarias y foráneas.

A la hora de abordar el diseño físico se han de tener presentes, entre otros aspectos: los requisitos de los procesos y las características del SGBD, del sistema operativo y del "hardware", con el objetivo de disminuir los tiempos de respuesta, minimizar los espacios de almacenamiento y proporcionar un alto nivel de seguridad.

En resumen, la finalidad de la etapa de diseño físico consiste en encontrar la estructura interna que dé soporte a la estructura conceptual y a los objetivos del diseño lógico obteniendo la máxima eficiencia posible del “hardware” utilizado. En la tabla 4.1, se pueden ver los elementos de la metodología propuesta.

<b>FASES</b>	<b>MODELIZACIÓN</b>	<b>DISEÑO LÓGICO</b>	<b>DISEÑO FÍSICO</b>
<b>ELEMENTOS</b>	<b>CONCEPTUAL</b>		
<b>MODELOS</b>	Modelo ER	Modelo Relacional	Modelo interno del SGBD utilizado
<b>HERRAMIENTAS</b>	Diagrama ER	Teoría de Normalización	Herramientas específicas del SGBD (utilidades, menús, etc.)
<b>LENGUAJES</b>	Lenguaje Natural	Lenguaje Relacional del SGBD	Lenguaje interno SGBD
<b>DOCUMENTACIÓN</b>	Especificaciones	Sentencias Lógicas	Sentencias Físicas

*Tabla 4.1.- Componentes de la metodología propuesta para la construcción de la BDR.*

#### **4.3.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO.**

En este punto, se verá la metodología utilizada en el diseño del SE que forma parte del SH desarrollado en el presente trabajo de investigación. Se parte de la metodología IDEAL (acrónimo de Identificación, Desarrollo y Alcance Tecnológico) modificada posteriormente en el Laboratorio de IA de la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid para su aplicación en el desarrollo de productos de Ingeniería del Conocimiento, en concreto SS.EE [MART-89] [GOME-97]. Posteriormente, se hace una adaptación de dicha metodología para su aplicación en el desarrollo del SE que aquí concierne, teniendo en cuenta que está integrado en un SH, por lo que se hace necesario adaptar algunas cosas que se consideran útiles de otras

metodologías. La base inicial de esta metodología consiste, como se puede ver en la tabla 4.2, en un desarrollo incremental.

<p><b>1.- IDENTIFICACIÓN DE LA TAREA.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Plan de Requisitos y Adquisición de Conocimientos.</li><li>• Evaluación y Selección de la Tarea.</li><li>• Definición de las Características de la Tarea.</li></ul>
<p><b>2.- DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Descomposición en Subproblemas y Determinación de Analogías.</li><li>• Adquisición y Conceptualización de los Conocimientos.</li><li>• Formalización de los Conocimientos y Definición de la Arquitectura.</li><li>• Selección de la Herramienta e Implementación.</li><li>• Validación y Evaluación del Prototipo.</li><li>• Definición de nuevos Requisitos y Diseño.</li></ul>
<p><b>3.- EJECUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Requisitos y Diseño de la Integración.</li><li>• Implementación y Evaluación del Sistema Integrado.</li><li>• Aceptación del Sistema por el Cliente.</li></ul>
<p><b>4.- MANTENIMIENTO.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Definir el Mantenimiento del Sistema Global.</li><li>• Definir el Mantenimiento de las Bases de Conocimientos.</li><li>• Adquisición de nuevos Conocimientos y Actualización del Sistema.</li></ul>
<p><b>5.- TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA.</b></p>

*Tabla 4.2.- Base inicial de la metodología propuesta para la construcción del SE.*

La tarea de descubrir y formalizar los conocimientos de los expertos forma parte de las labores más tediosas y complejas. Por medio del estudio de diversos documentos "conocimientos públicos" y entrevistas con expertos en EIA "conocimientos expertos", se define el problema y sus límites, se descubren los conceptos básicos implicados y se desarrollan las reglas que expresan las

relaciones existentes entre los conceptos. Las principales fases que han de abordarse son las siguientes:

1. Identificación del problema.
2. Educción de los conocimientos del experto.
3. Representación de los conocimientos.
4. Elección de una herramienta de desarrollo.
5. Desarrollo de los diferentes prototipos, desde el de investigación al de campo.
6. Construcción del sistema completo.
7. Verificación y evaluación del sistema.
8. Validación del sistema.
9. Transferencia tecnológica del sistema.

#### **4.3.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

Una de las principales tareas que se debe abordar consiste en determinar si el problema de las EIA propuesto es adecuado para su implementación total o parcial en un SE, para lo cual se realizarán los siguientes análisis [WATE-85]:

1. Adecuación del SE. Para lo cual se debe hacer un estudio sobre la naturaleza del problema que justifique, en gran medida, el abordar el problema mediante un SE. En este sentido, los conocimientos deben ser completos y parte o toda la naturaleza del problema debe ser simbólica. Si el problema es sencillo no es aconsejable la utilización de un SE y, además, el problema debe requerir para su resolución utilizar conocimientos reservados a expertos genuinos en la materia.
2. Alcance. El alcance del SE estará en función de su interés socioeconómico y valor práctico.
3. Posibilidad. La posibilidad de desarrollar un SE estará en función de:

⇒ La disponibilidad de expertos “genuinos” suficientes y cooperativos, que concuerden entre sí y sean capaces de establecer sus métodos. La simulación de la

experiencia de varios expertos en EIA permitirá conseguir un sistema que pueda llegar a buenas soluciones a través de caminos óptimos y efectivos, eliminando cálculos innecesarios. Este sistema deberá tener amplitud además de profundidad en su conocimiento. O sea, debe cubrir con la suficiente intensidad un área que incluye todos los factores que influyen en la adecuada solución del problema a resolver.

⇒ Que el problema sea complejo pero no demasiado.

⇒ La capacidad de comprobar si el SE funciona bien mediante la verificación y validación, tanto prospectiva como retrospectiva, del sistema.

#### 4. Justificación. En general, la necesidad de utilizar SS.EE queda justificada por:

⇒ Necesidad de los conocimientos de los expertos en entornos hostiles y, o, aislados.

⇒ Escasez de experiencia humana.

⇒ Necesidad de experiencia humana en diversos lugares simultáneamente.

⇒ Pérdida de la experiencia humana.

⇒ Enfoque no adecuado de la programación convencional.

#### 5. Éxito. El éxito de un SE tiene una gran probabilidad de ser alcanzado si:

⇒ Se efectúa una transferencia de tecnología adecuada.

⇒ Se producen cambios mínimos en los procedimientos habituales de los usuarios.

⇒ Los usuarios finales no rechazan de plano el SE.

⇒ El dominio debe ser relativamente estable y estar bien definido. Si un campo cambia excesivamente rápido, probablemente se debería evitar.

En la práctica, el éxito del sistema requiere un cambio substancial en la filosofía de desarrollo [PUER-94], incluso adoptando técnicas de diseño participativo. El diseño participativo es una disciplina que trabaja directamente con los usuarios en el diseño de los sistemas, incluyendo los sistemas de computación. Es, en sí, un área interdisciplinar incluyendo ramas como etnografía, sociología, etc. en sistemas de computación.

Hay dos dimensiones de importancia en el diseño participativo: (1) dirección de la participación y (2) momento de la participación. Con respecto a la primera dimensión, hay dos niveles de participación en el desarrollo de un sistema de computación. El primer nivel es el de participación del diseñador del sistema en el mundo del usuario, mientras que el segundo es la participación del usuario en el proceso técnico del sistema. Cada uno de estos niveles implica diferentes tareas dependiendo de en que punto del ciclo de desarrollo se encuentre el sistema en cuestión. En un sistema de computación, el ciclo de desarrollo establece la base para la segunda dimensión. Cronológicamente, las técnicas de diseño participativo más importantes son las siguientes: (1) Análisis etnográfico de la administración de protocolos. (2) Diseño del conjunto de interfaces. (3) Análisis de utilización de las interfaces [OLSE-92] [BARF-93] [WILL-95].

El propósito del análisis etnográfico es el de investigar en detalle la tarea que va a ser automatizada y el posible impacto de la automatización de la tarea en los participantes. Este análisis toma lugar al principio del ciclo de desarrollo del sistema. Normalmente, consiste en una serie de observaciones hechas por los diseñadores del sistema en el lugar donde se va a instalar. Dichas observaciones pueden ser pasivas o activas.

Las observaciones pasivas se limitan a estudiar el entorno, determinar, entre otras cosas, cómo se subdividen las tareas, cuál es el orden de las tareas, cuánto tiempo toma cada subtarea y qué personas participan en cada tarea. Las observaciones activas incluyen entrevistas con los expertos y responsables de las EIA. El análisis etnográfico es clave en muchas decisiones que determinan la arquitectura del sistema y las funciones disponibles en el mismo.

Uno de los problemas más comunes en el desarrollo de sistemas de computación ocurre cuando los sistemas, que son capaces de completar todas las funciones relacionadas con una tarea, no son aceptados por el usuario debido a la pobreza o inadecuación de la interfaz. El diseño conjunto con los usuarios de los interfaces tiene

como meta mejorar substancialmente la posibilidad de que tal rechazo no ocurra. El esquema general del diseño conjunto promueve la participación del usuario final del sistema en el desarrollo del interfaz.

Los análisis de utilización tienen como objetivo determinar los problemas y beneficios que los usuarios de un sistema encuentran en su interacción con la computadora. Los análisis se centran en el uso de la interfaz del sistema. A través de estos estudios, es posible determinar fallos y omisiones en el diseño del sistema. Es conveniente utilizar estos estudios lo antes posible durante el ciclo de desarrollo del sistema ya que los errores de diseño son muy caros de corregir, tanto en tiempo como en recursos humanos [DUMA-93].

#### **4.3.2.- EDUCCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS DE LOS EXPERTOS.**

Una de las fases más críticas en la construcción de un SE es la obtención o educción de los conocimientos provenientes de los expertos. Los conocimientos de un SE deben ser completos, estructurados y formalizados. En general, los conocimientos que utilizan los expertos no presentan estas características, o bien estos no son capaces de expresarlos con ellas.

Los expertos realizan, en muchas ocasiones, complejos procesos de razonamiento sin identificar cada paso de razonamiento. Este problema se denomina “paradoja de la experiencia”. Los expertos no son capaces de describir su razonamiento e incluso, en ocasiones, intentan racionalizar sus decisiones presentando reglas que en realidad no utilizan.

Además, el ingeniero del conocimiento debe de familiarizarse con el vocabulario del experto y los conceptos que utiliza. Debe de realizarse, así, una obtención de conceptos previa a la educción de los conocimientos y razonamientos. En la práctica, estos dos tipos de conocimientos se obtienen paralelamente, incorporándose conceptos nuevos a medida que se muestran en el razonamiento del experto.

Existen diversas aproximaciones para una correcta educación [BOOS-88] [HART-89] [DIAP-89] [GONZ-93] [GOME-97]. Habitualmente, varias de estas técnicas se utilizan complementariamente durante el desarrollo de un SE.

El método de las entrevistas, aún muy utilizado, se basa en una serie de entrevistas personales, donde el ingeniero plantea al experto problemas del dominio. Constituye el método más familiar y es muy útil sobre todo en la fase inicial, ya que proporciona los conceptos básicos rápidamente. Sin embargo, esta técnica consume una gran cantidad de tiempo por parte del ingeniero del conocimiento.

Para evitar en lo posible los efectos de la paradoja de la experiencia, el ingeniero debe tener en cuenta las decisiones del experto y valorar, con un espíritu crítico, las explicaciones de cómo se tomaron las decisiones, así como ayudar al experto en la explicación utilizando problemas reales que el experto tratará de resolver.

Esta técnica se puede complementar con la utilización de prototipos del sistema que intenten resolver problemas utilizando los conocimientos obtenidos del experto. En el caso de no disponer de prototipos, el ingeniero del conocimiento puede abordar la resolución de estos problemas manualmente. De esta manera el conocimiento obtenido se hace explícito y resulta más sencillo perfeccionarlo.

Otro de los métodos, el de análisis de protocolos, consiste en registrar, sin intervenir en absoluto, como el experto soluciona casos reales. Para ello, se registran las acciones y explicaciones del experto. Resulta un método muy útil en el caso de expertos que no son capaces de explicar bien sus razonamientos.

Habitualmente, se pide a los expertos que indiquen las distintas decisiones que van tomando sin explicar sus razones. Posteriormente, se pueden utilizar las transcripciones tomadas para plantear dudas, en una entrevista posterior, acerca de la razón de tomar una decisión y no otra.

Como desventajas de este método se pueden citar la imposibilidad de utilizarlos en entornos concretos, el coste para el experto que debe organizar las transcripciones y la posibilidad de que el experto elabore un razonamiento distinto del realmente utilizado.

A pesar de que los conocimientos fundamentales en un sistema de este tipo provienen de los expertos, una forma de adquirir conocimientos acerca de los conceptos y crear un marco que permita una mayor comprensión del dominio es la lectura de documentos técnicos. Por ello, la técnica de lectura de documentos técnicos tiene cabida solamente en las primeras fases de la educación o, incluso, previamente a la misma.

Las técnicas más utilizadas son el escalamiento multidimensional, el análisis de agrupamientos, en inglés "clusters" y las redes ponderadas. Estos métodos se fundamentan en series de elementos y distancias entre los mismos. Estas distancias se obtienen a partir de los juicios que proporciona el experto.

La técnica de emparrillado permite realizar una estructuración de los objetos del dominio. Se presentan varias series de conceptos a los expertos pidiéndoles que los clasifiquen en grupos y expliquen la razón de su asignación a cada grupo. De esta manera se genera una estructura que contiene los objetos del dominio, muy útil en el caso de que exista una gran cantidad de ellos.

En la actualidad, se están utilizando herramientas que facilitan la adquisición de conocimientos. Estas herramientas permiten que el experto introduzca conocimientos directamente en el sistema y facilitan su posterior depuración. De esta manera, se automatiza parte del proceso del ingeniero del conocimiento.

Las herramientas inductivas permiten la construcción de reglas a partir de ejemplos. Para ello utilizan, de una forma supervisada, una serie de heurísticas de inducción. Con estas heurísticas y los ejemplos, se elaboran unos árboles de decisión que se utilizan para la creación de reglas.

### **4.3.3.- REPRESENTACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS.**

La utilización de una representación de los conocimientos adecuada es imprescindible para la realización de un SE eficaz en la resolución de una tarea. Para ello, es necesario que los conocimientos cumplan dos condiciones fundamentales.

1. Por un lado, debe permitir almacenar todos los conocimientos relevantes (debe ser completo y flexible).
2. Por otro, debe ser eficiente, esto es, permitir un acceso rápido y organizado a su información.

Los conocimientos en los SS.EE son complejos y presentan varias características que dificultan y condicionan el diseño de su representación. Entre estos problemas se encuentra:

1. La necesidad de almacenar heurísticas.
2. El carácter incierto, incompleto, impreciso e inconstante de los conocimientos en el mundo real.
3. Las posibles relaciones causales, temporales y espaciales que se establecen en él.

Un formalismo de representación es una colección de estructuras que permiten almacenar los conocimientos de un SE. Se distinguen dos tipos fundamentales de formalismo: declarativos y de carácter procedimental.

Los formalismos declarativos se basan en el “qué”, en los hechos en sí. De esta manera, los conocimientos se representan como una colección de verdades del dominio, siendo necesario un conjunto de procedimientos generales para su manipulación.

Los formalismos de carácter procedimental se enfocan hacia la manera de resolver el problema. El énfasis se efectúa en las relaciones entre los hechos. Son, por ello, más adecuados para la representación de heurísticas. Estas dos clases se encuentran normalmente mezcladas dentro de los formalismos de representación utilizados en los SS.EE.

#### **4.3.4.- SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DESARROLLO.**

Para seleccionar la herramienta de desarrollo hay que tener en cuenta tanto la existencia de sistemas de propósito general, como la posibilidad de construir sistemas de propósito específico en un lenguaje de programación. Las herramientas más antiguas se desarrollaron a partir de sistemas construidos eliminándoles el conocimiento específico del dominio: emycin, kas, etc. [BUCH-84] [MELL-82] [DUDA-78] [DUDA-84] [REBO-81]. Cuando se estudia una herramienta de desarrollo comercial, es aconsejable analizar qué SS.EE. comerciales se han construido previamente con esas herramientas. Existen cuatro cuestiones a afrontar cuando se elige una herramienta:

1. Restricciones de desarrollo. Se tiene que diferenciar entre lenguaje de programación (Lisp, Prolog, Pascal, C, etc.) y herramienta de ingeniería de conocimiento. Los lenguajes de programación son mucho más flexibles, permiten hacer muchas más cosas y ajustarlas mejor a las necesidades del problema. En contrapartida, la utilización de lenguajes de programación requieren un mayor esfuerzo en el diseño de las bases de conocimientos, del motor de inferencias, etc.; y, en general, desarrollos más largos en cuanto a tiempo. Las herramientas de ingeniería de conocimiento aportan un mayor número de mecanismos de ayuda para representar y acceder al conocimiento del sistema, consiguiéndose desarrollos más rápidos y sencillos. Pero puede darse el caso de que el producto sea menos efectivo y menos flexible.
2. Dispositivos de soporte. Los dispositivos de soporte agilizan el desarrollo y ahorran tiempo y dinero. Algunos de los dispositivos de soporte que normalmente se encuentran en las herramientas son los relacionados con: detección de errores, editores, estructuras de entrada y salida, mecanismos de explicación, etc.
3. Seguridad y fiabilidad. La herramienta de desarrollo debe ser fiable y no debe estar en fase de experimentación o de investigación sino que debe estar perfectamente contrastada en su funcionamiento.
4. Ausencia de problemas de mantenimiento. En el desarrollo de cualquier sistema se ha de pensar, en todo momento, en minimizar cualquier problema de mantenimiento. En general, la utilización de adecuadas herramientas de ingeniería de conocimiento

minimizará el posterior mantenimiento, ya que normalmente no requiere modificaciones en el código.

En general, se deben seguir una serie de criterios a la hora de seleccionar la herramienta de desarrollo [GOME-97]:

- La herramienta con la que se diseña y construye un SE no tiene por qué ser la misma que la utilizada en explotación.
- Las características del problema influyen de modo claro en la elección de la herramienta.
- Las características de la aplicación sugerirán las características del SE, y de ahí se podrán deducir las características de la herramienta de desarrollo.

Además, se han de considerar aspectos tales como el coste, requerimientos en tiempo de desarrollo, facilidades de aprendizaje y explicación, desarrollos previos realizados, interconexión con otros “software”, utilidades de ayuda, soporte técnico, etc.

#### **4.3.5.- DESARROLLO DE PROTOTIPOS.**

A la hora de desarrollar un SE, se aconseja abordar el problema progresivamente por medio del diseño de diferentes prototipos siguiendo, por ejemplo, los siguientes pasos:

1. Definir el problema y establecer las metas u objetivos del prototipo.
2. Comenzar la adquisición de los conocimientos. Aplicar metódicamente los conocimientos hasta encontrar un modelo adecuado que se ajuste al problema de EIA a resolver. En un primer momento, se deben examinar todas la BB.DD, casos concretos, libros, revistas y documentación relacionada con el área de las EIA. Posteriormente, el análisis de tareas y protocolos será otra de las herramientas utilizadas para la adquisición de los conocimientos. Se plantean al experto problemas concretos y se le pide que comente todas las decisiones tomadas, las cuales pasan a formar parte de las acciones de las reglas. Posteriormente, se examinan con el experto las secuencias de acciones anteriormente registradas y se analiza la razón de que tomase esas acciones y no otras equivalentes. Las repuestas obtenidas a estas cuestiones,

conforman la parte izquierda o condiciones de las reglas. Una vez extraídas las condiciones y acciones para cada regla, se le presentan en conjunto al experto con el fin de generalizarlas. Los protocolos pueden proporcionar heurísticas útiles o hechos implementables directamente como conocimientos o indirectamente como “metaconocimientos”.

3. Implementar, evaluar con los expertos y, si fuese necesario, rehacer las observaciones.
4. Estudiar y documentar el prototipo y las metas u objetivos obtenidos. La construcción de un SE progresa normalmente desde las tareas más sencillas a las más complejas, mejorando incrementalmente la organización y representación de los conocimientos. En este sentido, el enfoque incremental permite el aprendizaje progresivo de los distintos aspectos relacionados con la implementación del sistema. Puede darse el caso de tener que considerar el rediseñar y reimplementar el sistema y, tal vez, replantear el esquema inicial [JACK-90].

La construcción de un prototipo de demostración permite, por un lado, comprobar la viabilidad de la aplicación y, por otro, comprender mejor los requisitos y las especificaciones del sistema. Posteriormente, se establecen paulatinamente los prototipos de: investigación, campo y operación, que son sucesivos refinamientos cada uno del anterior [GOME-97].

#### **4.3.6.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA COMPLETO.**

Después de establecer la adecuación, posibilidad, justificación y éxito del SE se puede continuar con las siguientes fases:

1. Diseñar las bases de conocimientos. Esto es, analizar los conocimientos, objetos y relaciones del dominio y la información pública sobre la cual están de acuerdo los expertos de las EIA. Además, se han de estudiar ejemplos de situaciones tanto típicas como críticas y analizar conjunciones, disyunciones e incertidumbre.
2. Utilizar suposiciones a la hora de definir las hipótesis, restricciones y taxonomías del dominio.
3. Analizar los procesos y cómo se van a ejecutar.
4. Realizar agrupaciones de reglas.

5. Estudiar y analizar la formación personal (conocimientos privados) de los expertos en el mundo de las EIA. Es de gran importancia el descubrir las reglas del experto a partir de su experiencia personal; así como las reglas de razonamiento plausible que caracterizan la toma de decisiones a nivel experto. Todos estos conocimientos constituyen el conjunto de heurísticas. La calidad de las prestaciones de un SE está, fundamentalmente, en función del tamaño y de la calidad de la base de hechos y heurísticas que se tengan.
6. Seleccionar conjuntos de ejemplos representativos.
7. Educar y analizar los metaconocimientos del dominio o conocimientos sobre el sistema de razonamiento.
  - ⇒ Razonamiento de sentido común.
  - ⇒ Metareglas.
  - ⇒ Aprendizaje.
8. Desarrollar el motor de inferencias.
  - ⇒ Encadenamiento progresivo-regresivo.
  - ⇒ Agenda.
  - ⇒ Pizarra.
  - ⇒ Meta-Control.
  - ⇒ Gestión de incertidumbre.
  - ⇒ Cálculos matemáticos relacionados con la incertidumbre.
9. Definir las estructuras de explicación del SE.
10. Interfaz de comunicación con el usuario: menús, gráficos, explicación, ayuda, animación, control de inferencia para que el usuario pueda cambiar la forma de trabajo del motor de inferencia, etc.

#### **4.3.7.- VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA.**

Tanto el sistema desarrollado como los distintos prototipos utilizados hasta llegar a él deben ser, de cara a determinar sus prestaciones y utilidad, verificados, y si fuera el caso, revisados. Las pruebas del sistema se toman de tal forma que sean representativas de los diferentes tipos de problemas que el sistema intenta resolver, permitiendo evaluar el sistema respecto a los objetivos definidos. Esta evaluación puede dar como resultado la aparición de problemas con el esquema de

representación, como puede ser, el olvido de conceptos y relaciones o mecanismos de control inmanejables. Cualquier inconveniente encontrado puede requerir el replanteamiento del problema: reformulando los conceptos, rediseñando las estructuras de los conocimientos, refinando las reglas de inferencia, revisando el flujo y estrategias de control, etc.

En todo desarrollo, se debe evaluar su utilidad: ¿las conclusiones del sistema están organizadas y presentadas al nivel de detalle?, ¿es el sistema eficiente?, ¿es el interfaz amigable?, etc. La verificación será efectuada por los expertos que han intervenido en el desarrollo del sistema.

La validación se encarga de comprobar la construcción del sistema adecuado, es decir, comprueba que el sistema trabaja con un nivel de exactitud apropiado [GUPT-91]. En contrapartida, la verificación conlleva la adecuación de la construcción del sistema; es decir, la comprobación de que los esquemas de representación de los conocimientos son adecuados, las estructuras de control son adecuadas, etc. En este sentido, la verificación puede considerarse como un subconjunto de la validación. En otras palabras, la verificación se asegura de que el desarrollo del SE es correcto y sin errores, mientras que la validación se asegura de que el SE satisface las necesidades de los usuarios. Por ello, la validación se realizará por expertos que no han intervenido en el desarrollo del sistema y por los futuros usuarios; siendo preferible realizarla con el sistema implementado en su futuro lugar de actuación.

En general, se debe realizar una verificación y una validación tanto retrospectivas como prospectivas. En las primeras, se utilizan casos históricos, de los que o bien se conocen los resultados finales o bien se conocen las opiniones de uno o varios expertos, comparando los resultados obtenidos por el SE con los resultados referencia correspondientes. En las segundas, se utilizan casos actuales, tanto para el SE como para los expertos humanos, comparando los resultados de las soluciones aportadas por ambas fuentes [OLEA-90].

#### **4.4.- METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES.**

Se puede afirmar que siempre se sigue un proceso metodológico, implícita o explícitamente, aún inconscientemente. El seguimiento explícito de una metodología evitará inconsistencias

que pongan en peligro el éxito del desarrollo. En este punto y, en base a la propia experiencia en Sistemas Conexionistas y en otras técnicas afines (Ingeniería del Conocimiento, Ingeniería de Sistemas, etc.), se ha desarrollado una metodología propia, teniendo en cuenta otras desarrolladas para áreas afines (Waterman, Maté-Pazos, Gómez-Juristo et al, etc.) [WATE-86] [MATE-88] [GOME-97] como la IDEAL (Identificación, Desarrollo y Alcance Tecnológico) anteriormente descrita.

Se pueden diferenciar cuatro etapas en la metodología desarrollada (ISDA):

1. Identificación del problema.
2. Selección de las herramientas para la construcción de las RR.NN.AA.
3. Desarrollo de las RR.NN.AA.
4. Alcance tecnológico.

#### **4.4.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

En este punto, se aborda la adecuación-justificación de la técnica de RR.NN.AA al problema a solucionar, para lo cual hay que comprobar que son una técnica eficiente a la hora de tratar el problema del acierto en la identificación y evaluación de los impactos producidos, en el medio ambiente, a causa de las acciones desencadenantes de la implantación de cualquier proyecto empresarial o de infraestructura, determinado, en líneas generales, por los conocimientos y la experiencia en casos de EIA pasados y de otros parámetros relacionados, como pueden ser: las distintas acciones involucradas, los factores ambientales y su importancia en el medio ambiente, los distintos parámetros de carácter temporal como intensidad, duración, reversibilidad, etc., las funciones de transformación, los parámetros medioambientales, la legislación en EIA, etc.

Una vez definido el problema, hay que plantearse cuáles son las variables que intervienen en el mismo y sus posibles valores. A continuación, se analizan que cosas o circunstancias aportarían o podrían aportar algo positivo a su resolución para construir las técnicas y métodos a utilizar. Además, es de gran interés realizar un amplio estudio bibliográfico, donde

se analizará, en toda su extensión, tanto los éxitos como los fracasos de: otras técnicas aplicadas al mismo o parecido problema o a partes del mismo, problemas parecidos abordados con esta técnica por otros investigadores, otros desarrollos realizados con esta técnica y métodos a problemas más o menos similares; por ejemplo, predicción de parámetros medioambientales y dispersión de contaminantes.

Para averiguar la adecuación del problema a la técnica que se va a utilizar para su resolución es preciso conocer, en primer lugar, si se tiene un juego de ensayo (vectores con los parámetros involucrados en los distintos impactos medioambientales producidos a causa de la implantación de diferentes proyectos empresariales o de infraestructura) suficiente como para que se produzca un adecuado entrenamiento de las “futuras” RR.NN.AA diseñadas para abordar el problema y su posterior comprobación. En el presente caso, se dispone de un juego de ensayo compuesto por una BDR desarrollada, la cual irá incrementando el número de registros según aparezcan nuevas EIA. El objetivo de las RR.NN.AA consistirá en evaluar los impactos ambientales a partir de los parámetros conocidos utilizando, para ello, información parcialmente incompleta y, o, con errores.

De lo expuesto en los párrafos anteriores de este punto, se puede deducir que el problema de la identificación y evaluación (parametrización) de los impactos ambientales puede abordarse, en parte, con esta técnica de una manera satisfactoria. Además, el problema planteado requerirá la utilización de otras técnicas de informática convencional e IC que solventen aquellos aspectos del dominio de las EIA donde las RR.NN.AA se muestran poco eficaces o ineficientes.

Este factor es determinante ya que si la respuesta no es razonablemente positiva implicaría la no aplicación de los Sistemas Conexionistas al problema en cuestión. La utilización de Sistemas Conexionistas sólo se justifica en la medida en que otras técnicas de computación convencional, o incluso de IA, fallen por uno u otro motivo, no pudiendo abordar efectivamente el problema a resolver.

#### **4.4.2.- SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES.**

Se van a dividir las herramientas en dos grupos básicos que, a pesar de estar relacionados para tomar la decisión final de adoptar unas u otras herramientas, serán tratados, en principio, por separado. Así, se verán herramientas “hardware”, que tienen que ver con las máquinas donde se van a ejecutar los programas informáticos, y herramientas “software”, que tienen que ver con lenguajes de programación, compiladores o herramientas específicas de construcción de RR.NN.AA.

Para la selección de las herramientas “hardware” a utilizar, se han de tener en cuenta principalmente cuatro factores: (1) La adecuación al entorno de trabajo que suministra los datos que se han de utilizar en el proyecto, (2) la fase del proyecto en el que se está, (3) el entorno de trabajo en el que presumiblemente estará instalado el SH en su fase de producción, y (4) la posibilidad de exportación de los productos desarrollados en las diferentes fases del proyecto.

Las herramientas “software” utilizadas estarán en función de las características de los parámetros del conjunto de ensayo definidos en el punto anterior y del tamaño de dicho conjunto. Además, la utilización de un algoritmo de aprendizaje bien conocido, como por ejemplo el de retropropagación del error, hace pensar, en un primer momento, en lenguajes de programación para su construcción más que en herramientas específicas de RR.NN.AA. La incorporación de las RR.NN.AA como código, en un lenguaje de programación, facilitará enormemente su incorporación dentro de un SH global ya que no tendrá las restricciones que le vendrán impuestas por la herramienta utilizada para construirla.

#### **4.4.3.- DESARROLLO DE LAS REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES.**

Los datos utilizados en el entrenamiento de las RR.NN.AA proceden de la BDR encargada de almacenar aquellos datos que sean de interés para cualquier EIA, incrementándose progresivamente con cada nueva EIA. En general, los datos involucrados serán todos aquellos que participen en la definición de un cruce de impacto ambiental. En otras palabras, el conjunto de ensayo estará formado, en un principio, por un subconjunto de los atributos pertenecientes a las

entidades acciones, factores ambientales, características del cruce, indicadores y funciones de transformación.

Después de obtener el conjunto de ensayo, se deberán determinar las características de las RR.NN.AA que se pretenden construir -número de capas, número de EE.PP, regla de aprendizaje o de construcción, función de transferencia, función de salida, etc.- No todos los elementos, incluso los de una misma capa, tienen que poseer las mismas características, aunque es conveniente manejar este tema con cuidado para no caer en inconsistencias del sistema. Otro de los factores que se debe tener en cuenta es el tamaño de la RNA, el cual hace referencia, entre otros aspectos, al número de EE.PP, de interconexiones, e incluso de RR.NN.AA, si es el caso, que han de trabajar simultáneamente. Una vez seleccionadas varias arquitecturas, se procederá a su implementación pasando, posteriormente, a su verificación-validación. Ambas deben realizarse tanto retrospectiva como prospectivamente.

Tanto la naturaleza cambiante de los datos involucrados en la implementación de la RNA como la aparición progresiva de nuevos datos hace necesaria la capacidad en la RNA de incorporar patrones nuevos o cambiantes, “aprender”. Esta característica traerá consigo la necesidad de incorporar procesos automatizados de construcción, verificación y validación de la RNA en el sistema de producción final.

#### **4.4.4.- ALCANCE TECNOLÓGICO.**

Las RR.NN.AA desarrolladas se incorporarán en el SH, permitiendo predecir y parametrizar los impactos ambientales producidos por las acciones de cualquier proyecto empresarial. En toda EIA se trabaja con datos incompletos y, o, con errores. La utilización de las RR.NN.AA permitirá manejar este tipo de información, incrementando enormemente la eficiencia del SH. Las RR.NN.AA se encargarán de evaluar los impactos ambientales. La capacidad de evaluación de las RR.NN.AA unidas a los consejos y conclusiones obtenidos por los SS.EE y al enorme volumen de datos soportado por la BDR permitirá manejar el amplio y complejo dominio de las EIA de una forma inteligente.

Como una de las principales aportaciones del desarrollo realizado, se incluye un sistema de manipulación de RR.NN.AA, expuesto en detalle en el capítulo 7, que permitirá mejorar considerablemente las posibilidades de experimentación, diseño e integración de las herramientas de propósito general y aplicaciones basadas en RR.NN.AA.

Las RR.NN.AA desarrolladas tras una amplia experimentación con casos reales, se incorporarán en el SH y se deberá entrenar a los futuros usuarios en la utilización de estos sistemas, aunque su funcionamiento podría ser transparente al usuario una vez que alcance unos resultados que se consideren adecuados.

# CAPÍTULO V

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **5.- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA BASE DE DATOS RELACIONAL.**

En este punto, se abordará el diseño e implementación de una BDR [DATE-86] [KORT-88] que permita el almacenamiento de información referente al dominio de las EIA. Además de almacenar un gran volumen de hechos, esta BD contendrá parte del conocimiento del SE programado. El crecimiento incremental de esta BD hace que, con cada nuevo estudio de EIA, se constituya como un núcleo de datos de gran interés para el desarrollo de conjuntos de entrenamiento de RR.NN.AA que permitan extraer el conocimiento implícito existente en los datos que intervienen en cada caso y que los expertos en medio ambiente no son capaces de explicitar por medio de reglas, aumentando de este modo la fiabilidad del SH final. Asimismo, se ha diseñado un “interfaz” y un “metalenguaje” que permitirán al usuario realizar el mantenimiento y la explotación de la BD.

El esquema del dominio de las EIA obtenido se pasa a “tablas”, constituyendo así el modelo relacional, el cual se utilizará como guión de la implementación física de la BD. Las bases teóricas de dicho modelo han sido expuestas en el apartado 6 del capítulo 2 y en el capítulo 3. Finalmente, se hace una descripción de las herramientas de desarrollo utilizadas y de las diferentes fases del diseño e implementación del “interface” y “metalenguaje” de usuario para la gestión de los datos.

El sistema desarrollado permite crear y mantener BB.DD en cualquiera de los formatos más utilizados en la actualidad (Access, Dbase, Btrieve, Paradox, Foxpro, etc.) gracias a su núcleo y a sus instrumentos de desarrollo y administración. La implementación del sistema se ha realizado en VB versión 4.0 [JENN-96] [ROMA-96] [VOGE-97] y “Visual C++” versión 2.0 [KRUG-94] [YOUN-93], dotándole de un entorno gráfico amigable y fácil de utilizar. Además, se han utilizado varias librerías de terceros para el manejo de “bufferes” y el “Microsoft Jet Engine” [HAUG-95] como motor relacional. Como instrumento de desarrollo se utiliza el SQL “Structured Query Language” [GROF-91], que permite la organización, gestión y recuperación de los datos almacenados en la BDR.

Se ha realizado, tomando como partida los conocimientos sobre EIA expuestos en el capítulo 3, un análisis de los objetos que participan en las EIA, el cual ha dado como resultado el conjunto de requerimientos necesarios para la posterior modelización. Para completar dicho conjunto de requerimientos, se han analizado varios estudios de EIA de gran interés en el mundo de la ingeniería medioambiental, entre los que cabe destacar:

- Estudio del impacto ambiental del parque ofimático de Vigo (Pontevedra). Cedido por la empresa de Ingeniería del Medio Ambiente, S. A. ECOCONSULT.
- Documento de síntesis del estudio del impacto ambiental de la central térmica de Bárcena (León). Cedido por la empresa de electricidad ENDESA.
- Documento de síntesis del estudio de impacto ambiental de la presa de Bárcena (León). Cedido por la empresa de electricidad ENDESA.
- Estudio del impacto ambiental de la presa de Salto Grande (Argentina) [GOME-94].
- Estudio del impacto ambiental de la presa de Itapu (Brasil-Paraguay) [GOME-94].
- Estudio del impacto ambiental de la carretera de la Ronda de Vetusta (España) [GOME-91].
- Estudio de impacto ambiental de diferentes tramos de carreteras y autovías. Autovía Astorga-Villafranca del Bierzo y Carretera Nacional Vitoria-Logroño [BUST-97].

Además, se han mantenido varias entrevistas y análisis de protocolos con un gran número de miembros de los laboratorios de medioambiente e I+D de las citadas empresas y técnicos de Xestur Pontevedra.

### **5.1.- REQUERIMIENTOS DEL DOMINIO DE APLICACIÓN. OBJETOS MODELABLES.**

En un primer momento, las EIA utilizan, fundamentalmente, los métodos de Leopold y Battelle-Collumbus expuestos en los apartados 2.6.9 y 2.6.10 del presente trabajo de investigación. En líneas generales, estos métodos entrecruzan las acciones que pueden alterar el medio ambiente con los factores ambientales que caracterizan y definen nuestro medio ambiente. Los distintos cruces definen las interacciones de la EIA. A cada cruce identificado

se le asocia un conjunto de características, indicadores y funciones de evaluación que permiten realizar la evaluación del cruce. El estudio de los mismos cruces con distintas características e indicadores proporciona un marco de información de incalculable valor a la hora de valorar los impactos derivados de la implantación de una actividad empresarial en nuestro entorno.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los sectores se dividen en proyectos de EIA y éstos se desglosan en acciones, las cuales son el objetivo de evaluación dentro de los cruces de impacto. Cada proyecto está compuesto por diferentes fases que se dividen en elementos que, a su vez, se dividen en acciones, siendo éstas las que van a ser evaluadas en los cruces. En las acciones, al igual que en los proyectos, interesa tener información de la frecuencia de uso, de tal forma que se pueda dotar al SH final de un cierto nivel de aprendizaje estadístico.

Los FF.AA, al igual que las acciones, también se estructuran de forma jerárquica -medio, componente y FF.AA-, siendo estos últimos los que realmente se evalúan en los cruces. También es interesante que se refleje la frecuencia de utilización de los FF.AA. Además, los FF.AA están caracterizados por un peso que determina su importancia en el estudio. Dichos pesos son el resultado del reparto de 1000 unidades entre todos los FF.AA considerados. El criterio utilizado para definir estos pesos consiste en establecer grupos de FF.AA con similar importancia en función de la apreciación de un experto en el campo. En principio, y considerando que estos índices ponderales representan la importancia del FA dentro de un sistema global que es el mismo para todos los proyectos, los índices no deben variar de un proyecto dentro de zonas geográficas y contextos socioeconómicos similares, evitando con ello la interpretación subjetiva del diseñador.

Un cruce constituye la evaluación de un elemento de la matriz de Leopold, la cual tiene en sus columnas las acciones y en sus filas los FF.AA. Pero, para hacer la evaluación del cruce, no son suficientes sólo los FF.AA y las acciones, sino también un conjunto de características e indicadores que den información del cruce y permitan su evaluación numérica.

La realización de un cruce puede aconsejar el estudio de otro cruce que podría ser, por ejemplo, otro que tuviese diferente acción y, o, FA, con sus correspondientes características e

indicadores. Para los indicadores también es aconsejable registrar la frecuencia que permita ponderar la utilización de los mismos.

Una función de transformación se representa mediante una gráfica, lo cual representa un problema complicado a la hora de su almacenamiento en una BDR pues sería muy difícil poder almacenar todos los valores que puede representar dicha gráfica. Para solucionar esto, se hace una aproximación lineal de la función. Ya que las posibles funciones pueden ser parábolas, la aproximación se realiza por medio de tres puntos unidos con rectas.

La aplicación de medidas correctoras depende directamente del cruce, con lo cual se podrían asociar directamente con el cruce, pero esto complicaría en exceso la BDR en su fase de diseño, por haber un elevado número de FF.AA que pueden influir en los cruces. Las medidas correctoras también dependen del indicador empleado, lo cual disminuirá bastante la complejidad de la BD. Tanto al emplear las ecuaciones de los indicadores como al utilizar las medidas correctoras, se hace uso de ciertos parámetros que pueden tener valores máximos y mínimos de cara a posibles normalizaciones y validaciones. Además, se necesitan conocer las unidades de medida de todos y cada uno de los parámetros involucrados.

En el punto 3 de la sección de Anexos se describe brevemente el modelo ER para su posterior representación como modelo relacional e implementación física

## **5.2.- ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE LA BDR.**

Para la implementación del sistema de gestión de datos se han utilizado las siguientes herramientas:

### **1. Lenguajes de programación.**

- 1.1. "Microsoft Visual Basic" versión 4.0 (VB en adelante) [JENN-96] [ROMA-96] [VOGE-97] con el que se ha desarrollado el interface y los programas de creación y mantenimiento de la BD.

1.2. "Microsoft Visual C++" versión 2.0 (VC++ en adelante) [KRUG-94] [YOUN-93] con el que se han desarrollado las librerías dinámicas (DLL) específicas para el sistema, así como los controles (VBX) de gestión de memorias de almacenamiento FML (Field Manipulation Languaje).

## 2. Librerías de terceros.

2.1. Librerías FML. Se han empleado por su flexibilidad en el tratamiento de estructuras de datos variables, ya que proporcionan una estructura muy adecuada para el intercambio de datos entre aplicaciones, proporcionando acceso a los datos a través del nombre del campo y permitiendo a las aplicaciones el acceso a los datos sin conocer de antemano la estructura interna de los mismos.

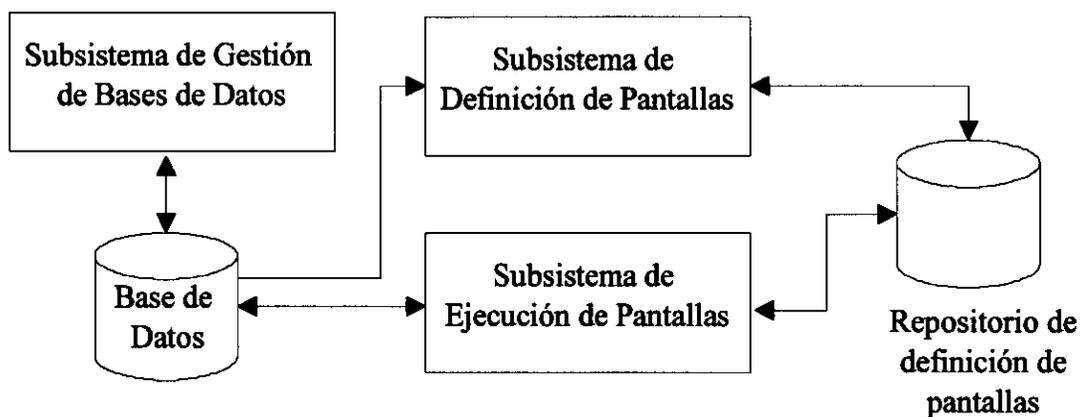
## 3. Motor relacional.

3.1. "Microsoft Jet Engine" (en adelante JET) como motor relacional [HAUG-95].

No se va a entrar aquí en el análisis detallado de los entornos de programación empleados, VB y VC++, ni sobre las librerías FML y JET, ya que son herramientas suficientemente conocidas y sobre las que existe una amplia bibliografía [OGDS-90] [GILO-91] [PETZ-92] [UDEL-92] [GORM-93] [YAON-93] [MICR-94] [MICR-95] [MICR-95b] [KRUG-94] [HUAG-95] [JENN-96] [ROMA-96].

### **5.3.- DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE DATOS.**

El sistema de gestión de datos (SGD en lo sucesivo) se ha dividido en tres subsistemas principales que interactúan entre sí a través de la BD del dominio de trabajo o por medio del repositorio de definición de pantallas. La figura 5.1 muestra los subsistemas del modelo conceptual desarrollado para la gestión de datos.



*Figura 5.1.- Modelo conceptual del SGD.*

El Subsistema de Gestión de la BD (SGB en lo sucesivo) permite, a través de un interface de usuario sencillo, la creación de BB.DD. El usuario puede definir y mantener los objetos de la BD, tablas, campos, índices y relaciones. Además, permite la introducción de datos en las tablas creadas a través de formularios tabulares.

El Subsistema de Definición de Pantallas (SDP en lo sucesivo) permite la creación de pantallas de entrada de datos, asociadas o no a la BD. El SDP incorpora un interface que permite la definición de pantallas de forma visual. Además, soporta un metalenguaje que posibilita añadir código a los eventos de los controles. La definición de las pantallas se almacena en repositorios, permitiendo al subsistema la creación y manejo de múltiples repositorios.

El SDP está compuesto de los siguientes tres módulos:

⇒ "Interfaz de usuario", que es el responsable de la interacción con el usuario, proporcionándole un entorno gráfico de usuario que permite realizar las funciones de creación de nuevas pantallas, selección de pantallas existentes, ejecución, borrado de pantallas, selección de los diferentes controles (texto, etiquetas, botones, etc.), definición de las propiedades y características de los controles y del código asociado, etc.

⇒ "Analizador lexicográfico y pseudocompilador". Para dotar a las pantallas de la posibilidad de una lógica más compleja, necesaria para el proyecto de investigación aquí presentado por la necesidad de manipular la enorme complejidad derivada de las entidades y relaciones del dominio de las EIA, se ha diseñado un lenguaje asociado a los diferentes eventos de los controles. La sintaxis de las diferentes sentencias del lenguaje se definen detalladamente dentro del punto 5 de la sección de Anexos. Este módulo analiza y traduce las expresiones asociadas a los eventos de los controles de pantalla. Estas expresiones se traducen a un formato interpretable por el sistema de ejecución para, posteriormente, traducir las expresiones ya compiladas a formato entendible por el usuario [LLOR-88]. El analizador es "descendente recursivo", que es una forma de reconocimiento sintáctico en la que se realiza una construcción descendente del árbol sintáctico. Para minimizar el impacto en el tiempo de respuesta, se han desarrollado librerías específicas en lenguaje C, tal y como puede verse en la figura 5.2, para el análisis y extracción de las cadenas de las expresiones y para la evaluación de expresiones resultado del análisis.

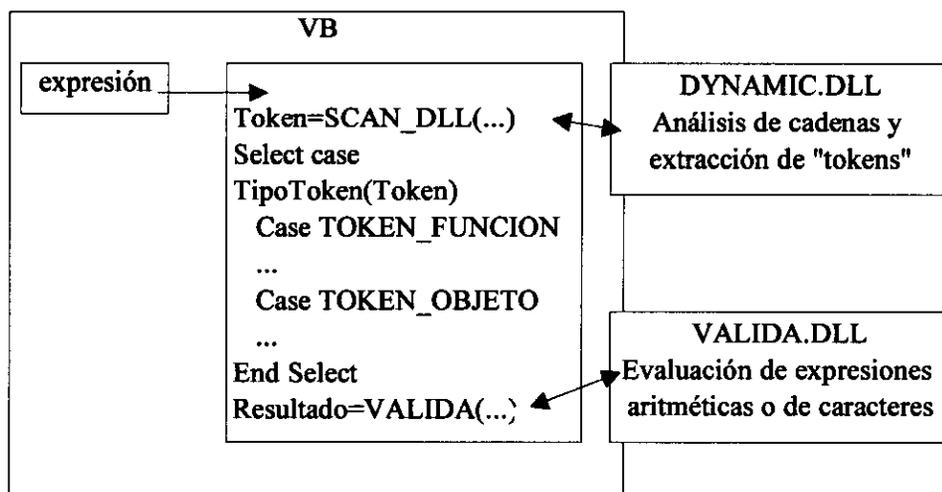


Figura 5.2.- Utilización de las librerías dinámicas del analizador desarrollado.

⇒ "Gestión del repositorio". Traduce e interpreta la definición de la pantalla realizada por el usuario. Este módulo traduce cada uno de los objetos creados, sus propiedades y sus relaciones con otros objetos (contenedor o contenido, lista relacionada, etc.) a registros de un conjunto de tablas que almacenan la información de las pantallas y sus controles.

El Subsistema de Ejecución de Pantallas (SEP en lo sucesivo) se encarga de la ejecución de las pantallas componiendo, de forma dinámica y a través de su definición del repositorio, las diferentes pantallas. En el caso de que la pantalla esté asociada a una BD, el SEP se encargará de leer o actualizar la información necesaria.

El SEP está compuesto de los siguientes módulos:

- ⇒ Generador de pantallas. Este módulo interpreta la definición de la pantalla del repositorio y compone la pantalla de forma dinámica.
- ⇒ Ejecución de la pantalla. Este módulo es el responsable de la ejecución del código asociado a la definición de la pantalla. Para ello, el SEP dispone del mismo analizador lexicográfico que el SDP. El módulo mantiene una tabla de referencias cruzadas entre los posibles eventos del control y el código que se necesita ejecutar en cada caso.
- ⇒ Acceso a la BD. Este módulo se encarga de la lectura y actualización de los datos en el caso de que la pantalla esté asociada a una BD o se acceda a tablas a través de primitivas del lenguaje SQL. La figura 5.3 muestra la forma en que se realiza el acceso a la BD.

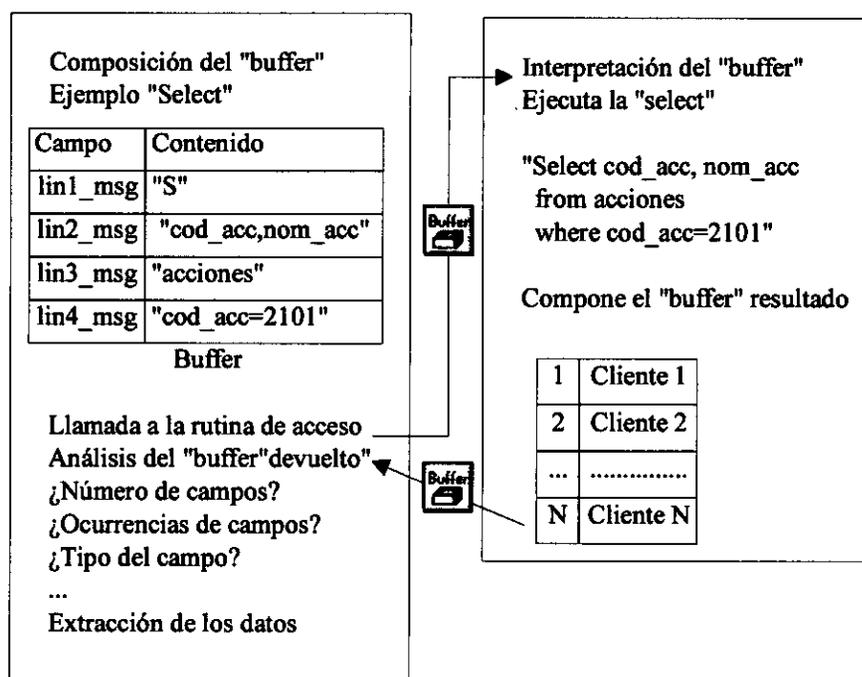


Figura 5.3.- Acceso a BB.DD a través del FML.

Los apartados 4, 5 y 6 de la sección de Anexos describen las características específicas del SGB, SDP y SEP. Además, en el apartado 7 de los Anexos, se incluye un ejemplo de diseño de un formulario orientado a la gestión y mantenimiento de las posibles acciones causantes de impacto ambiental.

El SGB desarrollado permitirá el diseño y mantenimiento de BB.DD que puedan almacenar parte de los conocimientos del SH global. Una herramienta de propósito general podrá abordar diferentes áreas y tipos de problemas. Con esto en mente, se ha elaborado un sistema que gestiona, de una forma eficiente, algunos de los formatos de BB.DD más utilizados en la actualidad.

Además, el SDP y el SEP integran, en el sistema final, un conjunto de herramientas y lenguajes orientados a la definición y ejecución de interfaces que facilitarán el diseño y mantenimiento de los diferentes interfaces de usuario; permitiendo, de una forma visual, una eficiente adaptación de los interfaces de gestión de la BD a los requerimientos específicos de cada usuario.

El sistema implementado (SGB, SDP y SEP) es bastante dinámico, ya que las funcionalidades cubiertas por dicho sistema han ido creciendo de forma exponencial a lo largo de su desarrollo, como consecuencia de las necesidades que se fueron detectando y que en un primer análisis no fue posible contemplar.

Así, en una primera fase, solo se desarrolló el SGB, que permite la introducción elemental de datos en tablas definidas. Una vez puesto en explotación, se detectó que esta forma de entrada de datos era manifiestamente insuficiente y poco amigable. En una segunda fase, se implementó el SDP y el SEP para la creación visual de las pantallas de entrada y la gestión del repositorio. Resuelto el problema del interfaz, se hizo evidente la necesidad de añadir alguna funcionalidad a las pantallas generadas; para lo cual, se desarrolló, en una tercera etapa, un lenguaje propio y su interprete, así como el asistente automático para la generación de pantallas.

Aunque el sistema surge de la necesidad de desarrollar un interfaz que permita la gestión de la BD de un SE de EIA, se ha enfocado su implementación desde un punto de vista más general, obteniendo como producto final un sistema que es perfectamente extrapolable a otros ámbitos de aplicación que requieran de acceso a datos, ya que proporciona las herramientas necesarias para su gestión y explotación.

# CAPÍTULO VI

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **6.- ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO.**

### **6.1.- ANTECEDENTES.**

La tecnología de los SS.EE se está utilizando, satisfactoriamente, en numerosas áreas de aplicación y, en los últimos años, se está asentando como una opción de "Ingeniería del Software" a tener en cuenta en el mundo real de cara a solucionar problemas en el sector productivo de la sociedad.

En la actualidad, existen múltiples aplicaciones que incorporan diferentes niveles de conocimientos para incrementar de esta manera su potencia y utilidad. La inclusión de pequeñas bases de conocimientos en aplicaciones informáticas convencionales incrementan y mejoran, en la mayoría de los casos, los resultados obtenidos.

En general, los SS.EE utilizan diferentes estructuras para representar el conocimiento y mecanismos de inferencia para permitir establecer conclusiones en un dominio de trabajo experto. Además, en el presente trabajo de investigación se incluirá, en un nivel de abstracción inferior, un mecanismo de razonamiento basado en restricciones que permite decrementar considerablemente el coste de mantenimiento de aquellos sistemas que abordan dominios grandes y cambiantes. Los dominios de gran tamaño en general, y el de las EIA en particular, requieren un gran número de restricciones, aconsejándose por ello la inclusión de métodos que permitan la reconsideración de algunas de las variables involucradas en la solución del problema.

La idea básica que subyace alrededor de los SS.EE consiste en incorporar, dentro de las aplicaciones informáticas, experiencia relevante (datos, conocimientos y heurísticas) del dominio de aplicación. La inclusión de sistemas basados en reglas añaden, en muchas ocasiones, un cierto grado de flexibilidad en la representación del problema. En una primera aproximación del SE, dentro del dominio de las EIA, se considera la inclusión de un elevado número de pequeñas bases de conocimientos.

Como antecedentes directos del sistema propuesto, en el apartado 2 del capítulo 1 del presente trabajo, se exponen los principales sistemas relacionados con el medioambiente desarrollados en los últimos años.

En muchas ocasiones, el desarrollo de SS.EE no se debe ver como un sustituto de los modelos y métodos existentes en la actualidad; aunque su incorporación mejora, en la mayoría de los casos, las capacidades de muchos de estos sistemas. La integración de SS.EE con SS.GG.BB.DD y con otras técnicas de IA se demuestra que aportan, dentro del dominio de las EIA, una potente herramienta de planificación y gestión medioambiental.

## **6.2.- ANÁLISIS DEL DOMINIO Y EDUCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS.**

A grandes rasgos, las EIA dependen de dos grandes factores:

- El tamaño, escala y tipo del proyecto que se pretende implantar. Además, se debe considerar la tecnología del proyecto y las medidas correctoras de impactos incluidas en el desarrollo.
- El entorno o localización de la actividad.

Mientras los aspectos tecnológicos se pueden tratar de una forma genérica, independientemente del lugar de implantación del proyecto y con datos que se pueden recopilar a priori, los parámetros específicos del entorno requieren un estudio particularizado en cada caso y una recopilación de datos sobre la zona afectada.

Siguiendo la metodología propuesta para el diseño de SS.EE, expuesta en el apartado 3 del capítulo 4, el principal problema en el desarrollo de un SE es el de la identificación del problema y la educación de conocimientos confiables, congruentes, completos y robustos de uno o varios expertos en el dominio del problema a resolver.

Los diferentes aspectos que identifican totalmente el problema de las EIA se han expuesto en el punto 6 del capítulo 2 y en el capítulo 3 del presente trabajo. Además, se han analizado diferentes

fuentes de información relacionadas con los impactos ambientales, polución, métodos de EIA, casos de evaluaciones concretas y legislación medioambiental disponibles en diferentes publicaciones científicas, instituciones gubernamentales, servicios de información y BB.DD.

En el presente trabajo, se ha contado con varios expertos de reconocida reputación en EIA, aspecto crucial para un desarrollo rápido y estructurado del SE. Las numerosas entrevistas, reuniones de trabajo y estudio detallado de varios casos concretos de EIA con los expertos anteriormente citados en el punto 2.6.4, han aportado la mayor parte de los conocimientos expertos incluidos en el sistema. El análisis del razonamiento de dichos expertos ha permitido caracterizar el problema y las estructuras que soportan los conocimientos para su posterior síntesis y codificación por medio de lenguajes de programación y herramientas de desarrollo.

En un primer momento, se realizan varias reuniones o "entrevistas no estructuradas" con los citados expertos para explicarles lo que se intenta hacer, reflejando las enormes ventajas de una herramienta de este tipo. En paralelo, se visitan diferentes Centrales Hidroeléctricas, Térmicas, Obras en autovías, etc.; que permiten un primer contacto con los proyectos objeto de EIA.

Posteriormente, se analiza las informaciones, conocimientos y procedimientos utilizados para resolver las EIA, obteniendo de los expertos los conocimientos necesarios para implementar un prototipo de demostración del dominio. En este apartado, se obtienen los diferentes conceptos clave y las relaciones importantes del dominio de las EIA [PAZO-93] [PAZO-95].

Como resultado, se elabora el esquema del flujo de información de la figura 6.1, en el que puede apreciarse cómo están relacionados los objetos y el esquema general de los procesos involucrados y sus relaciones causales. Además, se identifican las diferentes subtarefas dentro de cada proceso del esquema general con sus correspondientes hipótesis parciales.

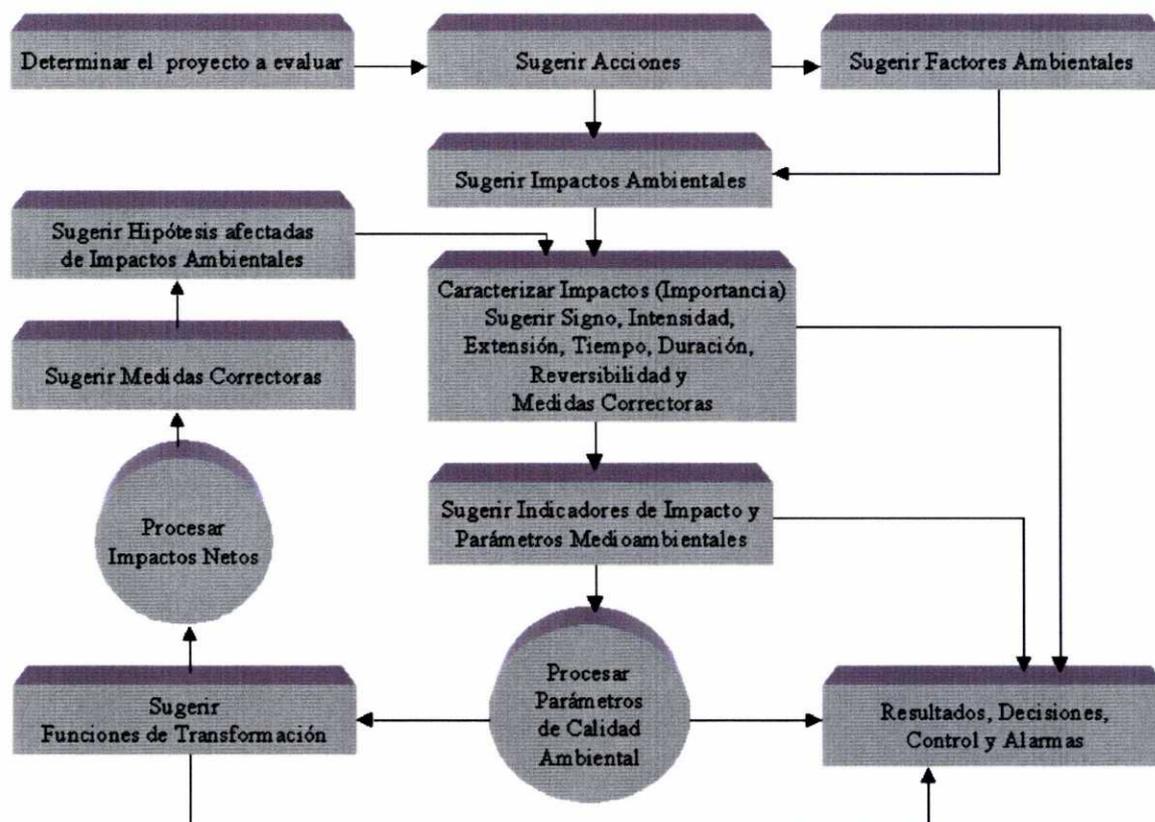


Figura 6.1.- Flujo de información, subtarear e hipótesis del dominio de las EIA.

El objetivo general del sistema es el de sugerir, caracterizar y evaluar hipótesis asociadas a los impactos ambientales derivados de la implantación de un proyecto empresarial en el medio ambiente. Los resultados obtenidos permitirán la toma de decisión acerca de la aceptación, modificación o rechazo del proyecto evaluado.

La formalización de los conocimientos obtenidos permite caracterizar los conceptos clave, los subproblemas y los flujos de información. Conceptualmente, el espacio de hipótesis utilizado está formado, tal y como se puede observar en la figura 4.1, por clases predeterminadas con varios niveles de abstracción ordenados jerárquicamente [PAZO-94b]. Las hipótesis del nivel de abstracción superior establecerán, en primer lugar, un enlace entre las acciones del proyecto y los FF.AA del medio ambiente y, en segundo, las medidas correctoras que, por consejo social o legal, permitan mantener los impactos dentro de unos márgenes aceptables. La inclusión de medidas correctoras podrá modificar el razonamiento

previo al alterar, total o parcialmente, las conclusiones obtenidas en un segundo nivel de abstracción.

En el segundo nivel de abstracción, se sugieren los indicadores de impacto, las funciones de transformación y los parámetros de importancia de los impactos: signo, intensidad, extensión, tiempo, duración, reversibilidad y la posibilidad de medidas correctoras.

El análisis del razonamiento utilizado por los expertos, para resolver varios casos reales de EIA, permite acotar y definir los pasos, los conceptos y las relaciones seguidas en el desarrollo. Como resultado, se verifica que los expertos en EIA trabajan con un elevado número de eventos e hipótesis que requieren un proceso de simulación y la repetición de la evaluación de los impactos utilizando ciclos de trabajo.

El conocimiento adquirido en las diferentes entrevistas realizadas se utiliza para resolver varios problemas de EIA permitiendo, tras el examen y análisis de las reglas y la estructura de control del prototipo, realizar sucesivos refinamientos de los conocimientos adquiridos. Además, se ha utilizado el conjunto de casos concretos de EIA expuestos en la introducción del capítulo 5 para contrastar los diferentes conocimientos educidos.

Además, los conceptos, procedimientos, hechos y, en general, conocimientos del dominio de las EIA, obtenido a partir de diferentes fuentes de conocimientos y de los propios expertos, formalizan y definen gran parte de la estructura, expuesta en el punto 3 de la sección de los Anexos, de la BD de EIA implementada en el SH propuesto.

La fase de educación ha estado marcada, en todo momento, por la complejidad del área y de los factores que intervienen en el problema a tratar, entre los que se encuentran los siguientes:

- Amplitud del dominio. Esta característica afecta al tamaño de la base de conocimientos, incrementando la dificultad de construir relaciones de decisión y su control en la resolución del problema.
- Tasa y forma de cambio de la base de conocimientos y reglas de decisión. Los conocimientos no son estáticos. La aparición de nuevas reglas, entre otras cosas, hace que los conocimientos

utilizados sean muy cambiantes, lo que incrementará considerablemente la complejidad del SE.

### 6.3.- SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DESARROLLO.

La tarea de selección de una herramienta de desarrollo involucra, total o parcialmente, a los diferentes aspectos analizados en el apartado 4.3.4.

La mayoría de las herramientas de ingeniería de conocimiento contemplan una clase general de problemas, no están orientadas a una tarea concreta. En contrapartida, los lenguajes de programación son mucho más flexibles y permiten un mejor ajuste del sistema a las necesidades del problema. Además, las herramientas de ingeniería del conocimiento incrementan la rapidez y sencillez en el desarrollo de sistemas. En contrapartida, los lenguajes requieren un mayor esfuerzo de diseño.

Ambas aproximaciones, herramientas y lenguajes, aportan, tal y como se puede ver en la tabla 6.1, diferentes ventajas e inconvenientes.

LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	HERRAMIENTAS DE INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO
Mayor flexibilidad	Menor flexibilidad
Mayor esfuerzo en diseño de bases de conocimientos, motores de inferencia, etc.	Incorpora un mayor número de mecanismos de ayuda para representar y acceder al conocimiento del sistema.
Mayores tiempos de desarrollo.	Desarrollos más fáciles y rápidos.
Posibilidad de un mejor ajuste a las necesidades del sistema.	Posibilidad de obtener sistemas de menor efectividad.

Tabla 6.1.- Ventajas e inconvenientes de los lenguajes de programación y herramientas de IC

La enorme complejidad y amplitud del dominio de las EIA, unido a la elevada tasa y forma de cambio de los conocimientos implicados determinará, en gran medida, la elección de la herramienta o lenguaje de desarrollo.

La herramienta de desarrollo seleccionada para el presente trabajo debe incluir una doble aproximación. Por un lado, la utilización de lenguajes de programación permitirá realizar un mejor ajuste a las necesidades del sistema y, por otro, la inclusión de una herramienta de propósito general facilitará la incorporación de nuevos conocimientos y proporcionará un elevado número de mecanismos de representación e inferencia con consistencia ampliamente contrastada por otros equipos y para otras áreas de aplicación.

### **6.3.1.- LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.**

La necesidad de realizar un ajuste adecuado del sistema, aún a costa de incrementar el esfuerzo de diseño y el tiempo de desarrollo, sugiere la necesidad de incorporar un cierto nivel de programación en el desarrollo del SH. En este sentido, se han seleccionado las herramientas de programación VB [JENN-96] [ROMA-96] [VOGE-97] y VC++ [KRUG-94] [YOUN-93], sobre las que no se entra en detalle ya que son suficientemente conocidas.

La utilización de los entornos de programación VB y VC++ permitirá integrar, dentro del desarrollo del SH propuesto, las diferentes ventajas de las BB.DD y SS.EE. En este sentido, la integración de SS.EE y BB.DD es particularmente atractiva, ya que posibilita la manipulación de la semántica de las BB.DD de forma directa. Esta aproximación, además de incrementar la flexibilidad del sistema, elimina la necesidad de definir sentencias complejas mediante el lenguaje básico de la BD.

### **6.3.2.- HERRAMIENTAS DE PROPÓSITO GENERAL.**

La elevada tasa y forma de cambio de los conocimientos del dominio de las EIA, obliga a la inclusión de una herramienta de ingeniería de conocimiento que facilite la incorporación

eficiente de nuevos conocimientos. Los diferentes mecanismos de representación e inferencia de la herramienta permitirán la incorporación, sin necesidad de código, de nuevos conocimientos del dominio que puedan aparecer como resultado de, entre otros aspectos, la inclusión de nueva legislación en EIA. En este sentido, se ha seleccionado la herramienta de ingeniería de conocimiento "Nexpert Object" para el desarrollo de aplicaciones orientadas a la manipulación de bases de conocimientos [NEUR-91a] [NEUR-91b] [NEUR-91c] [NEUR-91d] [NEUR-91e] [NEUR-91f] [NEUR-91g]. Dada la enorme cantidad de bibliografía existente sobre dicha herramienta, únicamente se incluye, en el punto 8 de la sección de Anexos, un conjunto de figuras que muestran la apariencia de su entorno de desarrollo, gestión de reglas y gestión de objetos.

#### **6.4.- DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO.**

El SH desarrollado aparece con la finalidad de demostrar la posibilidad y adecuación de la aplicación de los SS.EE. y las RR.NN.AA en dominios de gran complejidad, amplitud y con una elevada tasa y forma de cambio de los conocimientos implicados. En concreto, se ha seleccionado el dominio de las EIA y el objetivo final es el de la obtención de una medida de impacto ambiental homogénea que permita comparar el impacto de las diferentes alternativas del proyecto evaluado. Las medidas de impacto determinarán la opción óptima del proyecto, desde un punto de vista de impacto ambiental. También se podrá concluir la aceptación, modificación o rechazo de las distintas alternativas del proyecto en función de las repercusiones ambientales. Para ello, se deben tener en cuenta todas las acciones realizadas en el proyecto y su incidencia en los factores ambientales, cuantificando las relaciones "acción-factor ambiental" con un conjunto de parámetros y de funciones asociadas a los mismos.

El apartado 3 desarrolla, en detalle, los diferentes aspectos del dominio de las EIA implementados en el sistema. Además, en el apartado 6.2, se analizan los conocimientos implicados en el desarrollo, los flujos de información, subtarefas, hipótesis, los diferentes niveles de abstracción del sistema y, en general, el modelo conceptual del SE desarrollado.

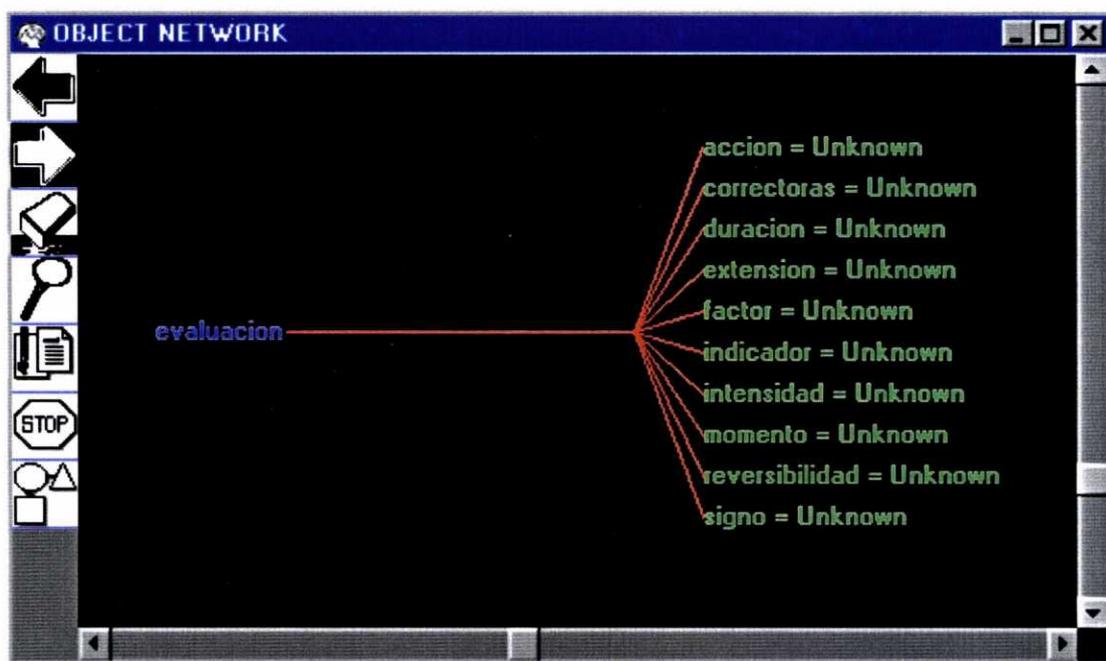
Inicialmente, se hace necesario un soporte de representación de los conocimientos, tanto públicos como privados. Además, se debe incluir el amplio conjunto de clases, objetos, relaciones e hipótesis involucrado. El esquema de representación seleccionado deberá incluir, por un lado, los hechos o información pública y, por otro, las heurísticas o conocimientos específicos de los expertos.

Las estructuras de representación de los conocimientos estarán condicionadas por las características del dominio de las EIA. En este sentido, además de utilizar las estructuras de representación de conocimientos habituales (clases, objetos, reglas de producción, etc.), se incluyen reglas de producción que actúan sobre la BD con el propósito de manipular la enorme complejidad y amplitud del dominio. En una primera aproximación, el sistema de integración propuesto ha de soportar, en un nivel de abstracción superior, reglas del tipo "*SI evento ENTONCES acción*", siendo los tipos de *evento* y *acción* considerados la actualización y la consulta [STON-92]. En el punto 9 y 10 de la sección Anexos, se estudia detalladamente el funcionamiento, características y semántica de las reglas y se analiza el funcionamiento del sistema considerando un conjunto representativo de ejemplos reales relacionados con el dominio de las EIA.

La aproximación propuesta resuelve, en gran medida, la problemática derivada de la gran complejidad del área y de los diferentes factores que intervienen. En contrapartida, no resuelve totalmente los problemas ocasionados por la elevada tasa y forma de cambio de los conocimientos. En este sentido, se ha tenido que incluir una segunda aproximación.

Los conocimientos no son estáticos. La falta de eficiencia de los sistemas programados, ante la aparición de nuevos conocimientos, requiere la inclusión de una aproximación conjunta que facilite la incorporación de nuevos conocimientos.

Finalmente, se ha optado por la combinación de un SE programado con un sistema inteligente desarrollado sobre una herramienta de propósito general. El núcleo principal de los conocimientos declarativos de este segundo sistema está formado por el objeto de la figura 6.2.



*Figura 6.2.- Núcleo de conocimientos declarativos del Sistema Inteligente.*

Esta aproximación aprovecha las ventajas de los SS.EE programados, las BB.DD y las herramientas de Ingeniería del Conocimiento de propósito general. El SE programado podrá, tras identificar y caracterizar cada cruce de impacto involucrado en la EIA, pasar el control al sistema inteligente desarrollado sobre la herramienta de propósito general. La interacción entre ambos sistemas se realiza por medio de un subsistema de control independiente. Como resultado del cambio de contexto entre sistemas, se pasará una copia de parte de la memoria de trabajo del SE programado al sistema inteligente. De igual forma, el sistema inteligente pasará, al finalizar su proceso de inferencia, una copia de su memoria de trabajo al SE programado. Llegados a este punto, el SE programado podrá continuar su proceso de inferencia. En general, el dominio de trabajo y, en este caso, el de las EIA, define los puntos de transferencia del control entre sistemas.

La nueva aproximación proporciona un eficiente soporte a los conocimientos derivados de grandes dominios y una valiosa herramienta que facilita la incorporación de nuevos conocimientos. Como resultado, el SE programado incluirá el núcleo de conocimientos del dominio de las EIA y, el sistema inteligente, podrá incluir fácilmente todos los conocimientos que puedan aparecer en el futuro. Por lo tanto, los programas desarrollados

toman el control de, entre otros aspectos, la memoria de trabajo y el motor de inferencia de la herramienta de desarrollo.

La estructura de control implementada en el SE programado utiliza un sistema de señalización de registros. En este caso, se identifican los registros que satisfacen cada una de las reglas. El sistema de control se encarga de señalar los registros con una marca que identifica cada una de las reglas satisfechas. Como resultado, a cada registro se le asignan cero o más indicadores que reflejan las reglas evaluadas positivamente.

Una vez analizado el nivel de abstracción superior del sistema, se incorpora, en un nivel de abstracción inferior, un mecanismo de razonamiento basado en restricciones que permite decrementar considerablemente el coste de mantenimiento del sistema al reducir el tamaño de la base de reglas y, por tanto, abordar con un cierto grado de éxito dominios de gran tamaño.

Las restricciones del dominio de las EIA se expresan mediante relaciones de compatibilidad entre pares del tipo variable-valor. Además, se introducen diferentes etiquetas semánticas y cuantificadores que definen la confianza de las alternativas identificadas. En algunas ocasiones, las diferentes alternativas se obtienen como resultado de la ejecución de las operaciones relacionales de las reglas de producción del nivel superior de abstracción del sistema.

En general, esta aproximación considera el conjunto de objetos de la BD desarrollada y los conocimientos sobre sus relaciones. El objetivo se puede expresar como el problema de asignar valores a diferentes variables sugeridas por el sistema y que están sujetas a restricciones.

La elevada tasa de cambio de los conocimientos involucrados en el dominio de las EIA es el mayor obstáculo en la consecución, con éxito, de un sistema puramente basado en reglas. En este sentido, sólo se utiliza una aproximación basada en reglas en el nivel superior de abstracción del sistema. Esta decisión se fundamenta en la enorme dificultad de mantener la consistencia de las bases de reglas de dominios muy cambiantes, donde la consistencia de

una regla depende de la existencia y corrección de otras. A pesar de esto, se incluye la posibilidad de incorporar nuevos conocimientos basados en reglas.

La "generación del espacio de restricciones" incluye, además de las restricciones diseñadas inicialmente en el sistema, las obtenidas como resultado de la evaluación de proyectos anteriores. En este sentido, la experiencia del sistema se irá enriqueciendo con cada nueva evaluación y, por lo tanto, la identificación y evaluación de un cruce se fundamentará en la adaptación de casos análogos.

Otro aspecto considerado, la "propagación de restricciones", permite caracterizar los diferentes impactos ambientales a partir de las restricciones de los diferentes niveles de abstracción del sistema: acciones, FA, características del impacto, indicadores, funciones de transformación, parámetros medioambientales y medidas correctoras.

La dinámica del dominio de las EIA y, por consiguiente, del sistema desarrollado, requiere la utilización de reglas en la definición de las variables involucradas en el problema y sus restricciones. Por ejemplo, no se deben considerar las variables involucradas en la definición de medidas correctoras cuando las características del cruce de impacto identificado no consideran la posibilidad de tomar medidas en ninguna de las fases de su acción.

Como resultado de lo expuesto, se puede hacer una clara división de la BD desarrollada. Por un lado, se utiliza un amplio conjunto de relaciones para representar los conocimientos declarativos del dominio y, por otro, un conjunto de relaciones, de menor tamaño que el primero, constituye la memoria de trabajo. Las relaciones de la memoria de trabajo almacenarán los diferentes hechos, conclusiones, hipótesis de trabajo, etc. generados en tiempo de ejecución. La figura 6.3 muestra la estructura de los diferentes objetos y relaciones del dominio de las EIA. Para facilitar la comprensión de la estructura no se incluye ningún aspecto relacionado con las diferentes propiedades de los objetos.

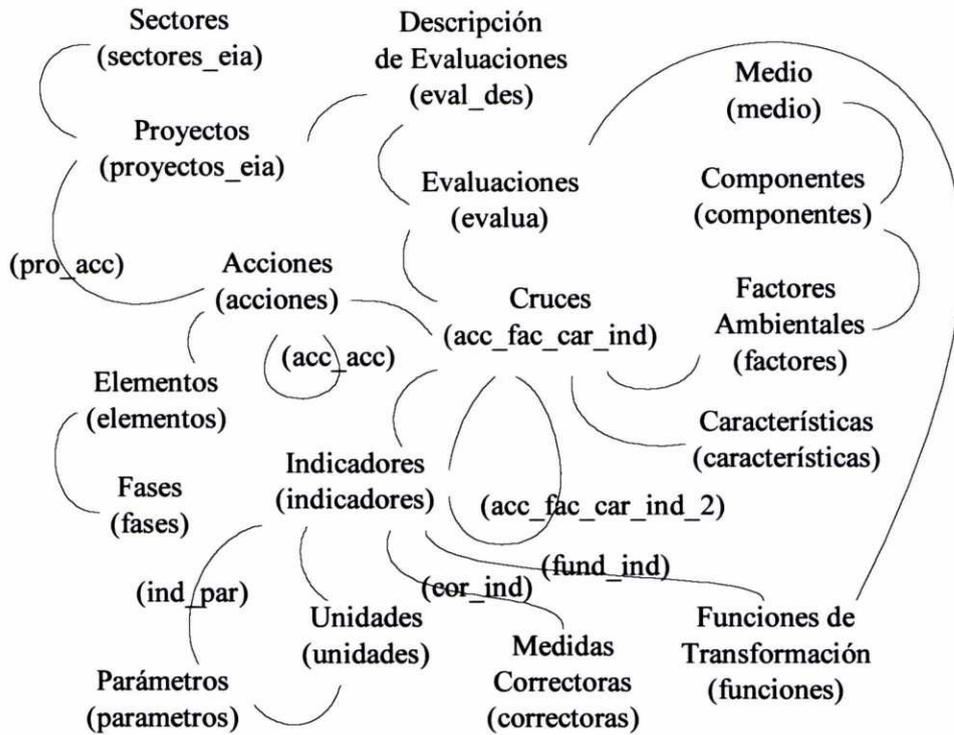


Figura 6.3.- Estructura de los Conocimientos declarativos del dominio de las EIA.

La figura 6.4 muestra el diagrama general de bloques del sistema propuesto.

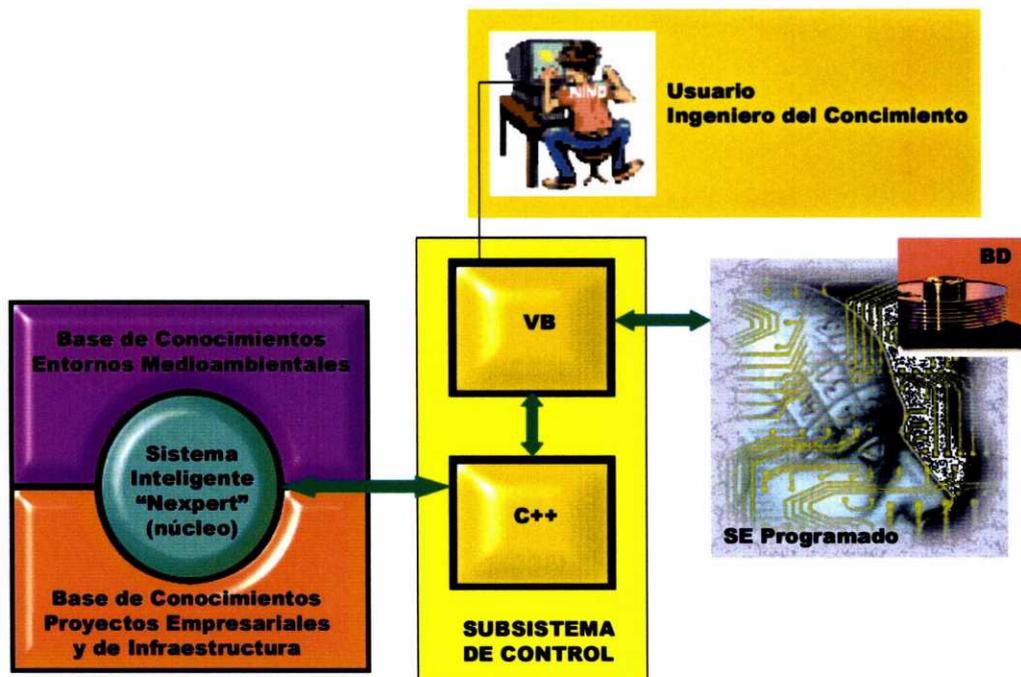
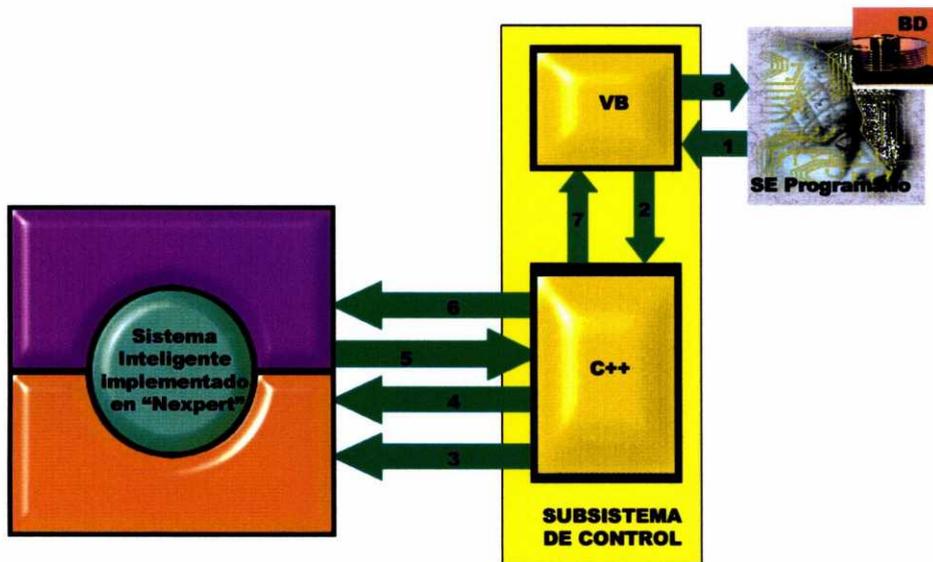


Figura 6.4.- Estructura general del sistema propuesto.

Se ha desarrollado, dentro del sistema inteligente, una pequeña base de conocimientos. En el futuro, este sistema podrá incorporar toda una jerarquía de bases de conocimientos especializadas en aspectos muy concretos del dominio. La figura 6.5 muestra un breve resumen de la secuencia de eventos del sistema.



*Figura 6.5.- Funcionamiento del Subsistema de Control.*

Se incluye una descripción de las funciones utilizadas por el subsistema de control en el punto 11 de la sección de Anexos.

En el punto 12 de la sección de Anexos, se describe y analiza la respuesta del sistema. Para ello, se utiliza como ejemplo una sesión de trabajo de una EIA.

# CAPÍTULO VII

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **7.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES E INTEGRACIÓN EN SISTEMAS HÍBRIDOS (BB.DD, SS.EE & RR.NN.AA)**

En este punto se analizará la integración de las RR.NN.AA con otras tecnologías, por un lado, las BB.DD y, por otro, los SS.EE; así como la aproximación utilizada en el SH de EIA propuesto.

### **7.1.- INTEGRACIÓN DE RR.NN.AA Y BB.DD.**

Si se toma como punto de partida la siguiente afirmación relativa a las RR.NN.AA: “No son los algoritmos los importantes, lo importante son los datos proporcionados a la RNA [RIOS-91]. Se debe abordar el problema desde el punto de vista de los datos y su representación”; parece fácil encontrar una conexión entre las RR.NN.AA y las BB.DD.

Partiendo de estas premisas, parecen evidentes las ventajas derivadas de la utilización conjunta de RR.NN.AA y BB.DD. Se tratará de analizar estas ventajas, aunque en una parte importante van a ser similares a las inherentes de la utilización de las BB.DD en cualquier tratamiento de datos.

La integración de RR.NN.AA y BB.DD tiene una gran importancia durante el proceso de entrenamiento de la RNA; tanto en aprendizaje supervisado como no supervisado. En dicha fase del ciclo de vida de las RR.NN.AA, es donde se pone de manifiesto la importancia de los datos anteriormente mencionada.

En el aprendizaje supervisado, se parte de un número suficientemente grande y significativo de hechos (patrón de estímulos-respuesta correcta) que conformarán el juego de ensayo y de unos pesos sinápticos iniciales; todos ellos datos. La información que compone los patrones puede ser de distinto tipo: cuantitativa, cualitativa, gráfica, etc. En general, dicha información se deberá transformar a una representación numérica y, por lo tanto, susceptible de ser almacenada y tratada con la ayuda de un SGBD.

En el aprendizaje no supervisado, se tiene una situación similar; eso sí, normalmente con un mayor número de patrones de entrenamiento, aunque sin los correspondientes patrones de salida deseada.

Por lo tanto, parece lógico recurrir a la ayuda de los SS.GG.BB.DD para almacenar y gestionar dichos valores y, sobre todo, para tratarlos de una manera sencilla y transparente. En este sentido, la tecnología de las RR.NN.AA se verá beneficiada de gran parte de las ventajas aportadas por los SS.GG.BB.DD.

En general, las BB.DD proporcionan una gran flexibilidad a la hora de probar distintas arquitecturas, reglas de aprendizaje, modelos de EE.PP, etc. Esto es, se pueden utilizar las BB.DD para mantener, entre otros, los pesos, reglas de aprendizaje, automatizar la generación de los conjuntos de entrenamiento o para realizar cualquier preprocesado que se considere necesario. Además, se podrán analizar y generar gráficos de resultados, realizar análisis estadísticos o estimar los parámetros que afectan al rendimiento de la RNA. En este sentido, las BB.DD incorporan un elevado grado de integridad y consistencia en las RR.NN.AA y en sus respectivos conjuntos de entrenamiento y "test".

La incorporación de SS.GG.BB.DD obliga a la modelización y diseño del dominio de trabajo. En este sentido, se obliga a la obtención de todas aquellas entidades y relaciones involucradas en el problema que se pretenda abordar. Como resultado, los conocimientos de las relaciones del dominio permitirán un mayor conocimiento sobre la naturaleza idónea de los patrones de entrenamiento.

Las ventajas de la capacidad de seleccionar, atendiendo a unos criterios fácilmente expresables, subconjuntos de los hechos del dominio de trabajo, son enormes; si, además, se dispone de los pesos iniciales, finales, salidas, tasas de error, tiempos, evolución temporal de los pesos, etc. las ventajas serán todavía mayores y proporcionarán al sistema una gran flexibilidad y facilidad para su estudio y optimización; aspectos que sin la colaboración de las BB.DD serían impensables o, al menos, requerirían mucho mayor esfuerzo. Además, facilita la extracción de conjuntos de hechos suficientemente grandes y significativos, tarea que en muchos casos no es, en absoluto, trivial. También se mejora considerablemente la fase

de “test” facilitando la manipulación de múltiples RR.NN.AA y la generación de conjuntos de “test”.

La flexibilidad del sistema también es un aspecto que mejora sustancialmente con la ayuda de las BB.DD; así, por ejemplo, una RNA de tamaño medio es difícil de manejar con la única ayuda de ficheros de texto (utilizados en gran número de desarrollos y herramientas de RR.NN.AA); o desarrollos que requieren grandes cantidades de imágenes o señales (dominios habituales de las RR.NN.AA) que serían difícilmente gestionables sin BB.DD.

Una ventaja más sería la capacidad de intercambio de información, por medio de distintos métodos, entre sistemas heterogéneos a lo largo de una red de datos; facilitando así la integración de las RR.NN.AA en un gran sistema, presentando siempre los datos en el formato apropiado. En este sentido, se pueden tener los conjuntos de entrenamiento distribuidos a lo largo de una red de computadores y acceder a ellos como si estuviesen localizados en la máquina local utilizando, para ello, las facilidades que proporcionan las BB.DD distribuidas.

También se podrían añadir las ventajas derivadas de las facilidades que proporcionan los SS.GG.BB.DD actuales; cabe citar los procedimientos almacenados y los disparadores; a los que posiblemente se les podría sacar beneficio en el desarrollo de RR.NN.AA. Los primeros, al estar almacenados en el propio motor de la BD, proporcionan un aumento del rendimiento y, los segundos, facilitan el control de las operaciones sobre los datos. También se podría añadir la posibilidad de incluir reglas y restricciones en el modelo de datos aportando, así, control y consistencia.

Por último, se pueden citar las ventajas inherentes de la utilización de BB.DD en cualquier sistema que requiera tratamiento de información y que, posiblemente, serán aplicables en mayor o menor medida a las RR.NN.AA; así, se puede citar de una manera general:

- Independencia de los datos respecto de los resultados.
- Disminución de la redundancia.
- Mayor disponibilidad de la información.

- Mayor protección y eficiencia.
- Mayor coherencia y valor informativo.
- Mayor facilidad para la documentación.
- Mayor facilidad para la manipulación.

Las ventajas son muchas y de mucho peso pero, evidentemente, también se aprecia algún inconveniente; así, se pueden citar dos fundamentales, aunque totalmente subsanables: por un lado, la complejidad implícita de la integración y, por otro, el rendimiento general del sistema. La integración de dos técnicas, como son las BB.DD y las RR.NN.AA, siempre va a resultar más complicada que la implementación de una sola de ellas teniendo en cuenta, además, que la mayor parte de las herramientas relacionadas con estas últimas no han sido diseñadas para su integración con las primeras. En cuanto al rendimiento del sistema conjunto, es lógico que disminuya respecto a una RNA aislada ya que los accesos a BB.DD y los SS.GG.BB.DD son elementos de por sí bastante consumidores de recursos; esto afectará sobre todo al proceso de aprendizaje de la RR.NN.AA, que ya de por sí suele ser lento. Por todo lo expuesto, las BB.DD facilitan la reutilización modular de las RR.NN.AA y, por tanto, se mejora su integración en cualquier sistema.

## **7.2.- INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONEXIONISTAS Y SIMBÓLICOS.**

Una pequeña reflexión sobre los puntos fuertes y débiles de los sistemas simbólicos y conexionistas hace prever grandes ventajas de su integración.

Los sistemas simbólicos simulan los procesos del razonamiento consciente utilizando modelos simbólicos del entendimiento y, los adaptativos, emulan los mecanismos físicos que soportan el pensamiento; dentro de los primeros se incluyen los sistemas basados en reglas, sistemas basados en restricciones, SS.EE y, dentro de los segundos, las RR.NN.AA y los algoritmos genéticos entre otros. De aquí en adelante se centrará la exposición en los sistemas conexionistas (RR.NN.AA) como sistemas adaptativos y en los SS.EE como sistemas simbólicos.

Se pueden citar, como puntos fuertes de los sistemas conexionistas, frente a los simbólicos: su capacidad de aprendizaje y de generalización, su capacidad de funcionamiento eficiente en tiempo real, su tolerancia a fallos; pueden tratar con datos que incorporan un cierto nivel de ruido y, o, error y, aún así, ofrecer respuestas correctas. Como puntos débiles, se puede citar su pobre capacidad de explicación y su dificultad para el tratamiento de conocimientos estructurados; además se debe tener en cuenta que muchos de sus modelos más eficientes requieren de un proceso de entrenamiento que necesita grandes cantidades de datos, difíciles de obtener en algunas situaciones.

Además, otro problema es el de la enorme dificultad de disponer de "expertos adecuados"; incluso en algunas áreas, especialmente complicadas, pueden existir grandes diferencias entre los métodos y las formas de pensar de distintos expertos; en este caso, se tiene una dificultad añadida al contar con la opinión de más de un experto, lo que hace que la mayor parte de los SS.EE desarrollados hasta el momento sólo hayan contado con los conocimientos de un único experto. Por el contrario, uno de los puntos fuertes de los SS.EE es su capacidad de explicación; pueden explicar el "razonamiento" que han seguido en la resolución del problema. Por último, se debe añadir un punto débil importante de los SS.EE; en este caso de los sistemas basados en reglas, referido al rendimiento del sistema, que cae bruscamente a valores cercanos a cero al salirse ligeramente del dominio de los conocimientos del experto.

Aparte de toda esta serie de puntos fuertes y débiles de unos y otros; que en una gran parte son complementarios, los fuertes de uno con los débiles del otro y viceversa; se debe tener en cuenta que, en ciertos casos, las ventajas de uno sobre otro pueden ser claras y no obedecer a cuestiones de tipo general. En algunas ocasiones, pueden existir sistemas que se simplifiquen enormemente utilizando una u otra aproximación. En otras situaciones, unos serán más adecuados que los otros dependiendo de la naturaleza de los sistemas a tratar; así, los sistemas conexionistas son más adecuados para tareas perceptivas que requieren aprendizaje, por ejemplo, reconocimiento de patrones, mientras que los simbólicos se utilizan, sobre todo, para representar conocimientos de alto nivel que generalmente requiere explicaciones.

Las RR.NN.AA hacen un mayor hincapié en cómo funciona el cerebro; utilizan una aproximación de abajo a arriba e intentan modelar los procesos biológicos, comenzando por

los EE.PP o neuronas artificiales. Posteriormente, añaden funcionalidad al sistema combinando dichos EE.PP en múltiples capas interconectadas. Los conocimientos, o inteligencia, se obtienen a través de la generalización (experiencia).

Se puede ver así que los sistemas simbólicos y los conexionistas, en concreto, RR.NN.AA y SS.EE, se complementan perfectamente, por lo que parece lógico pensar que un SH simbólico-conexionista debe conseguir sustanciales mejoras sobre cada uno de ellos por separado, salvo en los sistemas claramente adecuados a uno de ellos. Todo esto remeda lo que ocurre en el cerebro, tal como se expuso en la figura 2.1 del presente documento.

Las principales ventajas de un SH vienen a ser las genéricas de un sistema heterogéneo: eficiencia mediante la especialización de componentes heterogéneos, fiabilidad mediante la redundancia de componentes heterogéneos, crecimiento y desarrollos incrementales mediante la reutilización de componentes heterogéneos existentes y, finalmente, la complementariedad de los puntos fuertes de los componentes heterogéneos.

Se pueden realizar distintas clasificaciones dependiendo del factor considerado. Así, por ejemplo, si se tiene en cuenta el grado de acoplamiento, o grado de integración entre ambos sistemas, se pueden distinguir:

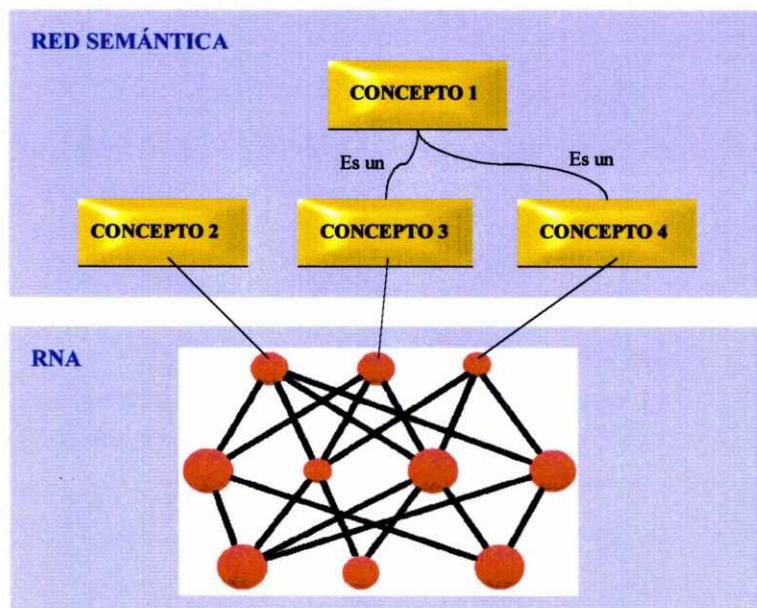
- Sistemas de transformación, en los que un sistema conexionista entrenado se convierte en uno simbólico o viceversa.
- Sistemas levemente acoplados.
- Sistemas fuertemente acoplados.
- Sistemas totalmente integrados.

Los más interesantes, desde el punto de vista de la representación de los conocimientos, son los dos últimos, y fundamentalmente el penúltimo.

En los dos primeros existe poca interacción entre los sistemas y, el último, está al límite de los SS.HH; esto es, un sistema conexionista simulando un sistema simbólico o un sistema simbólico que supuestamente proporciona las propiedades de un sistema conexionista.

También se podría hacer una división entre SS.HH. en serie y en paralelo. Como su nombre indica, los primeros tendrán un funcionamiento serie; la salida de un sistema conexionista se convierte en la entrada de un sistema simbólico o viceversa. Los segundos trabajan en paralelo comunicándose a través de algún tipo de interfaz estandarizado y gestionados mediante un sistema de control. Evidentemente, esto se puede aplicar a sistemas que no están totalmente integrados; es decir, sistemas en los que existe una clara diferenciación entre el subsistema conexionista y el subsistema simbólico. Aquí, sólo se considera la primera clasificación, atendiendo al grado de acoplamiento, ya que esta última es bastante intuitiva y no aporta nada nuevo a la aproximación presentada.

Dentro de los sistemas fuertemente acoplados, una primera aproximación incorpora un sistema simbólico; por ejemplo, como se muestra en la figura 7.1, una red semántica cuyos nodos están conectados a una RNA que codifica los nodos de la red semántica [SHAR-92].



*Figura 7.1.- Sistema Fuertemente Acoplado (Red Semántica - RNA).*

La red semántica se podría utilizar como un sistema de planificación para ayudar a decidir entre múltiples alternativas. Sus principales ventajas son la capacidad de explicación y la facilidad de expansión de sus conocimientos. Como limitaciones, se observa la dependencia

del tipo de nodos de la red semántica a la hora de conseguir un correcto funcionamiento y el hecho de utilizar, normalmente, una RNA estática; que no "aprende" de la experiencia.

En general, la integración de RR.NN.AA y SS.EE en paralelo, tal y como se observa en la figura 7.2, requiere la definición de un interfaz estandarizado que describa las transformaciones entre las representaciones de las variables del SE y los vectores de la RNA. Se podría dar el caso de un flujo de información unidireccional o bidireccional entre ambos sistemas. En este sentido, el flujo principal de información definirá el sistema preponderante. Además, se debe incorporar un módulo de control que active las distintas partes del sistema, el cual puede cooperar repartiendo el trabajo y las decisiones en función del problema a tratar.

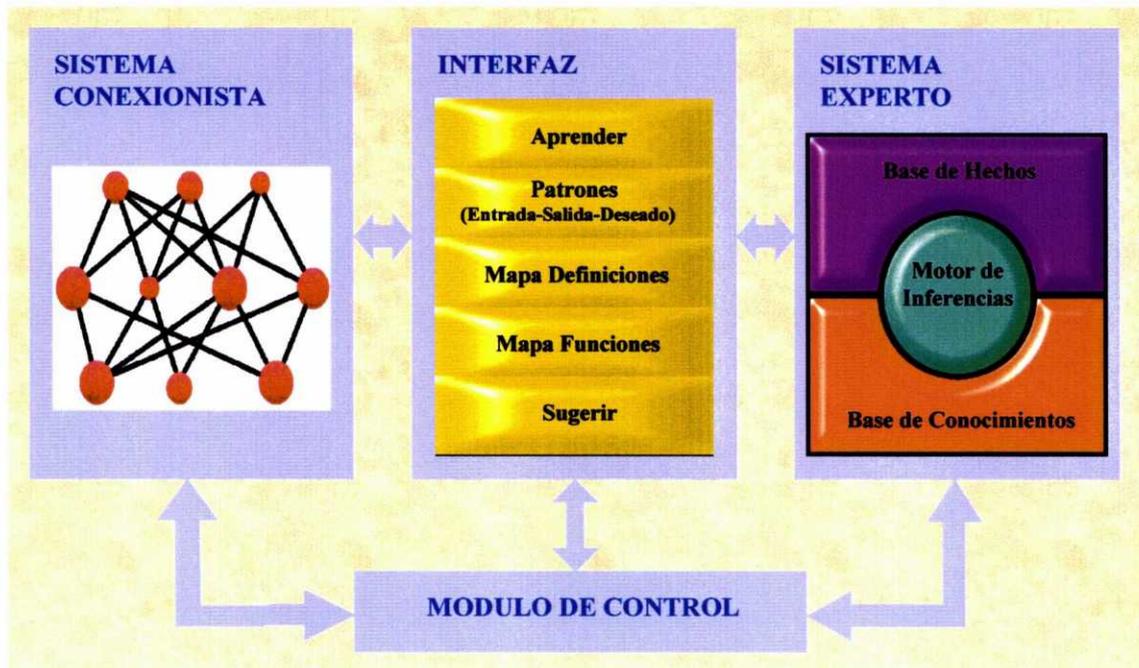
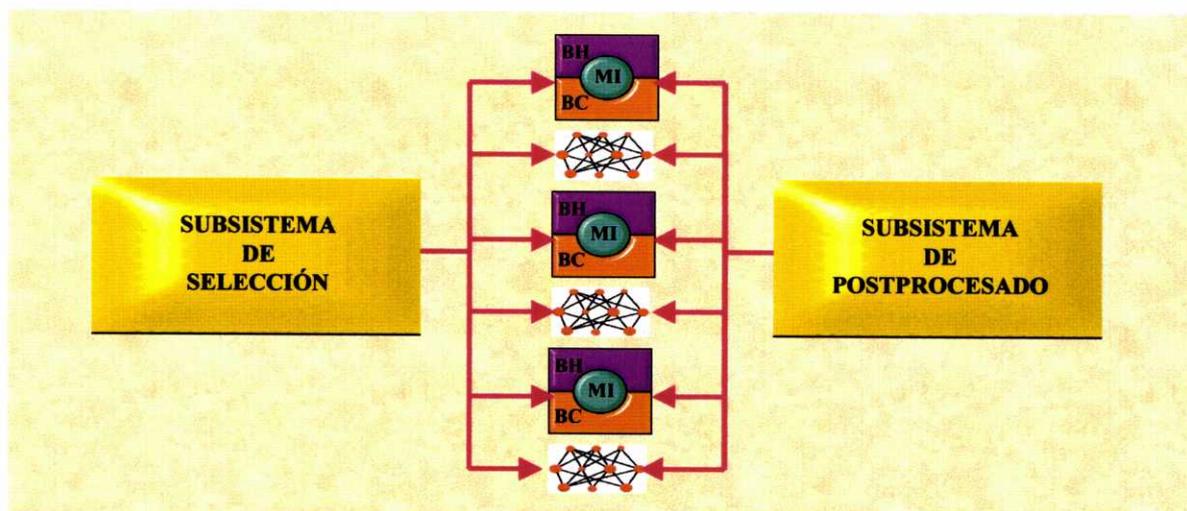


Figura 7.2.- Sistema Fuertemente Acoplado (RNA y SE en paralelo).

Otra posible solución, de carácter general, consiste en la división del problema en subproblemas y, así, utilizar la mejor solución, sistema conexionista o simbólico [EBER-90] [LIMB-98]. De esta forma, como se ve en la figura 7.3, un primer sistema se encargaría de elegir el subsistema adecuado para la resolución del problema, simbólico o conexionista,

trabajando en paralelo y, un segundo sistema, que daría forma y consolidaría la respuesta alcanzada.



*Figura 7.3.- Sistema Fuertemente Acoplado (División en Subproblemas).*

Dentro de los sistemas totalmente integrados, se podría utilizar un módulo de control que pudiese fijar una arquitectura de RNA adaptada a un determinado tipo de problema.

Otra posibilidad, podría consistir en utilizar un sistema basado en reglas para fijar los pesos iniciales de una RNA; es decir, se podría establecer la estructura de la RNA utilizando los conocimientos que se tengan del dominio. En la actualidad, se están haciendo diferentes investigaciones en la aplicación de Algoritmos Genéticos en la optimización del entrenamiento de RR.NN.AA [YAO-92] [SCHI-93a] [PAZO-96b] [PAZO-98].

La falta de capacidad de explicación de las RR.NN.AA se podría tratar de solucionar de dos formas diferentes:

1. Un SE que, a partir de los resultados propuestos por la RNA y, utilizando encadenamiento hacia atrás, construya la línea de razonamiento seguida. Como resultado, se obtendría un sistema ligeramente acoplado.
2. Extracción de reglas de las RR.NN.AA ya entrenadas [BAIL-90]. Esta aproximación es un claro ejemplo de un sistema de transformación.

Estas dos soluciones son muy costosas, ya que, prácticamente, obligan a la realización de dos sistemas con el único objetivo de extraer el razonamiento seguido por la RNA. Como ya se ha mencionado anteriormente, estos sistemas suscitan, desde el punto de vista de la representación de los conocimientos, menor interés que los fuertemente acoplados.

Como conclusiones, se puede decir que el futuro depara un mayor número de SS.HH fuertemente acoplados. Las RR.NN.AA proporcionan un interfaz entre la información del mundo real y las computadoras y añaden un cierto grado de robustez al sistema. Además, son adecuadas para manejar inexactitudes o información conflictiva. Los SS.EE pueden realizar las tareas de más alto nivel, de los conocimientos. Los sistemas basados en conocimientos pueden manejar símbolos y aplicar la lógica; mientras que las RR.NN.AA pueden realizar las tareas de bajo nivel; procesamiento de señales, o a nivel de los datos; así como las tareas adaptativas de alto nivel que implican aprendizaje. Los sistemas convencionales son todavía mejores en tareas de procesamiento numérico. Por lo tanto, las metodologías involucradas en la solución de problemas engloban una amplia variedad de técnicas a la hora de abordar ciertos tipos de problemas.

Cada tecnología es diferente y cada una tiene sus puntos fuertes y débiles. En el futuro, muy probablemente serán comunes los dominios de trabajo que incorporen sistemas que soporten módulos de pre y postprocesamiento, en serie o en paralelo, con BB.DD, SS.EE, RR.NN.AA y algoritmos genéticos, entre otras técnicas de procesamiento inteligente de la información.

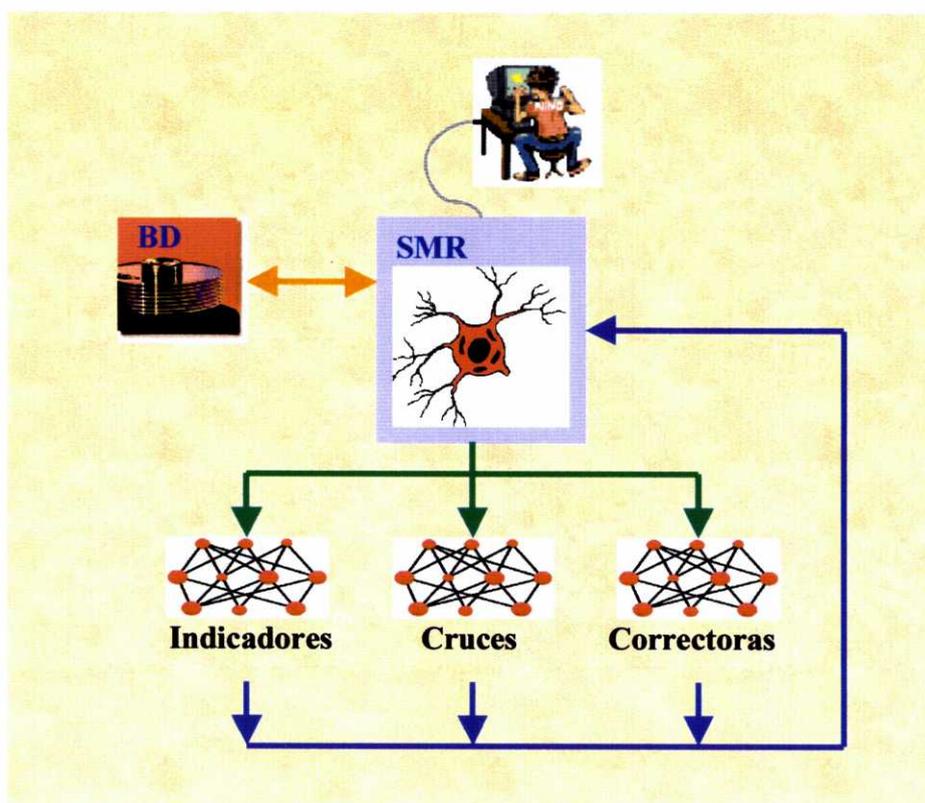
### **7.3.- INTEGRACIÓN DE SISTEMAS CONEXIONISTAS EN SISTEMAS DE FILOSOFÍA HÍBRIDA.**

En este punto, se analizará la arquitectura de integración de sistemas conexionistas propuesta. Para ello, en un primer momento, se trata, como base de la citada integración, las funciones del sistema de manipulación de RR.NN.AA (en adelante SMR).

En un primer momento, el SMR debe incluir la posibilidad de gestión y manipulación de múltiples RR.NN.AA. En este sentido, el sistema debe facilitar la manipulación de diferentes

arquitecturas de RR.NN.AA y la generación automatizada de los correspondientes conjuntos de entrenamiento y test.

Los dominios de gran tamaño, objetivo del presente trabajo de investigación requerirán, en la mayoría de los casos, de una jerarquía de RR.NN.AA que afronten, por separado, los diferentes subproblemas del dominio. Generalmente, los dominios de gran tamaño siempre se pueden dividir, total o parcialmente, en subdominios. La figura 7.4 muestra el planteamiento general propuesto utilizando, para ello, un conjunto RR.NN.AA. La primera RNA identifica indicadores de impactos, mientras que la segunda y tercera, identifican cruces de impacto y medidas correctoras respectivamente.



*Figura 7.4.- Sistema de Manipulación de RR.NN.AA.*

El SMR obtiene, mediante el flujo de información representado por la flecha roja de la figura 7.4, la caracterización de las diferentes RR.NN.AA. En este sentido, la BD debe soportar diferentes parámetros relacionados con la arquitectura de las RR.NN.AA, reglas de aprendizaje, pesos sinápticos, conjuntos de entrenamiento, etc. Posteriormente, el SMR podrá

utilizar toda esta información para entrenar las RR.NN.AA. Las flechas verdes de la figura 7.4 representan el proceso de entrenamiento de dichas RR.NN.AA. Para ello, el SMR utiliza los diferentes conjuntos de entrenamiento generados, de forma automática, a partir de la BD. Finalmente, los resultados del entrenamiento, flechas azules de la figura 7.4, se almacenan en la BD (flecha roja desde el SMR a la BD). Como resultado, el núcleo fundamental de información de los procesos de entrenamiento estará constituido por los diferentes conjuntos de pesos sinápticos.

El SMR utiliza sentencias relacionales para componer la información de la capa de entrada de las RR.NN.AA. La posibilidad de utilizar sentencias relacionales complejas sobre BB.DD, tanto locales como remotas, enriquece enormemente la capacidad de generación y preprocesado de los conjuntos de entrenamiento. En general, el SMR podrá asignar diferentes campos de las tablas de una BD a los EE.PP de la capa de entrada de las RR.NN.AA. Además, se podrán utilizar, en la asignación de campos a EE.PP, los campos resultantes de consultas relacionales. El punto 13 de la sección Anexos analiza, en detalle, dos ejemplos reales de generación automática de conjuntos de entrenamiento.

Los diferentes aspectos del SMR analizados requieren la inclusión de una segunda BD, además de la propiamente utilizada por el dominio de trabajo, de soporte a las estructuras conexionistas. En principio, el sistema debe incluir la posibilidad de definir y manipular múltiples RR.NN.AA con sus respectivos conjuntos de entrenamiento.

Un primer estudio del dominio de trabajo de las RR.NN.AA, fundamentado principalmente en RR.NN.AA con alimentación hacia delante y, en diferentes variantes, del algoritmo de aprendizaje de retropropagación del error (en lo sucesivo AARE), concluye con la definición del conjunto de entidades y tablas expuesto en el punto 14 de los Anexos.

Como resultado, esta aproximación convierte, a cada una de las RR.NN.AA desarrolladas, en un módulo totalmente reutilizable. La enorme potencialidad de esta aproximación crece, aún más, cuando se piensa en un entorno en red. Donde un servidor remoto podría ser el encargado de servir, a cualquier aplicación cliente, el conjunto de RR.NN.AA.

Un breve estudio de algunos de los sistemas conexionistas desarrollados hasta la fecha refleja, en la mayoría de los casos, un carácter monolítico y poco estructurado. Algunos de estos sistemas incorporan, entre otras características, los pesos sinápticos de una RNA ya entrenada codificados dentro del propio código [NEUR-98a]. En otros casos, las características de la RNA se obtiene de simples ficheros de texto o datos [MATL-98] [SPSS-98] [SNNS-98] [TRAJ-98].

Otras implementaciones utilizan, como fase previa, una herramienta de propósito general orientada al entrenamiento de RR.NN.AA. Posteriormente, una vez entrenada la RNA, se incorporan sus características al sistema final. Como resultado, la actualización o reaprendizaje de las RR.NN.AA supone, en muchos casos, la inclusión o modificación del código del sistema [NEUR-98b].

Además, muchas de las herramientas existentes utilizan, como medio de almacenamiento de los conjuntos de entrenamiento y test, simples ficheros de texto [NEUR-98c].

Los casos en los que se aprecia un cierto grado de integración entre sistemas conexionistas y BB.DD, demuestran un comportamiento poco modular y adaptable. En muchos casos, únicamente se limitan al acceso a BB.DD durante la fase de ejecución de la RNA [ECAN-98].

Por lo tanto, el SMR debe almacenar las RR.NN.AA, para su posterior utilización en la fase de ejecución, en una BD. Esta BD deberá contener las diferentes RR.NN.AA generadas por el sistema incluyendo, así, toda una jerarquía de sistemas conexionistas. Otro aspecto de gran interés que se podría considerar, de cara a un amplio estudio del comportamiento de las RR.NN.AA, incluiría los históricos de entrenamiento de cada una de las RR.NN.AA.

Las estructuras de almacenamiento deberán hacer referencia a la BD del dominio de trabajo o general del sistema. En general, las estructuras de representación de RR.NN.AA propuestas incorporan las posibilidades de las BB.DD (integridad, consistencia, consultas, etc.)

La integración de esta aproximación en el SH final, tal y como se observa en la figura 7.5, incrementa considerablemente las prestaciones del sistema final. Básicamente, el SH final estará constituido por los diferentes módulos expuestos en el presente trabajo.

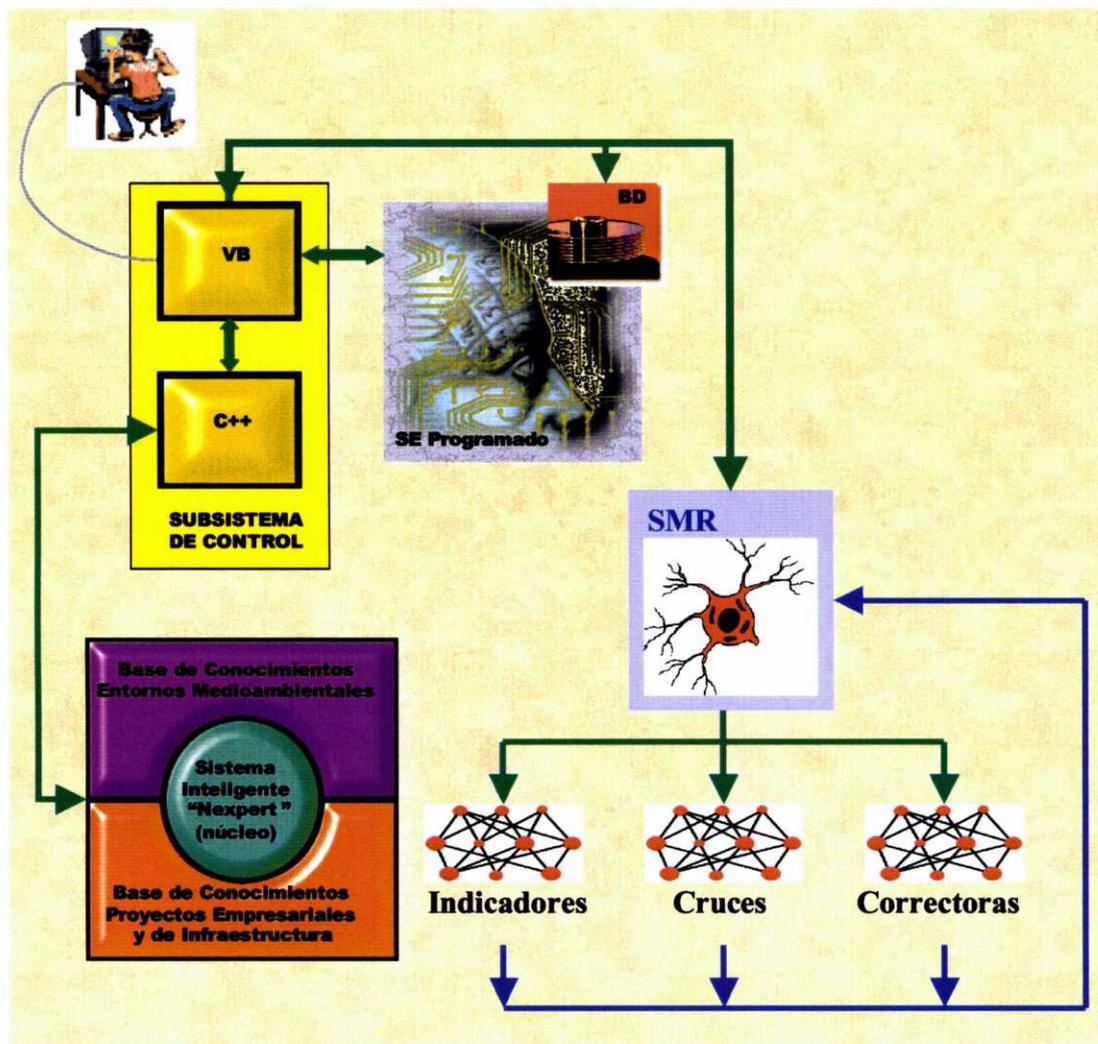


Figura 7.5.- Sistema Híbrido (SS.EE-RR.NN.AA-BB.DD)

En la aproximación final, los flujos de información representados por las flechas azules reflejan tanto los resultados del entrenamiento de las RR.NN.AA como las diferentes salidas durante la fase de ejecución. Los flujos de información, entre el SMR y las RR.NN.AA, representados por las flechas verdes, reflejan el proceso de entrenamiento. El otro flujo de información, entre el SMR y la BD, refleja el proceso de gestión de las RR.NN.AA,

conjuntos de entrenamiento y pantallas de aplicación. En general, la gestión incluye los típicos procesos sobre BB.DD: altas, bajas y modificaciones.

El SMR incluye un conjunto de módulos programados que se encargan de lanzar diferentes reglas de aprendizaje. El SH final puede transferir el control, en ciertos puntos, al SMR, el cual, en función del punto de llamada, asignará las RR.NN.AA relevantes. Dentro del ejemplo de EIA propuesto, dichas RR.NN.AA podrán procesar parte de la información disponible hasta el momento para mejorar, con sus salidas, la caracterización y confianza sobre los impactos de EIA identificados. En general, como resultado de la ejecución de las RR.NN.AA, el SE podrá evaluar y, si es el caso, reconsiderar, los resultados obtenidos por las RR.NN.AA. En este sentido, la caracterización final de los cruces buscará un equilibrio entre los resultados aportados por ambas aproximaciones. En este sentido, el SH asignará una mayor credibilidad a aquellos cruces identificados por ambos subsistemas, aunque la aparición de nuevos cruces permitirá examinar de forma selectiva y dirigida los diferentes impactos producidos por un proyecto empresarial o de infraestructura en el medio ambiente. En el punto 15 de la sección Anexos, se expone el entorno de trabajo del SMR.

#### **7.4.- APRENDIZAJE EN EL SISTEMA.**

Aunque la modularidad del sistema propuesto permite integrar diferentes reglas de aprendizaje, el presente trabajo de investigación se centrará, fundamentalmente, en diferentes variantes del AARE. Este algoritmo, propuesto por Werbos [WERB-74], ha sido ampliamente utilizado [SCHI-93b] y difundido sobre todo por Rumelhart [RUME-86].

En el presente estudio se utilizará el dominio de las EIA y, en concreto, la BD desarrollada, para analizar diferentes aproximaciones del AARE.

Los resultados del proceso de entrenamiento dependen, en gran medida, de la elección de la tasa de aprendizaje y el "momentum". Por lo tanto, un correcto ajuste de dichos parámetros mejorará considerablemente el proceso de aprendizaje.

El estudio de la optimización del AARE debe considerar, en un primer momento, una actualización de los pesos sinápticos por lotes y no después de cada patrón; esto es, después de pasar todo el conjunto de patrones de entrada; y, en segundo lugar, mediante la búsqueda de la tasa y momento de aprendizaje adecuados.

Considerando que el resultado del proceso de aprendizaje de patrones similares produce gradientes similares, la existencia de un gran número de patrones de entrenamiento similares aconseja la utilización de una tasa de aprendizaje pequeña [EATO-92]. Para ello, se debe definir un criterio de similitud entre patrones para obtener, de esta forma, varios conjuntos de patrones similares y definir la tasa y momento en función del número de patrones de cada uno de los subconjuntos definidos.

Otras aproximaciones consisten en un decremento progresivo de la tasa de aprendizaje durante el proceso de aprendizaje [DARK-90]. Esta estrategia se aconseja cuando el ajuste de los pesos se realiza para cada patrón, no por lotes. En general, se inicia el proceso de aprendizaje con una tasa grande para, de forma progresiva, decrementarla. Partiendo de una tasa de aprendizaje inicial  $\mu_0$ , sucesivos patrones de entrenamiento ajustarán dicho parámetro siguiendo, por ejemplo, la siguiente ecuación:

$$\mu_n = \frac{\mu_0}{1 + \frac{n}{r}}$$

El parámetro  $r$  permite ajustar el esquema de actualización de la tasa de aprendizaje. Inicialmente, se utiliza una tasa grande que acelera el aprendizaje para, paulatinamente, decrementarlo y conseguir así un ajuste más fino, evitando la posibilidad de oscilar de un lado a otro del nivel de convergencia sin conseguir alcanzarlo nunca.

Otras aproximaciones consideran diferentes estrategias evolutivas para el ajuste de los parámetros involucrados en el aprendizaje. En este sentido, es de gran interés la posibilidad de definir diferentes esquemas de actualización de, por ejemplo, la tasa de aprendizaje, para su aplicación sobre un conjunto de RR.NN.AA, que podrán ser o no iguales [SALO-90]. Una

vez entrenadas las RR.NN.AA o tras presentar un conjunto de patrones, se selecciona la mejor. Posteriormente, se reinicia el proceso de aprendizaje considerando el mejor esquema de ajuste de la tasa. Las estrategias evolutivas intentan modelar la evolución de las especies considerando que diferentes especies no comparten material genético. Por lo tanto, no se utiliza ningún operador de combinación entre especies [FOGE-66] [FOGE-95]. Esta misma aproximación se podría utilizar sobre diferentes poblaciones de RR.NN.AA aplicando, sobre ellas, un esquema o algoritmo genético fundamentado en las operaciones primitivas de cruce y mutación [HOLL-75] [HOLL-96a] [HOLL-96b] [GOLD-89] [BUCK-92]. En este sentido, esta segunda estrategia, al contrario que la primera, sí utilizará operadores de combinación.

Tomando como partida diferentes conjuntos de entrenamiento obtenidos de la BD de EIA se probará, además de diferentes aproximaciones fundamentadas en el ajuste de los parámetros involucrados en el aprendizaje, un esquema basado en la asignación y ajuste independiente de diferentes tasas de aprendizaje (AIDT en lo sucesivo). De esta forma, se asignará una tasa de aprendizaje diferente a cada uno de los pesos sinápticos de las RR.NN.AA [SILV-90].

La utilización de múltiples tasas de aprendizaje permite obtener la tasa óptima de cada peso sináptico. El ajuste de las tasas de aprendizaje dependerá del signo de los últimos gradientes. Esto es, la tasa de aprendizaje se incrementa en el caso de que no cambie el signo de los gradientes y, se decrementa, en caso contrario. Normalmente, se inicia el proceso asignando valores muy pequeños a las diferentes tasas de aprendizaje. Dichas tasas se irán multiplicando por una constante, que será positiva o negativa, según los signos de los últimos gradientes. Además, se pueden introducir diferentes estrategias de vuelta atrás en aquellos casos en los que se produzca un incremento del error, con el objetivo de evitar mínimos locales o que no se esté siguiendo la estrategia oportuna.

En general, existen diversas aproximaciones, muchas de ellas no aplicables a casos reales, a la hora de optimizar los tiempos y resultados del entrenamiento de las RR.NN.AA. En la siguiente sección se expondrán varios experimentos realizados sobre alguno de los conjuntos de entrenamiento generados, de forma automática, a partir de la BD de EIA.

## 7.5.- EXPERIMENTACIÓN CON CASOS DEL DOMINIO DE LAS EIA.

La experimentación realizada, dentro del dominio de las EIA, utiliza 100 muestras formadas por 10 valores codificados, nueve de entrada y uno de salida, con el formato de la tabla 7.1. Dichas muestras se obtienen de la BD de EIA expuesta en el apartado 3 de los Anexos.

VALOR	TIPO	MÍNIMO	MÁXIMO
Acción	Entrada	1101	3602
Factor	Entrada	1101	4207
Signo	Entrada	-1	1
Intensidad	Entrada	1	3
Extensión	Entrada	1	3
Momento	Entrada	1	3
Medidas correctoras	Entrada	1	4
Duración	Entrada	1	3
Reversibilidad	Entrada	1	4
Indicador de impacto	Salida	1	42

*Tabla 7.1.- Muestras consideradas en la experimentación.*

De todos los parámetros que pueden influir en las pruebas de entrenamiento y, tras diferentes pruebas de ensayo y error, se consideran constantes los mostrados en la tabla 7.2.

PARÁMETRO	VALOR
Función de activación	Sigmoidal
Nº de muestras a considerar	100
Nº de ciclos	3000
Estructura de la RNA	9-5-1
Inicialización aleatoria pesos	-6,0 a 6,0
Inicialización aleatoria umbrales	-6,0 a 6,0
Mínimo y máximo aprendizaje (sólo AIDT)	0,0001 a 100,0

*Tabla 7.2.- Parámetros del experimento constantes.*

Además, tomando como partida las diferentes pruebas de ensayo y error realizadas, se considera el conjunto de parámetros variables de la tabla 7.3.

PARÁMETRO	VALORES CONSIDERADOS
Método	Múltiples tasas o estándar
Tasa de aprendizaje	0,001; 0,01; 0,1; 1,0
Momento	0,001; 0,01; 0,1; 1,0
Lotes	Si/No

*Tabla 7.3.- Parámetros del experimento variables.*

Por cada conjunto de parámetros variables se realizan cinco procesos de entrenamiento diferentes con inicialización aleatoria de pesos y umbrales. Cada uno de estos conjuntos se clasifica en dos grupos, el primero, etiquetado con S, utiliza el método de múltiples tasas de aprendizaje y, el segundo, etiquetado con E, utiliza el método AARE estándar.

La tabla 7.4 muestra los parámetros variables característicos del método AIDT.

CÓDIGO	MÉTODO	APRENDIZAJE	MOMENTO	LOTES
S11N	AIDT	0,001	0,001	No
S12N	AIDT	0,001	0,010	No
S13N	AIDT	0,001	0,100	No
S14N	AIDT	0,001	1,000	No
S21N	AIDT	0,010	0,001	No
S22N	AIDT	0,010	0,010	No
S23N	AIDT	0,010	0,100	No
S24N	AIDT	0,010	1,000	No
S31N	AIDT	0,100	0,001	No
S32N	AIDT	0,100	0,010	No
S33N	AIDT	0,100	0,100	No
S34N	AIDT	0,100	1,000	No
S41N	AIDT	1,000	0,001	No
S42N	AIDT	1,000	0,010	No
S43N	AIDT	1,000	0,100	No
S44N	AIDT	1,000	1,000	No

*Tabla 7.4.- Experimentos del método AIDT.*

La tabla 7.5 muestra los parámetros variables característicos del segundo conjunto de experimentos caracterizados por el método AARE estándar.

CÓDIGO	MÉTODO	APRENDIZAJE	MOMENTO	LOTES
E11N	AARE Estándar	0,001	0,001	No
E12N	AARE Estándar	0,001	0,010	No
E13N	AARE Estándar	0,001	0,100	No
E14N	AARE Estándar	0,001	1,000	No
E21N	AARE Estándar	0,010	0,001	No
E22N	AARE Estándar	0,010	0,010	No
E23N	AARE Estándar	0,010	0,100	No
E24N	AARE Estándar	0,010	1,000	No
E31N	AARE Estándar	0,100	0,001	No
E32N	AARE Estándar	0,100	0,010	No
E33N	AARE Estándar	0,100	0,100	No
E34N	AARE Estándar	0,100	1,000	No
E41N	AARE Estándar	1,000	0,001	No
E42N	AARE Estándar	1,000	0,010	No
E43N	AARE Estándar	1,000	0,100	No
E44N	AARE Estándar	1,000	1,000	No
E11S	AARE Estándar	0,001	0,001	Si
E12S	AARE Estándar	0,001	0,010	Si
E13S	AARE Estándar	0,001	0,100	Si
E14S	AARE Estándar	0,001	1,000	Si
E21S	AARE Estándar	0,010	0,001	Si
E22S	AARE Estándar	0,010	0,010	Si
E23S	AARE Estándar	0,010	0,100	Si
E24S	AARE Estándar	0,010	1,000	Si
E31S	AARE Estándar	0,100	0,001	Si
E32S	AARE Estándar	0,100	0,010	Si
E33S	AARE Estándar	0,100	0,100	Si
E34S	AARE Estándar	0,100	1,000	Si
E41S	AARE Estándar	1,000	0,001	Si
E42S	AARE Estándar	1,000	0,010	Si
E43S	AARE Estándar	1,000	0,100	Si
E44S	AARE Estándar	1,000	1,000	Si

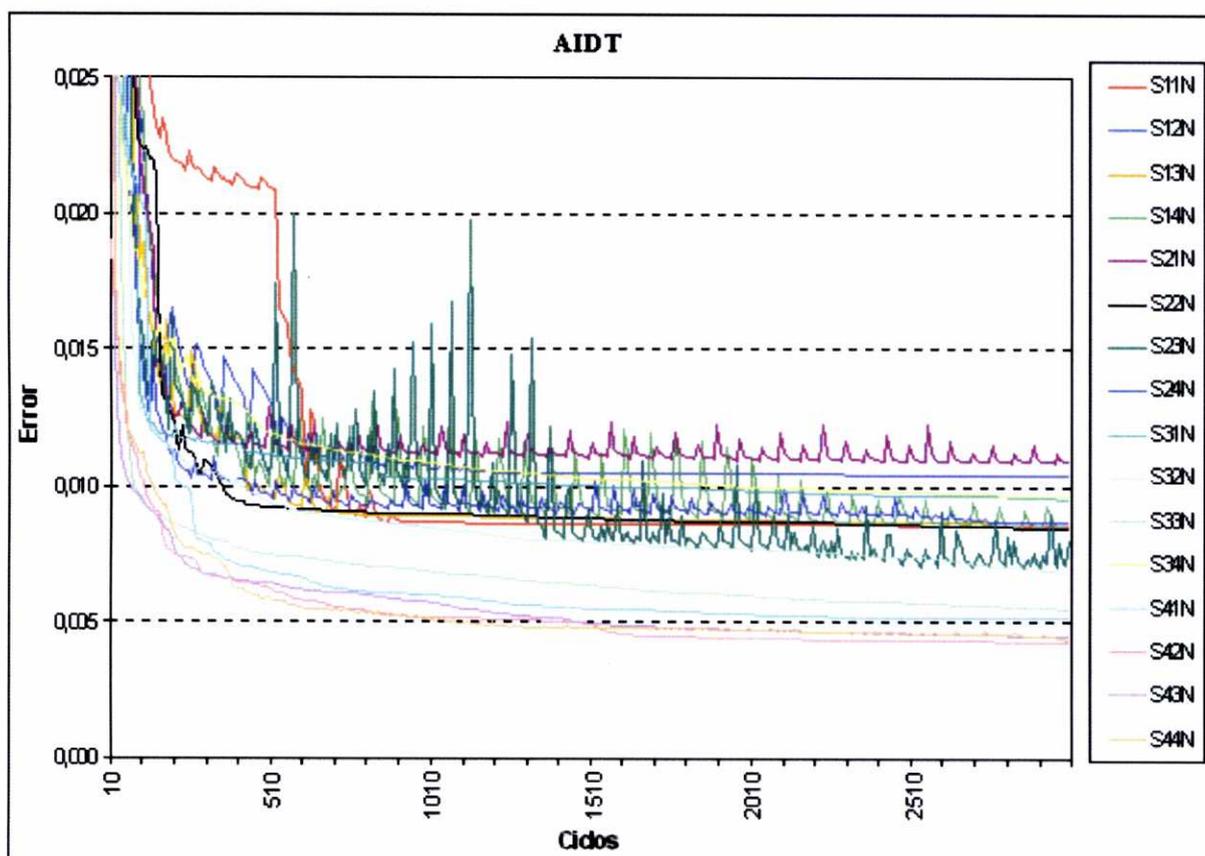
*Tabla 7.5.- Experimentos del método AARE estándar.*

No se consideran las combinaciones del método AIDT por lotes ya que presentan una gran inestabilidad.

Como resultado de la experimentación, se ha realizado un conjunto de gráficos y tablas que resumen los resultados obtenidos. En los gráficos, se muestra la evolución del error cuadrático medio durante el entrenamiento, mientras que las tablas presentan, además, el número de muestras reconocidas al final del mismo.

En cuanto al método AIDT, se consigue una reducción rápida del error, pero algunas combinaciones (factor de aprendizaje y momento) producen curvas de error inestables.

Los mejores resultados, tanto para el error como para el número de muestras reconocidas, se producen para valores altos de la tasa de aprendizaje (S4). La figura 7.6 muestra el error cuadrático medio de los diferentes experimentos del método AIDT expuestos en la tabla 7.4 y, se observa, que los experimentos S4 consiguen mejores resultados.



*Figura 7.6.- Resultados de los experimentos AIDT. Error vs Ciclo.*

La tabla 7.6 muestra los resultados de los experimentos AIDT. En concreto, se muestran los parámetros variables utilizados en cada experimento, el correspondiente error y el número de patrones que pasan el proceso de test.

Se debe considerar que los resultados obtenidos, errores y patrones de test, son valores medios considerados sobre cinco experimentos diferentes.

CÓDIGO	APRENDIZAJE	MOMENTO	ERROR	MUESTRAS CORRECTAS
S11N	0,001	0,001	0,0085264	21,8
S12N	0,001	0,010	0,0104038	26,0
S13N	0,001	0,100	0,0086518	29,2
S14N	0,001	1,000	0,0084088	19,2
S21N	0,010	0,001	0,0109066	28,2
S22N	0,010	0,010	0,0084484	28,2
S23N	0,010	0,100	0,0080944	22,4
S24N	0,010	1,000	0,0086564	25,8
S31N	0,100	0,001	0,0095010	31,4
S32N	0,100	0,010	0,0067802	30,2
S33N	0,100	0,100	0,0054892	32,6
S34N	0,100	1,000	0,0096378	31,2
S41N	1,000	0,001	0,0050862	49,6
S42N	1,000	0,010	0,0042702	47,2
S43N	1,000	0,100	0,0044758	55,2
S44N	1,000	1,000	0,0042790	50,6

*Tabla 7.6.- Resultados del AIDT.*

El segundo tipo de experimentos, fundamentado en el método AARE estándar, sólo converge rápidamente para valores grandes del factor de aprendizaje. Para dichos valores, experimentos E4, también se obtienen los mejores resultados, tanto para el error como para el número de muestras reconocidas. Por el contrario, no presenta las inestabilidades del método anterior.

La figura 7.7 y la tabla 7.7 muestran el error cuadrático medio de los diferentes experimentos del método AARE estándar expuestos en la tabla 7.5.

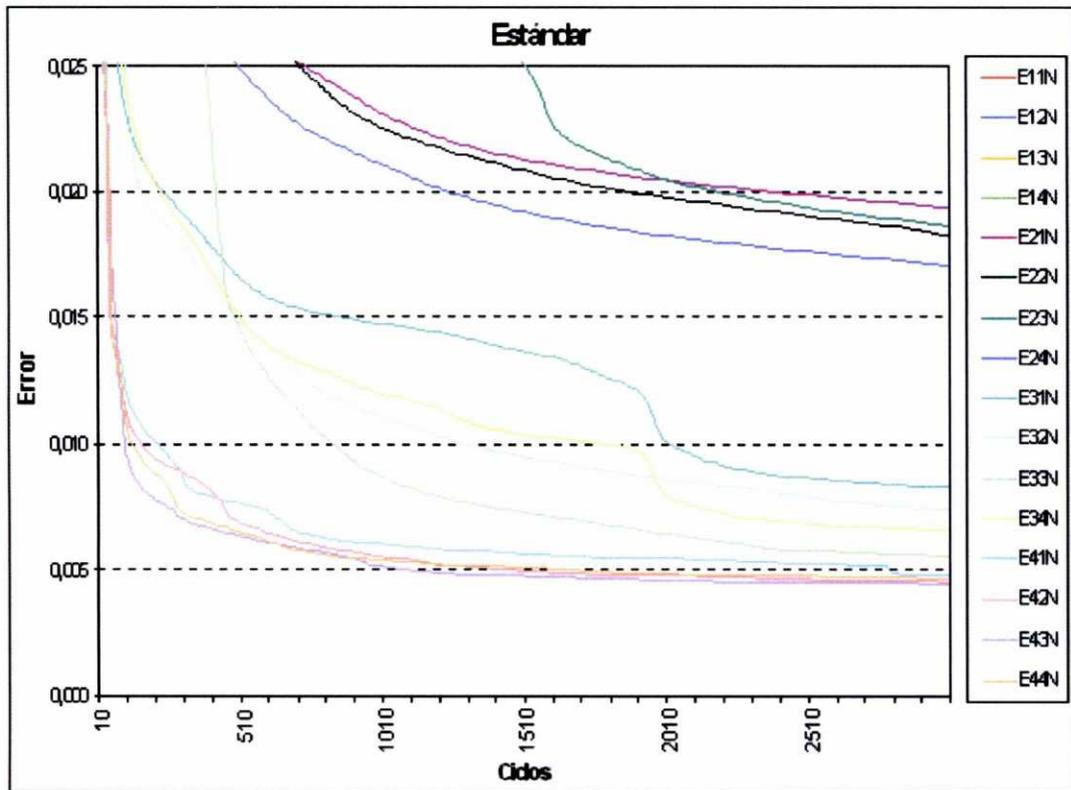


Figura 7.7.- Resultados de los experimentos AARE estándar. Error vs Ciclo.

CÓDIGO	APRENDIZAJE	MOMENTO	ERROR	MUESTRAS RECONOCIDAS
E11N	0,001	0,001	0,0289102	07,0
E12N	0,001	0,010	0,0339498	11,4
E13N	0,001	0,100	0,0331474	13,4
E14N	0,001	1,000	0,0278142	08,8
E21N	0,010	0,001	0,0193766	13,4
E22N	0,010	0,010	0,0182784	15,4
E23N	0,010	0,100	0,0186648	15,4
E24N	0,010	1,000	0,0170872	18,4
E31N	0,100	0,001	0,0082774	27,0
E32N	0,100	0,010	0,0073384	23,4
E33N	0,100	0,100	0,0055336	33,8
E34N	0,100	1,000	0,0065382	32,4
E41N	1,000	0,001	0,0047398	39,2
E42N	1,000	0,010	0,0045254	47,4
E43N	1,000	0,100	0,0043854	47,8
E44N	1,000	1,000	0,0046356	50,2

Tabla 7.7.- Resultados del AARE estándar.

En el método AARE estándar por lotes, la convergencia también mejora, hasta cierto límite, al aumentar el factor de aprendizaje, aunque no alcanza la velocidad de los métodos anteriores. Sin embargo, el método no converge si se aumenta considerablemente el factor de aprendizaje (E4).

La figura 7.8 muestra el error cuadrático medio de los diferentes experimentos del método AARE estándar por lotes expuestos en la tabla 7.5.

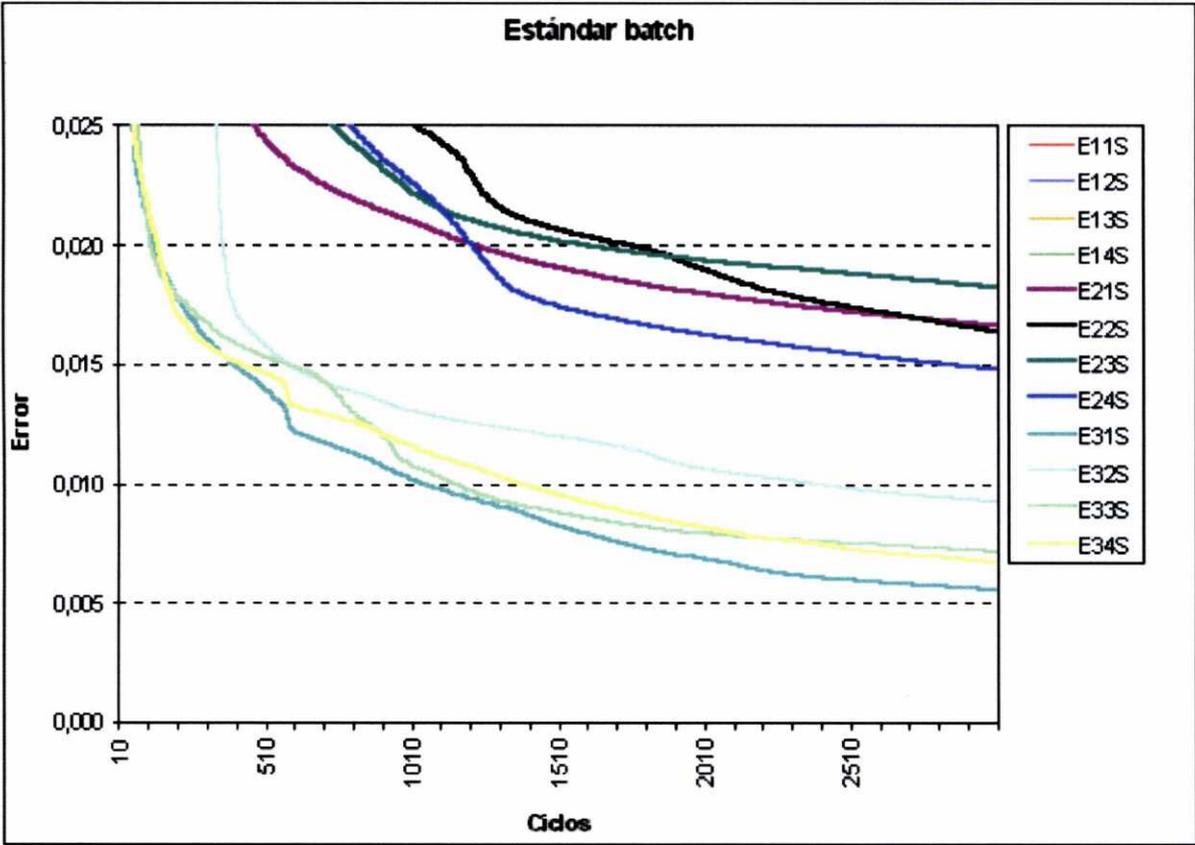


Figura 7.8.- Resultados de los experimentos AARE estándar "batch". Error vs Ciclo.

La tabla 7.8 muestra los resultados, error y número de patrones evaluados positivamente, de los experimentos AARE estándar por lotes.

CÓDIGO	APRENDIZAJE	MOMENTO	ERROR	MUESTRAS RECONOCIDAS
E11S	0,001	0,001	0,0271362	07,8
E12S	0,001	0,010	0,0305728	08,6
E13S	0,001	0,100	0,0402568	12,6
E14S	0,001	1,000	0,0363458	08,6
E21S	0,010	0,001	0,0166348	18,0
E22S	0,010	0,010	0,0163956	12,8
E23S	0,010	0,100	0,0182424	14,4
E24S	0,010	1,099	0,0147656	16,8
E31S	0,100	0,001	0,0055398	40,4
E32S	0,100	0,019	0,0092558	18,0
E33S	0,100	0,199	0,0071616	25,4
E34S	0,100	1,099	0,0066628	36,0
E41S	1,000	0,001	No converge	No converge
E42S	1,000	0,010	No converge	No converge
E43S	1,000	0,100	No converge	No converge
E44S	1,000	1,000	No converge	No converge

*Tabla 7.8.- Resultados del AARE estándar por lotes.*

Considerando los experimentos que han obtenido los mejores resultados, tal y como se aprecia en la tabla 7.9, el método AIDT y el AARE estándar son claramente superiores al AARE por lotes en cuanto a la velocidad de convergencia. También son superiores en cuanto al número de muestras reconocidas al final del entrenamiento.

CÓDIGO	APRENDIZAJE	MOMENTO	ERROR	MUESTRAS CORRECTAS
S42N	1,0	0,010	0,0042702	47,2
S43N	1,0	0,100	0,0044758	55,2
S44N	1,0	1,000	0,0042790	50,6
E42N	1,0	0,010	0,0045254	47,4
E43N	1,0	0,100	0,0043854	47,8
E44N	1,0	1,000	0,0046356	50,2
E31S	0,1	0,001	0,0055398	40,4
E33S	0,1	0,100	0,0071616	25,4
E34S	0,1	1,000	0,0066628	36,0

*Tabla 7.9.- Resultados medios de los experimentos ganadores.*

La figura 7.9 muestra estos mismos resultados de una forma gráfica.

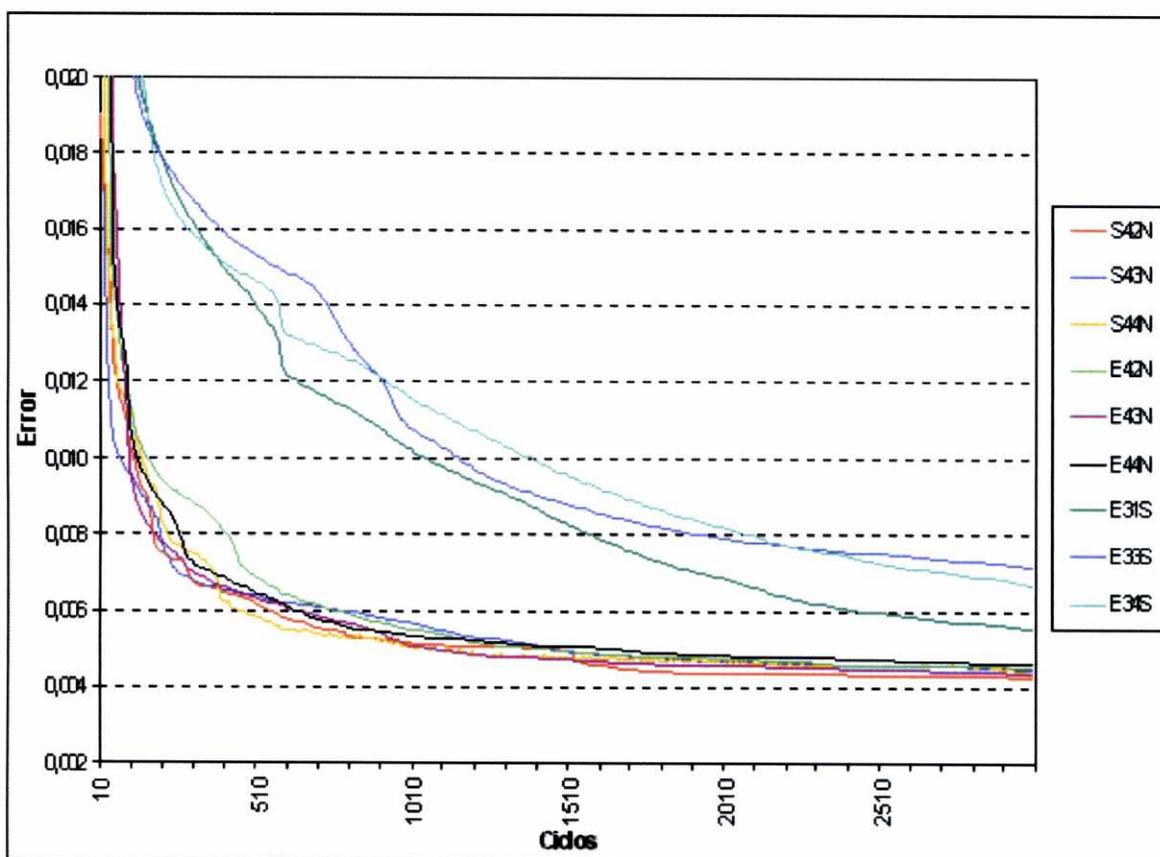


Figura 7.9.- Resultados de los experimentos ganadores. Error vs Ciclo.

Aunque los métodos AIDT y AARE estándar son muy similares en cuanto a reducción del error y al número de muestras reconocidas, el primero supone ciertas mejoras en alguno de los experimentos definidos (tasa de aprendizaje y momento). Por el contrario, el AIDT presenta también algunas inestabilidades. Por último, la tabla 7.10 y la figura 7.10 muestran una comparativa con los tres mejores conjuntos de parámetros por cada método.

CÓDIGO	APRENDIZAJE	MOMENTO	ERROR	MUESTRAS CORRECTAS
S42N	1,0	0,01	0,0042702	47,2
S43N	1,0	0,10	0,0044758	55,2
S44N	1,0	1,00	0,0042790	50,6
E42N	1,0	0,01	0,0045254	47,4
E43N	1,0	0,10	0,0043854	47,8
E44N	1,0	1,00	0,0046356	50,2

Tabla 7.10.- Resultados de los tres mejores experimentos por cada método.

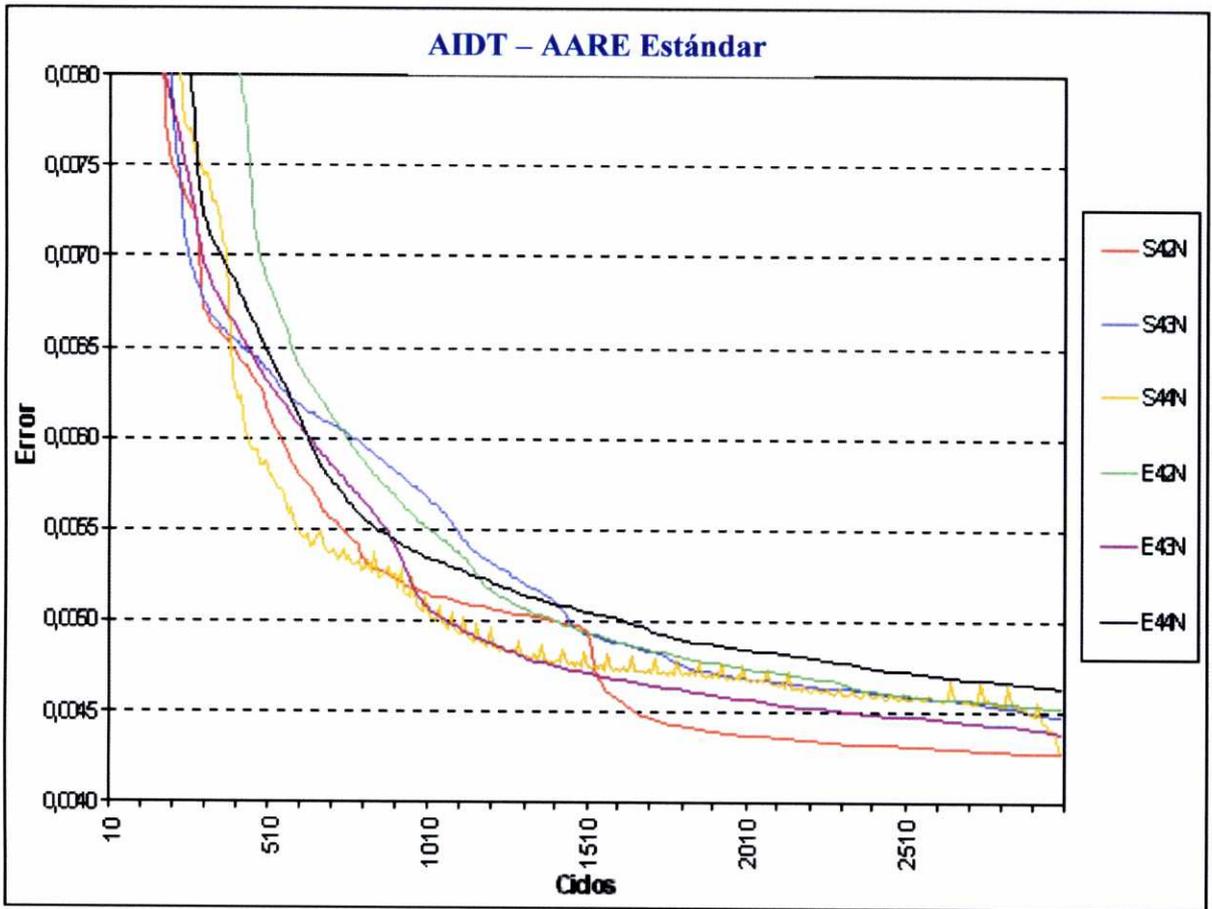


Figura 7.10.- Resultados de los tres mejores experimentos por cada método.

# CAPÍTULO VIII

## CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **8.- CONCLUSIONES.**

La resolución de problemas complejos y de naturaleza experta requiere, en la mayoría de los casos, de la integración de diferentes técnicas. La metodología de integración propuesta, entre diferentes técnicas de IA y de Informática Convencional, permite abordar la resolución de dicho tipo de problemas mejorando considerablemente las prestaciones y, en definitiva, los resultados de los SS.HH. En este sentido, dicha metodología toma como punto de partida diferentes metodologías utilizadas en las técnicas involucradas, desarrollando una variante que permite su integración y adaptación a las necesidades del dominio de trabajo. Dentro de la integración de metodologías propuesta, se incluye una propia en el campo de las RR.NN.AA.

En general, los sistemas complejos necesitan técnicas que permitan trabajar con espacios de búsqueda grandes realizando una aproximación sistemática a la solución del problema por medio de la implementación, entre otros, de métodos de poda en la búsqueda, eliminando aquellos casos no consistentes con los datos objetivos que se poseen. Además, han de poseer la capacidad de abstraer el espacio de búsqueda, enfatizando las áreas más importantes del problema que permitan la división del problema global en subproblemas. En algunas ocasiones, será necesario evaluar conjuntos de soluciones parciales para comprobar su viabilidad.

Los dominios de aplicación demasiado grandes requieren el manejo de grandes cantidades de datos y conocimientos. Por lo tanto, estos sistemas requieren la utilización de BB.DD así como facilitar su mantenimiento e integración en el sistema final. En este sentido, el SGD propuesto (SGB, SDP y SEP) es bastante dinámico y perfectamente extrapolable a diferentes ámbitos de aplicación que requieran de acceso a datos, ya que proporciona las herramientas necesarias para su eficiente gestión y explotación.

Se puede hacer una clara división de la BD desarrollada. Por un lado, se utiliza un amplio conjunto de relaciones para representar los conocimientos declarativos del dominio: objetos, propiedades, relaciones, etc. Y, por otro, se utiliza un conjunto de relaciones, de menor tamaño que el primero, como memoria de trabajo del sistema general. Las relaciones de la

memoria de trabajo almacenarán los diferentes hechos, conclusiones, hipótesis de trabajo, etc., generados en tiempo de ejecución.

La enorme complejidad del dominio de las EIA requiere del modelo ER extendido para poder reflejar las complejas relaciones derivadas de su modelización. En concreto, se está hablando de la modelización de relaciones cuaternarias, relaciones de relaciones, relaciones de entidades consigo mismas, etc.

Además, se propone y analiza la incorporación de dos SS.EE trabajando de forma cooperativa. La integración en el sistema global de, por un lado, SS.EE desarrollados sobre herramientas específicas y, por otro, implementados en un lenguaje de programación estándar, permite dotar al sistema final de los beneficios que aportan ambas aproximaciones.

Considerando la naturaleza cambiante de los conocimientos, la aparición de nuevos conocimientos pasarán a formar parte del SE desarrollado sobre la herramienta específica. De esta forma, se facilita enormemente la incorporación de nuevos conocimientos y se evita la problemática derivada de la utilización de herramientas de Ingeniería del Conocimiento de propósito general, que incluyen un cierto nivel de análisis sintáctico de las estructuras de conocimientos y normalmente no explotan aspectos relacionados con la integridad, consistencia y semántica de las estructuras. Este aspecto produce, en los SS.EE desarrollados sobre herramientas específicas y como resultado de la modificación de los conocimientos existentes o de la inclusión de nuevos conocimientos, un cierto nivel de inconsistencia en las bases de conocimientos.

La utilización de diferentes entornos de programación permite integrar, dentro del SH propuesto, las diferentes ventajas de las BB.DD y SS.EE. En este sentido, la integración de SS.EE y BB.DD es particularmente atractiva, ya que posibilita la manipulación de la semántica de las BB.DD de forma directa. Esta aproximación, además de incrementar la flexibilidad del sistema, elimina la necesidad de definir sentencias complejas mediante el lenguaje básico de la BD.

Otra área de experimentación, que incluye una gran funcionalidad en el sistema, analiza las prestaciones de una aproximación basada en versiones. La utilización de diferentes versiones de

registros de las tablas base, normalmente obtenidas a través de la aplicación de reglas de producción, permite acotar considerablemente el espacio de búsqueda. De una forma similar, se ha explotado la técnica de la generación de múltiples "vistas", normalmente excluyentes, sobre las mismas tablas. Los "vistas" resultantes incluyen un peso o factor de importancia que determina el nivel de confianza de su clase.

Respecto a la estructura de control utilizada en la aproximación de integración entre el SE y la BD se ha utilizado un esquema de procesamiento distribuido y control centralizado en un subsistema independiente. De esta forma, se dispone de las capacidades de inferencia de los SS.EE y de las capacidades de gestión de datos de las BB.DD en un único sistema.

Esta aproximación aprovecha las ventajas de los SS.EE programados, las BB.DD y las herramientas de Ingeniería del Conocimiento de propósito general; y proporciona un eficiente soporte a los conocimientos derivados de grandes dominios y una valiosa herramienta que facilita la incorporación de nuevos conocimientos. En el dominio de las EIA, el SE programado incluye el núcleo de conocimientos del dominio de las EIA y, el sistema inteligente, podrá incluir fácilmente todos los conocimientos que puedan aparecer en el futuro.

El sistema de integración propuesto soporta reglas del tipo "*SI evento ENTONCES acción*". Las posibles reglas que puede incluir el sistema se han agrupado, según el tipo de evento y acción, en cuatro categorías, siendo los tipos de evento y acción considerados la actualización y la consulta. Además de las reglas generales del nivel de abstracción superior, se incorporan varias metarreglas que permiten la resolución de posibles conflictos. El SE programado utiliza los operadores relacionales de las reglas del nivel superior de abstracción para generar las posibles restricciones del espacio de búsqueda. Además, se incluyen diferentes niveles de etiquetas semánticas y cuantificadores que definen la confianza de las restricciones.

En un nivel de abstracción inferior, se incorpora un mecanismo de razonamiento basado en restricciones. El objetivo de este esquema es el de la consecución de los diferentes valores de las variables que satisfagan las restricciones del dominio. En este sentido, se puede identificar un esquema basado en restricciones como un proceso inferencial abductivo, donde

cada ciclo del proceso de razonamiento sugiere nuevas hipótesis a partir de las ya verificadas. Esta aproximación permite decrementar considerablemente el coste de mantenimiento del sistema y, por tanto, abordar con un cierto grado de éxito dominios de gran tamaño y con una elevada tasa de variación de sus conocimientos.

La independencia del contexto de los esquemas de representación de conocimientos basados en restricciones facilita el desarrollo incremental y mantenimiento de grandes bases de conocimientos. En contrapartida, la representación de los conocimientos en sistemas deductivos basados en reglas es dependiente del contexto y, por lo tanto, el coste de mantenimiento de las bases de conocimientos obtenidas a partir de grandes y cambiantes dominios de trabajo se incrementa considerablemente. Nuevamente, la aproximación idónea está en la colaboración; un esquema basado en reglas de alto nivel que utiliza sentencias relacionales para definir las variables y restricciones del problema y un esquema, basado en restricciones, que evalúa las variables que definen el problema.

Dentro del esquema de integración propuesto, la utilización de RR.NN.AA como técnica alternativa de búsqueda de soluciones permite dotar al sistema de los beneficios que aportan la utilización de sistemas conexionistas añadiendo un cierto grado de robustez y tolerancia a fallos y errores en el sistema. Como resultado de los estudios realizados, se aprecia que la mayor parte de los desarrollos con RR.NN.AA, aunque utilizan BB.DD, no le proporcionan toda la importancia que deberían tener. En general, las BB.DD incorporan un elevado grado de integridad y consistencia a las RR.NN.AA y en sus respectivos conjuntos de entrenamiento y test.

La mayor parte de los sistemas conexionistas desarrollados hasta la fecha reflejan un carácter monolítico y poco estructurado utilizando, para la representación de las RR.NN.AA, códigos embebidos o simples ficheros de texto. Los sistemas que incorporan un cierto grado de integración, en muchos casos, únicamente se limitan al acceso a BB.DD durante la fase de ejecución de la RNA.

Las ventajas de la capacidad de seleccionar, atendiendo a unos criterios fácilmente expresables, subconjuntos de los hechos del dominio de trabajo, son enormes; si además se

dispone de los pesos iniciales, finales, salidas, tasas de error, tiempos, evolución temporal de los pesos, etc. las ventajas serán todavía mayores y proporcionarán al sistema una gran flexibilidad y facilidad para su estudio y optimización; aspectos que sin la colaboración de las BB.DD serían impensables o, al menos, requerirían mucho mayor esfuerzo. La utilización de BB.DD en general y, de la aproximación propuesta, en particular, mejora considerablemente las posibilidades de integración, reutilización modular, consistencia y experimentación en el campo de las RR.NN.AA. Además, la aproximación propuesta facilita el intercambio de información entre sistemas heterogéneos que pueden estar distribuidos a lo largo de una red de datos.

Los dominios de gran tamaño requieren, en la mayoría de los casos, de una jerarquía de RR.NN.AA que afronten, por separado, los diferentes subproblemas del dominio. Generalmente, los dominios de gran tamaño siempre se pueden dividir, total o parcialmente, en subdominios. Como resultado de esto, se ha desarrollado un SMR que incluye la posibilidad de gestión y manipulación de múltiples RR.NN.AA y sus correspondientes conjuntos de entrenamiento y test. Además, la posibilidad de utilizar sentencias relacionales complejas sobre BB.DD, tanto locales como remotas, enriquece enormemente la capacidad de generación y preprocesado de los conjuntos de entrenamiento.

Las ventajas de integración entre BB.DD y RR.NN.AA superan con creces a los inconvenientes y representan una solución totalmente válida y aconsejable; aunque quizá no se tendría que hablar de integración sino de la utilización de las BB.DD al servicio de las RR.NN.AA.

Como consecuencia de la necesidad de integración y reutilización de las diferentes RR.NN.AA, se ha desarrollado un sistema que permite la integración de las diferentes RR.NN.AA en cualquier aplicación final. Esta aproximación, soportada por las entidades de la BD del SMR, diseñada para tal fin, se fundamenta en la relación entre pantallas de aplicaciones y RR.NN.AA. Como resultado, esta aproximación convierte, a cada una de las RR.NN.AA desarrolladas, en un módulo totalmente reutilizable. La gran potencialidad de esta aproximación crece, aún más, cuando se piensa en un entorno en red, donde un servidor

remoto podría ser el encargado de servir, a cualquier aplicación cliente, el conjunto de RR.NN.AA.

En general, el SH captura los resultados obtenidos por el SMR y continúa su proceso de razonamiento. Esta aproximación puede dar como resultado la reconsideración de algunas de las hipótesis barajadas. Como resultado de la ejecución de las RR.NN.AA, el SE podrá evaluar y, si es el caso, reconsiderar, los resultados obtenidos por las RR.NN.AA. En este sentido, las conclusiones finales buscarán un equilibrio entre los resultados aportados por ambos subsistemas.

El dominio de experimentación utilizado, las EIA, reúne un conjunto de características que requieren la utilización de SS.EE y RR.NN.AA para su adecuado tratamiento, algunas de las cuales son:

1. Naturaleza predictiva sometida a un cierto grado de incertidumbre, lo que exige trabajar con un gran número de hipótesis. Esto obligará a la repetición de cálculos y análisis de resultados en ciclos iterativos, siendo facilitada esta labor por la utilización de SS.EE.
2. Conocimientos de naturaleza experta para la caracterización de los efectos de un proyecto en un entorno, lo que exige ciclos de retroalimentación entre hipótesis y análisis de resultados.
3. La necesidad de establecer preferencias sociales en función del lugar y de su evolución temporal, cuya validez requiere un contraste de los resultados del proceso de evaluación utilizando diferentes hipótesis de trabajo.
4. Subjetividad de los FF.AA, los cuales están caracterizados por un peso que establece su importancia en el estudio.
5. Facilidad de generalización, utilizando unos esquemas de razonamiento y de representación de conocimientos adecuados a todo tipo de proyectos. Muchas de las hipótesis definidas en la EIA de un determinado proyecto se pueden utilizar en otros proyectos.

El SH de EIA desarrollado incorpora procedimientos de identificación de impactos ambientales a través de análisis del tipo "causa-efecto" y de una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos que se puedan producir. La combinación de técnicas de IA y de informática convencional ayuda a solucionar algunos de los principales problemas de los

métodos de identificación tradicionales, como la falta de robustez, profundidad y completitud en los análisis. De esta manera, los expertos disponen de una avanzada herramienta que les puede servir de ayuda en la toma de decisiones sobre diferentes aspectos, tales como: el emplazamiento óptimo de proyectos empresariales, el estudio de alternativas para la construcción de infraestructuras, la necesidad de adopción de medidas correctoras que decremen los impactos ante cualquier actividad empresarial, etc.

Las RR.NN.AA proporcionan un interfaz eficiente entre la información del mundo real y las computadoras y añaden un cierto grado de robustez al sistema. Además, son adecuadas para manejar inexactitudes o información conflictiva.

Los SS.EE pueden realizar las tareas de más alto nivel, las concernientes a los conocimientos. Los sistemas basados en conocimientos son más hábiles para manejar símbolos y aplicar la lógica; mientras que las RR.NN.AA pueden realizar mejor las tareas de bajo nivel como el procesamiento de señales, o a nivel de los datos; así como las tareas adaptativas de alto nivel que impliquen aprendizaje.

Finalmente, los sistemas de Informática Convencional son mejores en tareas de procesamiento numérico.

Cada tecnología es diferente y cada una tiene sus puntos débiles y fuertes. Es posible que en un futuro no muy lejano, muchos dominios de trabajo incorporarán sistemas que soporten módulos de pre y postprocesamiento, en serie o en paralelo, con BB.DD, SS.EE, RR.NN.AA y algoritmos genéticos, generalizándose la utilización de este tipo de sistemas.

El SH desarrollado se centra en los estudios previos de EIA, utilizados fundamentalmente para trabajos ligados a planificación y ordenación del territorio -trazado de autopistas, ferrocarril, líneas eléctricas de alta tensión, oleoductos y gaseoductos, aeropuertos, canales, etc.-. En especial, está enfocado hacia la localización de usos en el territorio, pero sin llegar a una evaluación profunda de los impactos, aspecto que se podrá tratar con la inclusión de futuros módulos.

Además, se podrán incorporar técnicas que puedan operar con macromagnitudes; fotogramas aéreos y técnicas de teledetección, pudiendo constituirse esto en una ulterior evolución del presente trabajo de investigación, integrando al SH un procedimiento de captura y mejora de imágenes obtenidas vía satélite.

Otra posibilidad consiste en la integración de un sistema basado en coberturas, transparencias o superposiciones, que efectúa una división del territorio afectado por la totalidad del proyecto mediante el trazado de unas retículas o unidades geográficas, en cada una de las cuales se estudia un conjunto de FF.AA y se aplican unos indicadores de impacto previamente establecidos.

El desarrollo propuesto deberá facilitar la incorporación modular de todos aquellos aspectos relacionados con los sistemas conexionistas que puedan ser de interés para los futuros desarrollos. En general, la generalización de la entidad pasaría por su diversificación en diferentes entidades: reglas de aprendizaje, funciones de activación, etc.

En la aproximación utilizada, algunas de estas entidades se han codificado en un único campo a la hora de la implementación física. Además, se podrían incorporar atributos relacionados con la BD asociada a las tablas o consultas utilizadas en la generación de los conjuntos de entrenamiento, dirección de servidores remotos de BB.DD; por ejemplo, mediante la correspondiente dirección IP, etc.

# BIBLIOGRAFÍA

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## BIBLIOGRAFÍA

- [ADRI-93] Adriaanse, A.: *"Environmental Policy Performance Indicators"*. Ministry of Housing Physical Planning and the Environment. USA. 1993.
- [AI-98] AI Applications: <http://www.ets.uidaho.edu/ai/index.htm>. 1998.
- [ALJA-98] Aljack, E., Daud, M., Zohadie, M. & Azim, A.: *"EDEIA: Expert database system for environmental impact assessment"*. Second Seminar on Expert Systems for Environmental Impact Assessment. University Putra Malaysia. Selangor. Malaysia. 1998.
- [ANSI-77] ANSI. American National Standards Institute. Study Group on Database Management Systems.: *"The ANSI/X3/SPARC DBMS Framework"*. Ed. D. Tsichiritzis & A. Klug. AFIP Press. New Jersey. 1977.
- [ANSI-86] ANSI. American National Standards Institute.: *"Reference Model for DBMS Standarization"*. Report of the DAFTG of the ANSI/X3/SPARC Database Study Group. Sigmod Record, vol 15. num 1. USA. 1986.
- [BAIL-90] Bailey, D. L. & Fahey, J. L.: *"Combining neural and symbolic processing (Tutorial on Combining Neural and Symbolic Processing)"*. Third International Workshop on Neural Networks and their Applications. Nimes. Francia. 1990.
- [BALZ-80] Balzer, R., Erman, L. D., London, P. E. & Williams, C.: *"HEARSAY: A domain independent framework for expert systems"*. Proceedings AAAI. 1980.
- [BARF-93] Barfield, L.: *"The user interface: Concepts and design"*. Ed. Addison Wesley. Massachusets. 1993.
- [BARK-89] Barker, V. E. & O'Connor, D. E.: *"Expert Systems for configuration at DIGITAL: XCON and beyond"*. Communications of the ACM. vol 32. num 3. pp 298-318. 1989.
- [BENC-79] Benci, G.E., Rolland, C.: *"Bases de données. Une méthode de conception"*. Ed. SCM. París. 1979.
- [BLUM-92] Blum, A.: *"Neural Networks in C++: An Object-Oriented Framework for Building Connectionist Systems"*. Ed. Wiley. 1992.
- [BOLE-89] Bolea, E.: *"Evaluaciones de Impacto Ambiental"*. Mapfre. Madrid. 1989.

- [BOOS-88] Boose, J. & Gaines, B.: *"Knowledge Acquisition Tools for Expert Systems"*. Academic Press. 1988.
- [BROD-84] Brodie, M. L., Mylopoulos, J. & Schmidt, J. W.: *"On Conceptual Modelling. Perspectives from Artificial Intelligence, Databases, and Programming Languages"*, Ed. Springer-Verlag. New York. 1984.
- [BROD-89] Brodie, M. L., Bobrow, D., Lesser, V., Madnick, S., Tsickritzis & Hewit, C.: *"Future Artificial Intelligence Requierements for Intelligent Database Systems"*. Ed. Benjamin/Cummings. 1989.
- [BUCH-84] Buchanan, B. G. & Shortliffe, R. H.: *"Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project"*. Ed. Addison Wesley. Massachusets. 1984.
- [BUCH-92] Buckles, B. P. & Petry, F. E.: *"Genetic Algorithms"*. IEEE Computer Society Press technology series. 1992.
- [BUST-97] Bustillo Núñez, J. M.: *"Presa de Sobrón y obras en la Carretera Vitoria Logroño Km. 45,200"*. Cursos de Verano Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. Ed. Universidad de Burgos. Miranda de Ebro, 1997.
- [CALD-93] Caldwell, L. K.: *"Ecología: Ciencia y Política Medioambiental"*. McGraw-Hill. 1993.
- [CARB-83] Carbonell, J. G.: *"Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience"*. Michalski et al. 1983.
- [CARD-85] Cardenas, A. F.: *"Data Base Management Systems"*. Allyn and Bacon, ACM. 1985.
- [CARS-83] Carswell, J.L. & Navathe, S.B.: *"SA-ER: A Methodology that Links Structured Analysis and Entity-Relationship Modelling for Database Design"*. Information Science. Ed. Elsevier Publishing. num 29. 1983.
- [CATT-91] Cattell, R. G.: *"Objetct Data Management: Object-Oriented and Extended Relational Database Systems"*. Ed. Addison Wesley. Massachusets. 1991.
- [CEIA-94] Commission for Environmental Impact Assessment.: *"EIA Methodology: Scoping of Alternatives. A Study Based on Ten Representative Cases"*. Ed. CEIA. Utrecht. Netherland. 1994.

- [CERI-83] Ceri, S.: *"Methodology and Tools for Data Base Design"*. Ed. Ceri. Amsterdam. 1983.
- [CHAM-76] Chamberlin, D. D.: *"Relational Database Management Systems"*. Computing Surveys. Marzo. 1976.
- [CHEN-76] Chen, P.: *"The Entity-Relationship Model-Toward a unified view of data"*. ACM Transactions on Database Systems. num 1. pp 9-36. 1976.
- [CHEN-83] Chen, P.: *"English Sentence Structure and Entity/Relationship Diagrams"*. Information Science. Ed. Elsevier Publishing. num 29. 1983.
- [CHIG-91] Chignell, M. H. & Parsaye, K.: *"Principles for Applying Intelligent Databases"*. AI Expert. vol 6, num 10. 1991.
- [CODD-71a] Codd, E. F.: *"Further Normalization of the Data Base Relational Model"*. Courant Computer Science Symposium. Data Base Systems. Ed. Prentice-Hall. 1971.
- [CODD-71b] Codd, E. F.: *"Relational Completeness of Data Base Sublanguages"*. Courant Computer Science Symposium 6. Data Base Systems. Prentice-Hall. 1971.
- [CODD-74a] Codd, E. F.: *"A Relational Model of Data for Large Shared Banks"*. Comm. of ACM. vol 13. num 6. pp 377-387. 1974.
- [CODD-74b] Codd, E. F.: *"Recent Investigations in Relational Data Base Systems"*. Information Processing. North Holland. 1974.
- [CODD-79] Codd, E. F.: *"Extending the Database Relational Model to Capture more meaning"*. ACM Transactions on Database Systems. num 4. pp 397-434. 1979.
- [CODD-82] Codd, E. F.: *"Relational Database: A Practical Foundation for Productivity"*. Comm. of ACM. num 25, pp 109-117. 1982.
- [CODD-90] Codd, E. F.: *"How Relational is your Database Management System"*. Computer World. num 14. 1990.
- [CUPE-88] Cupello, J. M. & Mischelevich, D. J.: *"Managing prototype knowledge/expert system projects"*. Comm. ACM. num 31. pp 534-550. 1988.
- [DARK-90] Darken, C. & Moody, J.: *"Note of Learning Rate Schedules for Stochastic Optimization"*. Neural Information Processing Systems. Ed. Lippmann and Moody. pp. 832-838. 1991.

- [DATE-86] Date, C.: *"Relational Databases: Selected Writings"*. Ed. Addison Wesley. Massachusets. 1986.
- [DATE-94] Date, C.: *"A Guide to the SQL Standard"*. Reading. Addison-Wesley. pp. 174. 1994.
- [DEAN-87] Dean, T.: *"Large-Scale Temporal Data Bases for Planning in Complex Domains"*. IJCAI87. pp 860-866. 1987.
- [DIAP-89] Diaper, D.: *"Knowledge elicitation. Principles techniques and applications"*. Ellis Horwood. 1989.
- [DIET-81] Dietterich, T. G. & Michalski, R. S.: *"Inductive learning of structural description: Evaluation criteria and comparative review of selected methods"*. Proceedings IJCAI. 1981.
- [DUDA-78] Duda, R., Hart, P. E., Nilsson, N. J., Barrett, P., Gaschnig, J. G., Konolige, K., Reboh, R. & Slocum, J.: *"Prospector consultation system for mineral exploration"*. Report Stanford Research Institute. Stanford University. Stanford. CA. 1978.
- [DUDA-84] Duda, R. & Reboh, R.: *"AI and decision making: the Prospector experience"*. Norwood. NJ. 1984.
- [DUMA-93] Duma, J. & Redisk, J.: *"A practical guide to usability testing"*. Norwood. NJ. 1993.
- [DURE-91] Durell, W.R.: *"Dealing with Database Environment"*. Related. Ukoug. num 1. 1990.
- [EATO-92] Eaton, H. & Tracy, O.: *"Learning Coefficient Dependence on Training Set Size"*. Neural Networks. vol. 5, pp. 283-288. 1992.
- [ECAN-98] ECANSE: <http://www.siemens.at/~ecanse/ecanse.html>. 1998.
- [EBER-90] Eberhart, R. C. & Dobbins, R. W.: *"Neural Networks Tools. A Practical Guide"*. Academic Press. San Diego. CA. 1990.
- [ECSE-94] European Commision for Strategic Environmental Assessment: *"Existing Methodology"*. Brussels. Belgium. 1994.
- [ELMA-88] Elman, J. L.: *"Finding structure in time"*. Technical report 8801. Center for Research in Language. University of California. 1988.

- [ELMA-89] Elman, J. L.: "*Structured representations and connectionist models*". Proceedings of the 11th Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale. NJ. pp 17-23. 1989.
- [ELMA-94] Elmasri, R. & Navathe, S. B.: "*Fundamentals of Database Systems*". Ed. Benjamin/Cummings. 1994.
- [ENVI-95] Environmental Protection Agency of USA.: "*Life-Cycle Assessment: Public Data Sources for the LCA Practitioner*". EPA530/R-95/009. Washington DC. 1995.
- [ERMA-80] Erman, L. D., Hayes-Roth, F., Lesser, V. & Reddy, D.: "*The HERSAY II speech understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty*". Computing Surveys. num 12. pp 213-253. 1980.
- [ERMA-81] Erman, L. D., London, P. E. & Fickas, S. F.: "*The design and an example use of HEARSAY III*". Proceedings IJCAI. 1981.
- [EVER-95] Evers, D. P.: "*Facility Pollution Prevention Planning in Industrial Pollution Prevention Handbook*". McGraw Hill. pp 155-178. 1995.
- [FADD-94] Fadden, F.: "*Modern Database Management Systems*". Ed. Benjamin/Cummings. 1994.
- [FALM-90] Falmagne, J. C., Koppen, M., Villano, M., Doignon, J. P. & Johannesen, L.: "*Introduction to Knowledge Spaces: How to Build, Test, and Search Them*". Psychological Review. vol 97. num 2. pp 201-224. 1990.
- [FEDR-91] Fedra, K., Winkelbauer, L. & Pantulu, V.: "*Expert Systems for Environmental Screening*". International Institute for Applied Systems Analysis. Austria. 1991.
- [FEDR-94] Fedra, K. & Kubat, M.: "*A Global Change Impact Assessment System: Models and Expert Systems*". Proceeding of the 25<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing and Global Environmental Change. pp 657-668. 1994.
- [FEDR-95] Fedra, K.: "*Decision support for natural resources management: Models, GIS and Expert Systems*". AI applications. num 9. 1995.
- [FEDR-96] Fedra, K., Greppin, H., Hussy, A., Dao, C. & Kanala, R.: "*Genie: An Integrated Environmental Information and Decision Support System for Geneva. Part I: Air Quality*". Science Geneve. num 49. pp 247-263. 1996.
- [FEIG-82] Figenbaum, E. A.: "*Knowledge Engineering for the 1980's*". Computer Science Department. Stanford University. Stanford. CA. 1982.

- [FOGE-66] Fogel, L. J., Owens, A. J. & Walsh, M. J.: *"Artificial Intelligence through Simulated Evolution"*. Wiley. New York. 1966.
- [FOGE-95] Fogel, D. B.: *"Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence"*. IEEE Press. NJ. 1995.
- [FURT-86] Furtado, A.L., Neuhold, E.J.: *"Formal Techniques for Data Base Design"*. Ed. Springer-Verlag. Berlín. 1986.
- [GARC-95] García, J.: *"Environmental Assessment within the European Union: Environmental Assessment in Spain"*. EIA Centre. Department of Planning & Landscape. University of Manchester. Manchester. 1995.
- [GARY-97] Gary, W. & Hansen, J. V.: *"Diseño y Administración de Bases de Datos"*. Prentice-Hall. 2 ed. pp. 242-244. 1997.
- [GENE-82] Genesereth, M. R.: *"The role of plans in intelligent teaching systems"*. Ed. Lleman and Brown. 1982.
- [GENT-83] Gentner, D.: *"Structure-mapping: A Theoretical framework for analogy"*. Cognitive Science. num 7. pp 155-170. 1983.
- [GILO-91] Gilor, D.: *"SQL Performance: Techniques for Improvement"*. Hardcover. 1991.
- [GILP-95] Gilpin, A.: *"Environmental Impact Assessment (EIA) - Cutting edge for the twenty first century"*. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 1995.
- [GIOI-91] Gioielli, M.: *"Tuning Databases with Expert Systems"*. AI Expert. vol 6. num 10. 1991.
- [GLASS-94] Glassor, J., Therivel, R. & Chadwick, A.: *"Introduction to Environmental Impact Assessment"*. UCL Press. London, 1994.
- [GOLD-89] Goldberg, D. E.: *"Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning"*. Reading. Addison-Wesley. 1989.
- [GOME-91] Gómez, D., Aguado, J., Quintana, A., Villarino, T., Escolar, G., Herrera, M. & Bárcenas, C.: *"Impro. Un modelo informatizado para Evaluación de Impacto Ambiental"*, Ed. Agrícola Española. 1991.
- [GOME-94] Gómez, D.: *"Evaluación de Impacto Ambiental"*. Ed. Agrícola Española. 1994.

- [GOME-97] Gómez, A., Juristo, N., Montes, C. & Pazos, J.: "*Ingeniería del Conocimiento*". Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A. Madrid. 1997.
- [GONZ-93] González, A. J. & Dankel, D. D.: "*The Engineering of Knowledge-Based Systems*". Prentice Hall. 1993.
- [GOON-95] Goonatilake, S. & Khebbal, S.: "*Intelligent Hybrid Systems*". Ed. Wiley. 1995.
- [GORE-93] Gore, Al.: "*La Tierra en juego: Ecología y conciencia humana*". Ed. Emecé. Barcelona. 1993.
- [GORM-93] Gorman, M. M.: "*Database Management Systems: Understanding and Applying Database Technology*". Hardcover. 1993.
- [GROF-91] Groff, W.: "*Aplique SQL*". Ed. Mac Graw Hill. 1991.
- [GUPT-91] Gupta, A.: "*Validating and verifying knowledge-based systems*". IEEE Computer Society Press. 1991.
- [GUTK-92] Gutknecht, M.: "*The 'Postmodern Mind': Hybrid Models of Cognition*". Connection Science. vol 4, num 3 & 4. 1992.
- [HARM-85] Harmon, P. & King, D.: "*Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*". John Wiley and Sons, 1985.
- [HART-89] Hart, A.: "*Knowledge Acquisition for Expert Systems*". Ed. Kogan Page. 1989.
- [HARV-98] Harvard Library Catalog: <telnet://holis.harvard.edu>. 1998.
- [HAUG-95] Haight, D. & Ferguson, J.: "*Microsoft Jet Database Engine Programmers Guide*". Microsoft Press. 1995.
- [HAWR-84] Hawryszkiewicz, I. T.: "*Data Base Analysis and Design*". Science research Associates. Chicago. 1984.
- [HAYE-83] Hayes-Roth, F., Watermna, D. A. & Lenat, D. B.: "*Building Expert Systems*". Ed. Addison-Wesley. Massachusets. 1983.
- [HAYK-94] Haykin, S.: "*Neural Networks: A Comprehensive Foundation*". McMillan College Publishing. New York. 1994.
- [HEBB-49] Hebb., D. O.: "*The Organization Of Behavior*". Ed. John Wiley & Sons. 1949.

- [HERN-88] Hernández, C.: "*Modelos de Evaluación de Impacto Ambiental Físico*". Publicaciones Universidad de Barcelona. Barcelona. 1988.
- [HILL-90] Hillman, D. V.: "*Integrating Neural Nets and Expert Systems*". AI Expert. vol 5. num 6. pp 54-59. 1990.
- [HINT-81] Hinton, G. E.: "*Implementing semantic networks in parallel hardware*". G. E. Hinton & J. A. Anderson. Lawrence Erlbaum. pp. 161-187. NJ. 1981.
- [HOLL-75] Holland, J. H.: "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*". Ann Arbor. The University of Michigan Press. 1975.
- [HOLL-96a] Holland, J. H.: "*Sistemas Adaptativos Complejos*". Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de A Coruña, num 19, pp 259-296. 1996.
- [HOLL-96b] Holland, J. H.: "Charla informal". Curso de Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos. Facultad de Informática. Universidade da Coruña. Abril. 1996.
- [HONA-94] Honavar, V. & Uhr, L.: "*Artificial Intelligence and Neural Networks: Steps Toward Principled Integration*". New York Academic Press. New York. 1994.
- [HOPF-82] Hopfield, J. J.: "*Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities*". Proc. of Nat'l Academy of Sciences. 1982
- [HORM-83] Hormoz, M.: "*A Structural Approach to Analogy*". Technical Report 747. MIT Press. 1983.
- [HOUS-95] Houstman, M., Swami, A.: "*Set-oriented Data mining in relational databases*". Data and Knowledge Engineering. 1995.
- [HUSH-90] Hushon, J.: "*Expert Systems for Environmental Applications*". ACS Symposium 431. American Chemical Society. 1990.
- [IEEE-98a] IEEE Computer Magazine: <http://www.computer.org/computer>. 1998.
- [IEEE-98b] IEEE Computational Science & Engineering: <http://www.computer.org/cse>. 1998.
- [IEEE-98c] IEEE Expert: Intelligent Systems & thier applications: <http://www.computer.org/intelligent>. 1998.
- [IEEE-98d] IEEE Transactions on Computer: <http://www.computer.org/tc>. 1998.

- [IEEE-98e] IEEE Transactions on knowledge & Data Engineering: <http://www.computer.org/tkde>. 1998.
- [IEEE-98f] IEEE Transactions on Neural Networks: <http://opera.ieee.org/jolly>. 1998.
- [INTER-98] International Journal of Neural Systems: <http://www.ses.ele.true.nl/neural>. 1998.
- [INST-94] Institute for European Environmental Policy.: *"Strategic Environmental Assessment"*. IEEP. Londres. 1994.
- [JACK-90] Jackson, P.: *"Introduction to Expert Systems"*. Ed. Addison-Wesley. Massachusets. 1990.
- [JENN-96] Jennings, R.: *"Database Developer's with Visual Basic 4"*. Ed. Sams. 1996.
- [JORD-86] Jordan, M.: *"Serial order: a parallel distributed processing approach"*. Technical report 8604. Institute for Cognitive Science. University of California. 1986.
- [JORD-96] Jordan, M. I. & Bishop. C. M.: *"Neural Networks"*. ACM Computer. num 28. pp 73-75. 1996.
- [JOUR-98] Journal of International, European and Japanese Neural Network Society. Neural Networks. <http://cns-web.bu.edu/INNS/nn.html>. 1998.
- [KERS-83] Kersten, M. L.: *"A Conceptual Modelling Expert System"*, Information Science. Elsevier Publishing. num 29. 1983.
- [KORT-88] Korth, H. F. & Silberschatz, A.: *"Data Bases"*. McGraw-Hill. 1988.
- [KORT-91] Korth, H. F. & Silberschatz, A.: *"Database System Concepts"*. Computer Science Series. McGraw-Hill. 1991.
- [KRIS-92] Krishna, S.: *"Introduction to Database and Knowledge-Base Systems"*. World-Scientific Publishing. Singapore. 1992.
- [KROE-95] Kroenke, D.: *"Database processing Fundamentals, Design and Implementation"*. Ed. Prentice Hall. 1995.
- [KRUG-94] Kruglinski, D.: *"Inside Visual C++"*. Ed. McGraw-Hill. 1994.

- [KUNZ-94] Kunz, T.: "*An Event Abstraction Tool: Theory, Design and Results*". Technical Report TI-1/94. Institute for Theoretical Computer Science. Automata Theory and Formal Language Division. Department of Computer Science, University of Darmstadt. 1994.
- [LAKA-98] Lakai, C., Daud, M., Zohadie., M., Ramli, R. & Aziz, A.: "*Developing an expert system for noise impact assessment*". Second Seminar on Expert Systems for Environmental Impact Assessment. University Putra Malaysia. Selangor. Malaysia. pp. 89-99. 1998
- [LAKS-94] Lakshmanan, L. V.: "*Evolution of Intelligent Database Systems: A Personal Perspective*". Proc of Workshop on Incompleteness and Uncertainty in Information Systems (IUIS'93). Workshop in Computing. Springer. pp 189-208. 1994.
- [LENA-90] Lenat, D. B. & Guha, R. V.: "*Building large knowledge based systems*". Ed. Addison Wesley. Massachusets. 1990.
- [LEOP-81] Leopold, L. B., Clarke, E., Hanshaw, B. B. & Balsley, J. B.: "*A Procedure for Evaluating Environmental Impact*". USA Geological Survey Circular 645. USA Geological Survey. Washington DC. 1981.
- [LIMB-98] Limbach, S., Miller, K.: "*Neural Nets, Expert Systems and Computer Security*". <http://www.uis.edu/~mcc97/html/papers/limbach>. 1998.
- [LIPE-94] Li, P. & Peskin, R.L.: "*New search method for domain decomposition*". Mathematical Computing Simulation. vol 36. pp 457-466. 1994.
- [LLOR-88] Llorca, S. & Pascual, G.: "*Compiladores. Teoría y Construcción*". Ed. Paraninfo. 1988.
- [LORE-73] Lorenz, K.: "*Los ocho pecados mortales de la humanidad civilizada*". Plaza & Janés, S.A. 1973.
- [MAMM-91] Mammone, R. J. & Zeevi, Y.: "*Neural Networks: Theory and Applications*". Academic Press. 1991.
- [MANN-83] Mannino, M.V., Choobineh, J. & Hwang, J.J.: "*Acquisition and use of Contextual Knowledge in a form-driven Database Design Methodology*". Information Science. Elsevier Publishing. num 29. 1983.
- [MARS-76] Marstrand, P. K.: "*Ecological and Social Evaluation of Industrial Development*". Environmental Conservation. Elsevier. vol 3. num 4. 1976.

- [MART-89] Martín, F., Maojo, V. & Pazos, A.: "*SIAC, Sistema Integrado De Asistencia En Catástrofes*". Tesis Master Ingeniería de Conocimiento. Fac. Informática de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 1989.
- [MASS-98] Massachusetts Institute of Technology Library:  
<http://www.ai.mit.edu/libraries.html>. 1998.
- [MATE-88] Maté, J.L. & Pazos, J.: "*Ingeniería Del Conocimiento*". Ed. SEPA. Buenos Aires. Argentina. 1988.
- [MATL-98] Matlab Network Toolbox & Matlab Neural Networks for Control Toolkit:  
<http://www.iau.dtu.dk/research/control/nnctrl.html>. 1998.
- [McCR-89] McCracken, R. J.: "*Impact Indicators for Measuring Change in the Natural Resource Base*". US. Agency for International Development, Paper num 34. 1989.
- [McCU-43] McCulloch, W. & Pitts, W.: "*A Logical Calculus Of The Ideas Inmanent In Nervous Activity*". Bull. Mathem. Biophys. num 7. pp 115-133. 1943.
- [MCKA-90] McKay, D., Finin, T. & O'Hare, A.: "*The Intelligent Database Interface: Integrating AI and Database Systems*". Proc. of the 8<sup>th</sup> National Conference on Artificial Intelligence. MIT Press. pp 667-684. 1990.
- [MEDS-94] Medsker, L.: "*Híbrid Neural Networks and Expert Systems*". Kluwer. Boston. 1994.
- [MELL-82] Melle, W.: "*System Aids in Constructing Consultation Programs: EMYCIN*". UMI Research Press. 1982.
- [MELT-93] Melton, J. & Simon, A.: "*Understanding the New SQL: A Complete Guide*". Morgan Kaufmann. pp. 196. 1993.
- [MICR-94] Microsoft.: "*Microsoft ODBC 2.0 programmer's reference and SDK guide*". Microsoft Press. 1994.
- [MICR-95a] Microsoft.: "*Inside ODBC*". Microsoft Press. 1995.
- [MICR-95b] Microsoft.: "*Microsoft Office 95 Data Access Reference*". Microsoft Press. 1995.
- [MINS-69] Minsky, M. & Papert, S.: "*Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*". MIT Press. Cambridge. 1969.

- [MIYA-89] Miyata, Y.: "A PDP model of sequence learning that exhibits the power law". Proceedings of the 11th Conference of the Cognitive Science Society. Lawrence Erlbaum. pp 9-16. Hillsdale. NJ. 1989.
- [MONG-98] Mongkon, T., Zohadie, M. & Daud, M.: "Expert system for predicting groundwater pollution potential from the impact of agricultural activities". 36<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference. Bangkok. Thailand. 1998.
- [MORR-95] Morris, P. & Therivel, R.: "Methods of Environmental Impact Assessment". UCL Press. London. 1995.
- [MOZE-88] Mozer, M.: "A focused back-propagation algorithm for temporal pattern recognition". Technical report 88-3. Department of Psychology and Computer Science. University of Toronto. 1988.
- [NEUR-91a] Neuron Data.: "Nexpert Object ver 2.0. Application Programming Interface". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-91b] Neuron Data.: "Nexpert Object ver 2.0. Documentation Addedendum". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-91c] Neuron Data.: "Nexpert Object ver 2.0. User's Guide". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-91d] Neuron Data.: "Functional Description". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-91e] Neuron Data.: "Reference Manual". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-91f] Neuron Data.: "Database Integration Guide". Neuron Data. 1991.
- [NEUR-98a] NeuroSolutions de NeuroDimension: <http://www.nd.com/products.htm>. 1998.
- [NEUR-98b] Neural Fusion de NNMODEL:  
<http://www.neuralfusion.com/nnmodel/features.html>. 1998.
- [NEUR-98c] NeuralWorks Professional II Plus of NeuralWare:  
<http://www.neuralware.com/prod02.htm>. 1998.
- [NORM-98] Normativa Galega sobre Medio Ambiente.  
<http://www.xunta.es/adm/guia/0305/pr963a1.htm>. 1998.
- [NYGA-86] Nygaard, K.: "Basic Concepts in Object Oriented Programming". ACM Sigplan Notices. num 21. pp 128-132. 1986.

- [OGDS-90] Open Group Developer's Specification. "*Indexed Sequential Access Method (ISAM)*". OGDS. 1990.
- [OLEA-90] O'Leary, T.J., Goul, M., Moffitt, K.E., Essam Radwam, A.: "*Validating Expert Systems*". IEEE Expert. vol 5. num 2. pp. 51-58. 1990.
- [OLSE-92] Olsen, D.: "*User interface management systems: Models and algorithms*". Ed. Morgan Kaufmann. 1992.
- [ONEI-94] O'Neil, Patrick.: "*Database: Principles, Programming and Performance*". Ed. Morgan Kaufmann. 1994.
- [ORGA-92] Organización de las Naciones Unidas: "*Earth Summit '92*". UN Conference on Environment and Development. Regency Press. London. 1993.
- [ORTO-95] Ortolano, L.: "*Environmental Impact Assessment: Social and Environmental Impact Assessment*". Ed. Wiley. 1995.
- [PARS-90] Parsaye, K., Chignell, M., Khoshafian, S. & Wong, H., "*Intelligent Databases*". AI Expert. vol 5. num 3. pp 38-47. 1990.
- [PART-91] Partridge, D.: "*A New Guide to Artificial Intelligence*". Ablex Publishing Corporation. Norwood. NJ. 1991.
- [PAZO-93] Pazos, A., Santos del Riego, A., Rivas-Feal, A., Maojo, V. & Segovia, J.: "*EEIE: An Expert System for Environmental Impact Evaluation*". Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. San Diego. vol 2. pp 632-633. 1993.
- [PAZO-94a] Pazos, A.: "Perspectiva Conexionista de la Inteligencia Artificial en Medicina". Fundación Alfredo Brañas. Colección Informática N°. 3. Santiago de Compostela. 1994.
- [PAZO-94b] Pazos, A., Santos del Riego, A. & Dorado, J.: "*Linking of an Artificial Neural Network with the EEIE Expert System to Identify Environmental Impacts*". Proceedings of the World Congress on Neural Networks. San Diego. 1994.
- [PAZO-94c] Pazos, A., Santos del Riego, A. & Dorado, J.: "*The Evaluations of Environmental Impact: Cooperative Systems*". Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks. Ed. Spring-Verlag. vol 1. pp 288-291. 1994.
- [PAZO-95] Pazos, A. & Santos del Riego, A.: "*EEIE. Prototipo de Sistema Experto para la Evaluación del Impacto Ambiental*". Technical Report num. 18. Departamendo de Computación. Facultad de Informática. Universidad de A Coruña. A Coruña. 1995.

- [PAZO-96a] Pazos, A.: *"Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos"*. Colección: Cursos, Congresos y Simposios. Servicio de Publicaciones. Universidade da Coruña. 1996.
- [PAZO-96b] Pazos, A., Dorado, J. & Santos, A.: *"Detection of Patterns in Radiographs using ANN Designed and Trained with GA"*. Proceedings of the First Annual Conference. Stanford University. pp. 432. 1996.
- [PAZO-98] Pazos, A., Dorado, J., Santos, A., Rabuñal, J. R. & Pedreira, N.: *"Algoritmos Genéticos para el entrenamiento de Redes de Neuronas Artificiales Recurrentes con Activaciones Temporales"*. Inteligencia Artificial. Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA). Monografía Computación Evolutiva. n. 5. pp 26-31. 1998.
- [PETZ-92] Petzold, C.: *"Programación en Windows"*. Anaya. 1992.
- [PRAT-94] Pratt, P.: *"Database Systems Management and Design"*. Ed. Boyd & Fraser. 1994.
- [PRER-90] Prerau, D. S.: *"Developing and Managing Expert Systems"*. Addison Wesley. pp. 97-137. 1990.
- [PUER-94] Puerta, A. R.: *"Como desarrollar sistemas inteligentes para uso clínico desde entornos académicos: Análisis de un caso práctico"*. Colección Informática: Inteligencia Artificial en Medicina. Fundación Alfredo Brañas. Santiago de Compostela. num 3. 1994.
- [REBO-81] Reboh, R.: *"Knowledge engineering techniques and tools in the prospector environment"*. Stanford Research Institute. Stanford Research Technical num 243. Stanford. CA. 1981.
- [REMM-97] Remmert, H.: *"Ecología: Autoecología de poblaciones y estudio de ecosistemas"*. Ed. Blume Ecología. Madrid. 1995.
- [RIOS-91] Ríos, J., Brisaboa, N. R., Pazos, A. & Caridad, S.: *"Estructura, Dinámica y Aplicaciones de las Redes de Neuronas Artificiales"*. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. 1991.
- [RISC-88] Rischk, T., Reboh, R., Hart, E. & Duda, R.: *"A functional approach to integrating database and expert systems"*. Communications ACM. num 31. pp 1424-1437. 1988.

- [ROB-95] Rob, C.: *"Database Systems: Design, Implementation and Management"*. Ed. Wadsworth. 1995.
- [ROLL-88] Rolland, C., Foucaut, O. & Benci, G.: *"Conception des systemes d'information, La méthode Remora"*. Eyrolles. Francia. 1988.
- [ROMA-96] Roman, S.: *"Concepts of Object-Oriented Programming with Visual Basic"*. Ed. Springer-Verlag. 1996.
- [ROSE-62] Rosenblatt, R.: *"Principles of Neurodynamics"*. Spart. Books. New York. 1962.
- [RUME-86] Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. & PDP Research Group.: *"Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition"*. MIT Press. Cambridge. Massachusets. 1986.
- [RUME-89] Rumelhart, D. E.: *"The architecture of mind: a connectionist approach"*. MI Posner. Foundations of Cognitive Science. MIT Press. Cambridge. pp. 133-159. Massachusets. 1989.
- [RUME-94] Rumelhart, D. E., Widrow, B. & Lehr, M. A.: *"The basic ideas in neural networks"*. Comm. ACM. num 37. pp 87-92. 1994.
- [SALE-93] Salem, A.: *"Temporal aspects in data mining"*. Technical Report. Department of Computer Science. University of Birmingham. 1993.
- [SALO-90] Salomon, R.: *"Improved convergence rate of backpropagation with dynamic adaption of the learning rate"*. Lectures Notes in Computer Science. Dortmund. pp. 269-273. 1990.
- [SANT-96] Santos, A. & Castro, V.: *"Redes de Neuronas Artificiales: Reglas de Aprendizaje"*. Redes de Neuronas Artificiales y Algoritmos Genéticos. Servicio de Publicaciones de la Universidad de A Coruña, num 19, pp 7-28. 1996.
- [SCHI-93a] Schiffmann, M., Joost, M. & Werner, R.: *"Application of Genetic Algorithms to the Construction of Topologies for Multilayer Perceptrons"*. Proc. of Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms, Innsbruck. pp. 675-682. 1993.
- [SCHI-93b] Schiffmann, M., Joost, M. & Werner, R.: *"Comparison of Optimized Backpropagation Algorithms"*. European Symposium on Artificial Neural Networks. Bruselas. Bélgica. 1993.
- [SCHK-79] Schkolnick, P. & Tiberio, P.: *"Considerations in Developing a Design Tool for a Relational DBMS"*. Proc. IEEE COMPSAC'79. 1979.

- [SCHL-73] Schlesinger, B. & Daets, D.: "*A conceptual framework for applying environmental assessment matrix techniques*". Journal of Environmental Science. num 16. pp 11-16. 1973.
- [SECR-95] Secretaría Xeral para a Protección Civil e o Medio Ambiente: "*Normativa Estatal e Galega sobre Medio Ambiente*". Santiago de Compostela, 1995.
- [SENG-98] Seng, F., Daud, M., Zohadie, M. & Amin, M.: "*Expert system for soil erosion*". Second Seminar on Expert Systems for Environmental Impact Assessment. University Putra Malaysia. Selangor. Malaysia. pp. 100-108. 1998.
- [SERV-88] Servan-Schreiber, D., Cleermans, A. & McClelland, J. L.: "*Encoding sequential structure in simple recurrent networks*". Technical report 88-183. Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University. 1988.
- [SHAN-63] Shannon, C. E.: "*The mathematical theory of communication*". Urban University of Illinois Press. 1963.
- [SHAR-92] Sharkey, N. E.: "*Artificial Intelligence and Cognitive Research*". Connection Science. Journal of Neural Computing. Carfax Publishing Company. pp. 339-354. 1992.
- [SHAS-84] Shastri, L., Feldman, J. A.: "*Semantic networks and neural nets*". Technical report 131. Department of Computer Science. University of Rochester. 1984.
- [SHOH-88] Shoham, Y.: "*Time for Action: On the Relation between Time, Knowledge and Action*". Technical Report STAN/CS-TR-88-1236. Stanford University. Department of Computer Science. Stanford. CA. 1988.
- [SHEP-87] Sheperd, A., Ortolano, L.: "*New Expert Systems in Environmental Engineering*". Journal of Computing in Civil Engineering. num. 1. pp. 298-302. 1987.
- [SHEP-94] Sheperd, A. & Ortolona, L.: "*Critiquing Expert Systems for Planning and Management*". Computers, Environment and Urban Systems. num. 18, pp. 305-314. 1994.
- [SILV-90] Silva, F. M. & Almeida, L. B.: "*Speeding up Backpropagation*". Advanced Neural Computers. Ed. Eckmiller. pp. 151-158. 1990.
- [SMIT-77] Smith, J.M., Smith, D.C.: "*Database abstractions: Aggregation and generalization*". ACM TODS 2. 1977.

- [SMIT-89a] Smith, P. J., Shute, S. J., Galdes, D. & Ghignell, M. H.: "*In Search of Knowledge-Based Tactics*". XII International Conference on Development in Information Retrieval. 1989.
- [SMIT-89b] Smith, P. J., Shute, S. J., Galdes, D. & Ghignell, M. H.: "*Knowledge-Based Search Tactics for an Intelligent Intermediary System*". ACM Transaction on Informatic System. vol 7. num 3. 1989.
- [SMOL-87] Smolensky, P.: "On variable binding and the representation of symbolic structures in connectionist systems". Technical report 355-87. Department of Computer Science. University of Colorado at Boulder. 1987.
- [SMOL-88] Smolensky, P.: "*On the proper treatment of connectionist*". The Behavioral and Brain Sciences. num 11. pp 1-74. 1988.
- [SNNS-98] SNNS of Sturgart Neural Network Simulator:  
<http://www.informatik.uni-stuttgart.de/ipvr/bv/projekte/snns/snns.html>. 1998.
- [SOMM-88] Sommerville, I.: "*Ingeniería del Software*". Ed. Addison-Wesley. México, 1988.
- [SPSS-98] SPSS Neural Connection 2:  
<http://www.spss.com/software/Neuro/nc2info.html>. 1998.
- [STON-75] Stonebraker, M.: "*Implementation of integrity constraints and view by query modification*". Proc. ACM-SIGMOD 75. 1975.
- [STON-91] Stonebraker, M.: "*On rules, procedures, caching and views in database systems*". Proc. ACM-SIGMOD 1990. Conf. On Management of Data. Atlantic City. NJ. 1990.
- [STRA-92] Strachan, P. & Guy, A.: "*Normalisation on Parameters Identification Methods*". Workshop on Parameter Identification. CEC Joint Research Centre, pp 231-235. Ispra. 1992.
- [STYL-92] Stylianou, A. C., Madey, G. R. & Smith, R. D.: "*Selection criteria for expert system shells: a socio-technical framework*". Comm. ACM. num 35. pp 30-48. 1992.
- [SUN-95] Sun, R. & Bookman, L.: "*Computational Architectures Integrating Neural and Symbolic Processes*". Kluwer. New York. 1995.
- [TEOR-94] Teorey, T. J.: "*Database Modeling and Design: The Fundamental Principles*". Morgan Kaufman. 1994.

- [TOLL-94] Tolle, D. A., Salem, M. A., Becker, J. R., Vigon, K. & Cembrola, R.: *"Development and Assessment of a Pre-LCA Tool"*. Proc. of International Symposium on Electronics and the Environment. pp 201-206. San Francisco. 1994.
- [TOUR-86] Touretzky, D. S.: *"BoltzCONS: reconciling of the Cognitive Science Society"*. Lawrence Erlbaum, pp 522-530. Hillsdale. NJ. 1986.
- [TOUR-88] Touretzky, D. S. & Hinton, G. E.: *"A distributed connectionist production system"*. Cognitive Science. num 12. pp 423-466. 1988.
- [TRAU-91] Trausan-Matu, Tepandi, J. & Barbuceanu, M.: *"Validation, Verification and Testing of Object-Oriented Programs: Methods and Tools"*. Proc of the 1<sup>st</sup> East European Conference on Object Oriented Programming. pp 62-71. 1991.
- [TRAJ-98] Trajan: <http://www.trajan-software.demon.co.uk/commerce.htm>. 1998.
- [TREW-96] Treweek, J.: *"Ecology and Environmental Impact Assessment"*. Journal of Applied Ecology. num 33. 1996.
- [TURN-93] Turney, P.: *"Robust Classification with Context-Sensitive Features"*. Proceedings of the Sixth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-93). pp 268-276. 1993.
- [UDEL-92] Udell, J.: *"Microsoft's Windows Database: Microsoft Access the happy union of SQL and Visual Basic"*. Byte, num 17, 1992.
- [VERH-94] Verheyen, A.: *"Methodology, Focalisation, Evaluation and Scope of Environmental Impact Assessment"*. Seventh Workshop NATO/CCMS. 1994.
- [VIGO-95] Vigon, B. W.: *"Life-Cycle Assessment in Industrial Pollution Prevention Handbook"*. Ed. McGraw-Hill. pp 293-312. 1995.
- [VIGO-96] Vigon, B. W.: *"Software Systems and Databases in Life-Cycle Assessment"*. Ed. McGraw-Hill. 1996.
- [VOGE-97] Vogel, P.: *"Using object variables without tears inside Visual Basic"*. Ed. Cobb Group. 1997.
- [WANN-90] Wann, D.: *"Biologic: Environmental Protection by Design"*, Ed. Johnson Books. Colorado. 1990.

- [WATE-86] Waterman, D. A.: *"A Guide to Expert Systems"*. Ed. Addison-Wesley. Massachusetts. 1986.
- [WATH-88] Wathern, P.: *"An introductory guide to EIA: Theory and Practice"*. Ed. Unwin Hyman. 1988.
- [WERB-74] Werbos, P.: *"Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences"*. Department fo Applied Mathematics. Harvard University. Cambridge. 1974.
- [WIEL-88] Wielinga, B. J., Bredweg, B. & Breuker, J. A.: *"Knowledge Acquisition for Expert Systems"*. Notes in Computer Science. Ed. Springer-Verlag. num. 345. 1988.
- [WILL-95] Willson, S. & Johnson, H.: *"User Participation in Task-Based Design"*. CHI'95 Research Symposium. 1995.
- [WORL-93] World Bank.: *"Environmental Assessment. World Bank Operational Manual"*. Operational Policy 4.01. 1993.
- [WRIG-93] Wright, J., Wiggins, L., Jain, R. & Kim, T.: *"Expert Systems in Environmental Planning"*. Ed. Sping-Verlag. 1993.
- [YAO-92] Yao, X.: *"A Review of Evolutionary Artificial Neural Networks"*. Technical Report Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. 1992.
- [YOUN-93] Young, M.: *"Microsoft Visual C++ Runtime Library Reference"*. Microsoft Press. 1993.

# ANEXOS

---

*Desarrollo de una Metodología e Implementación de un Sistema Basado en el Conocimiento de Filosofía Híbrida. Una Aplicación para la Evaluación de Impacto Ambiental*

## **ANEXO 1.- ACCIONES Y PROYECTOS QUE REQUIEREN EIA**

- **Acciones.**
  - Elaboración y puesta en marcha de un plan energético nacional.
  - Elaboración y promulgación de leyes en materia de protección ambiental.
  - Imposición de medidas correctoras (equipos de depuración, utilización de combustibles limpios, reciclado de materiales, etc.) a determinadas industrias, según el sector, la localización, el volumen de producción y la tecnología utilizada.
  - Implantación de determinadas industrias (papeleras, siderurgia, metalurgia no ferrosa, etc.) en ciertas zonas en virtud de la utilización de recursos naturales.
  - Proyectos globales de desarrollo regional.
  
- **Proyectos de desarrollo urbano, planes territoriales y de gestión de recursos naturales.**
  - Localización de nuevas ciudades.
  - Extensión de áreas urbanas.
  - Trazado de ferrocarriles.
  - Trazado de autopistas y carreteras.
  - Trazado de líneas eléctricas de alta tensión.
  - Trazado de oleoductos y gasoductos.
  - Aeropuertos.
  - Áreas de montaña.
  - Turismo.
  - Parques nacionales y zonas recreativas.
  
- **Proyectos de desarrollo agrario.**
  - Nuevos regadíos.
  - Desarrollo ganadero de una zona.
  - Desarrollo agrícola de una zona.
  - Repoblación forestal.
  
- **Proyectos de desarrollo industrial. Clasificación según sectores productivos:**

- Industrias de la energía.
  - ⇒ Centrales térmicas convencionales (de carbón y fuel-oil).
  - ⇒ Centrales térmicas nucleares.
  - ⇒ Fábricas de gas manufacturado.
  - ⇒ Destilación en seco de carbones y maderas.
  - ⇒ Refinerías de petróleo.
  - ⇒ Extracción de petróleo.
  
- Minería.
  - ⇒ Tostación, calcinación, aglomeración y sintetización de minerales.
  
- Siderurgia y fundición.
  - ⇒ Siderurgia integral.
  - ⇒ Aglomeración de minerales.
  - ⇒ Parque de minerales.
  - ⇒ Producción de arrabio en hornos altos.
  - ⇒ Baterías de coque en las plantas siderúrgicas y fundiciones.
  - ⇒ Acerías de oxígeno (incluidos los procesos LD, LDAC, KALDO y similares).
  - ⇒ Fabricación y afinado de acero en convertidor con inyección de aire, con o sin oxígeno, incluidos los convertidores Bessemer.
  - ⇒ Fabricación de acero en hornos de arco eléctrico.
  
- Metalurgia no ferrosa.
  - ⇒ Producción de aluminio.
  - ⇒ Producción de plomo en horno de cuba.
  - ⇒ Refino de plomo.
  - ⇒ Producción de plomo de segunda fusión.
  - ⇒ Producción de zinc por reducción de minerales y por destilación.
  - ⇒ Producción de cobre bruto o negro en horno de cuba, horno de reverbero u horno rotativo.
  - ⇒ Producción de cobre en horno de Anodos.

- ⇒ Producción de antimonio, cadmio, cromo, magnesio, manganeso, estaño y mercurio.
- ⇒ Producción de metales y aleaciones por electrólisis.
- Industrias químicas y conexas.
  - ⇒ Abonos: Producción de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.
- Industria inorgánica de base e intermedia.
  - ⇒ Fabricación de gases para síntesis química.
  - ⇒ Producción de halógenos y sus hidrácidos.
  - ⇒ Producción de fluoruros. Producción de cloruros, oxiclорuros y sulfuros de carbono, azufre y fósforo.
  - ⇒ Producción de azufre y sus ácidos y tratamiento de sulfuros minerales.
  - ⇒ Producción de ácido nítrico y fosfórico.
  - ⇒ Producción de fósforo.
  - ⇒ Producción de arsénico y sus compuestos.
  - ⇒ Producción y utilización de ácido cianhídrico, sus sales y derivados.
  - ⇒ Producción de carburos metálicos.
- Industria orgánica de base e intermedia.
  - ⇒ Producción de hidrocarburos alifáticos.
  - ⇒ Producción de hidrocarburos aromáticos.
  - ⇒ Producción de derivados orgánicos de azufre, cloro, plomo y mercurio.
  - ⇒ Producción de acrilonitrilo.
  - ⇒ Producción de coque de petróleo.
  - ⇒ Producción de betún, brea y asfalto de petróleo.
  - ⇒ Fabricación de grafito artificial para electrodos.
- Pigmentos.
  - ⇒ Producción de negro de humo.
  - ⇒ Producción de bióxido de titanio.
  - ⇒ Producción de óxido de zinc.

- Pastas de papel y papel.
  - ⇒ Fabricación de celulosa y pastas de papel.
  
- Industria textil.
  
- Industria alimentaria.
  - ⇒ Cervecerías y malterías.
  - ⇒ Azucareras.
  - ⇒ Conservas vegetales.
  - ⇒ Conservas de pescados y mariscos.
  - ⇒ Conservas cárnicas.
  - ⇒ Producción de harina de pescado y extracción y tratamiento del aceite de pescado.
  - ⇒ Industrias lácteas.
  
- Industrias de la madera y corcho.
- Industria de la piel, cuero y calzado.
- Industria del café, cacao y tabaco.
  
- Industria de materiales para la construcción.
  - ⇒ Fabricación de “clinker” y de cemento.
  - ⇒ Fabricación de cal y yeso.
  - ⇒ Calcinación de la dolomita.
  - ⇒ Fabricación de lana de roca y otras lanas minerales.
  - ⇒ Fabricación de aglomerados asfálticos.
  
- Industrias fabriles y actividades diversas.
  - ⇒ Plantas de recuperación de metales por combustión de desperdicios.
  - ⇒ Incineración de residuos industriales.
  - ⇒ Incineración de residuos sólidos urbanos.
  - ⇒ Plantas de tratamiento de residuos urbanos.

- ⇒ Vertederos de basuras.
- ⇒ Plantas de compostaje.
- ⇒ Plantas de galvanizado y tratamiento de superficies.
- ⇒ Almacenamiento y manipulación de minerales y materiales pulverulentos a granel y a la intemperie en zonas portuarias.
  
- Actividades agrícolas y agroindustriales.
  - ⇒ Establos para más de 100 cabezas de ganado bovino.
  - ⇒ Granjas para más de 1000 cerdos o 10000 aves.
  - ⇒ Mataderos y talleres de descuartizamiento de animales.
  - ⇒ Tratamiento de cuerpos, materias y despojos de animales en estado fresco con vistas a la extracción de cuerpos grasos.
  - ⇒ Estercoleros.
  - ⇒ Fabricación de piensos y procesado de cereales en grano.
  - ⇒ Secado de piensos en verde en instalaciones industriales.
  
- Otras actividades.

## ANEXO 2.- CLASIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES

- Factores correspondientes al impacto geobiofísico.
  - Contaminación atmosférica.
    - ⇒ Contaminación y características de la atmósfera.
    - ⇒ Partículas sólidas.
    - ⇒ Gases.
    - ⇒ Vapores.
    - ⇒ Humos.
    - ⇒ Aerosoles.
    - ⇒ Sustancias malolientes.
    - ⇒ Alteración del microclima.
  - Contaminación de las aguas (continentales, subterráneas y marítimas).
    - ⇒ Factores que afectan a la cantidad:
      - Caudal.
      - Variaciones de flujo.
    - ⇒ Factores que afectan a la calidad:
      - Físicos.
      - Temperatura.
      - Turbidez.
      - Densidad.
      - Viscosidad.
      - Tensión superficial.
      - Sólidos disueltos y en suspensión.
      - Caracteres organolépticos (color, olor, etc.).
    - ⇒ Químicos inorgánicos.
      - Oxígeno.
      - pH (Hidrógeno).
      - Nitrógeno.
      - Fósforo.
      - Metales alcalinos.

- Metales alcalinotérreos.
- Azufre.
- Halógenos.
- Carbono inorgánico.
- Sílice.
- Metales pesados.
- ⇒ Químicos orgánicos.
  - Biodegradables: hidratos de carbono, grasas y proteínas.
  - No-biodegradables: pesticidas, algunos detergentes, hidrocarburos y productos petroquímicos.
- ⇒ Biológicos.
  - Organismos patógenos.
  - Organismos eutrofizantes.
- Suelo.
  - ⇒ Erosión.
  - ⇒ Deposición.
  - ⇒ Sedimentación.
  - ⇒ Contaminación por residuos sólidos, líquidos o gaseosos.
  - ⇒ Alteración de la cubierta vegetal.
  - ⇒ Otros.
- Sustancias radioactivas.
  - ⇒ Ruido.
    - Ruidos que pueden molestar el desarrollo normal de la convivencia o producir daños fisiológicos o psicológicos en los hombres y, o, animales.
  - ⇒ Ecosistema.
    - Alteraciones en el ecosistema, especialmente en su biocenosis (flora y fauna).
- Factores correspondientes al impacto socioeconómico.
  - ⇒ Territorio.
    - Uso inadecuado del territorio y de los recursos naturales.
    - Cambios y modificaciones en el uso del territorio.

- Sustracción del territorio y, o, de los recursos naturales para otras alternativas de uso.
- Expropiaciones de terrenos.
- ⇒ Alteración del paisaje.
  - Destrucción o alteración del paisaje.
  - Destrucción de sistemas naturales.
- ⇒ Aspectos socioculturales.
  - Destrucción o alteración de la calidad de vida existente en cuanto a consideración de aspectos culturales, históricos, etc.
  - Molestias debidas a congestión urbana y tráfico.
  - Alteración de los sistemas o estilos de vida.
  - Tendencia de la variación de la población. Demografía.
  - Empleos que pueden generarse en la zona durante la construcción del proyecto.
  - Empleos fijos que pueden generarse en la zona durante el funcionamiento del proyecto.
  - Variaciones en el valor de los terrenos, como consecuencia del proyecto.
  - Incrementos económicos de actividades comerciales, servicios, etc., durante la construcción y, después, durante el funcionamiento del proyecto.
  - Lugares histórico-artísticos que pueden quedar afectados.
  - Vivienda.
  - Infraestructura sanitaria.
  - Servicios comunitarios y equipamiento urbano.

### ANEXO 3.- DISEÑO, NORMALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA BDR.

Para la modelización de los proyectos de las EIA, entidad PROYECTOS\_EIA, se necesitan los siguientes atributos:

- COD\_PRO\_EIA Código del proyecto.
- NOM\_PRO\_EIA Descripción del proyecto.
- FRE\_PRO\_EIA Frecuencia de utilización del proyecto.
- COD\_SEC\_EIA Código del sector al que pertenece el proyecto.
- NOM\_SEC\_EIA Descripción del sector.

Esta entidad no está en tercera forma normal (3FN en adelante), ya que NOM\_SEC\_EIA depende de COD\_SEC\_EIA y no de COD\_PRO\_EIA, existiendo dependencias transitivas. Para solucionar esto, se divide la entidad en dos partes, SECTORES\_EIA y PROYECTOS\_EIA, unidas mediante la relación SEC\_PRO, que es del tipo 1 a N de SECTORES\_EIA a PROYECTOS\_EIA. Según esto, se obtiene el esquema de la figura A.3.1.

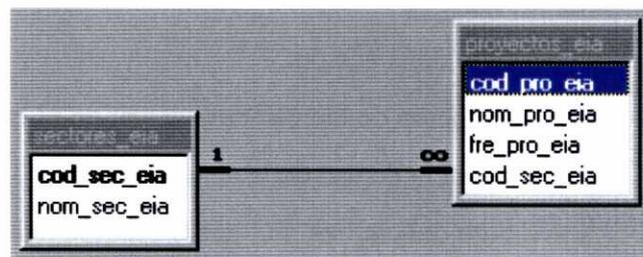


Figura A.3.1.- Modelización sectores-proyectos.

Para la representación de las claves se ha definido la siguiente nomenclatura:

- Clave primaria.
- Clave foránea.

El paso al modelo relacional define las tablas de las figuras A.3.2 y A.3.3.

sectores_eia : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_sec_eia	Numérico
	nom_sec_eia	Texto

*Figura A.3.2.- Tabla de sectores.*

proyectos_eia : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_pro_eia	Numérico
	nom_pro_eia	Texto
	fre_pro_eia	Numérico
F	cod_sec_eia	Numérico

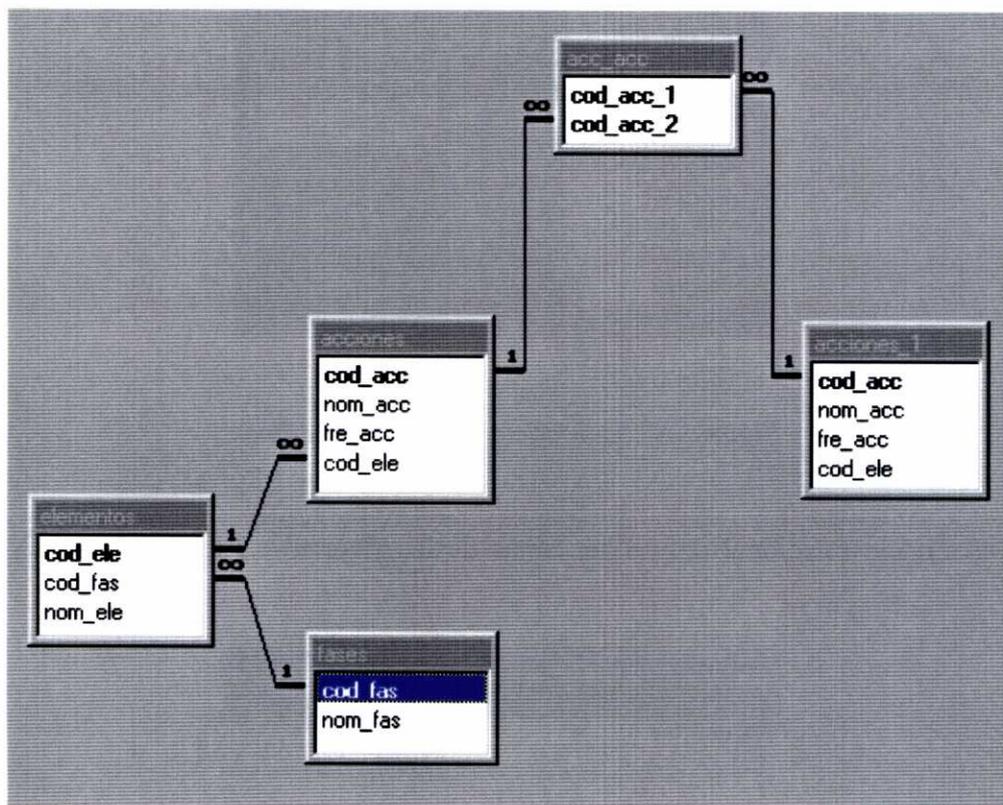
*Figura A.3.3.- Tabla de proyectos.*

Dentro de cada proyecto sobre el que se desea desarrollar un estudio de impacto, se puede hacer una división de las fases de actuación, las cuales se dividen en elementos que darán lugar a las acciones individuales. Por tanto, para la modelización de dichas acciones, entidad ACCIONES, se necesitan los siguientes atributos:

- COD\_ACC                      Código de la acción.
- NOM\_ACC                      Descripción de la acción a evaluar en el cruce.
- FRE\_ACC                      Frecuencia de uso de la acción.
- COD\_ELE                      Código del elemento al que pertenece la acción.
- NOM\_ELE                      Descripción del elemento.
- COD\_FAS                      Código de la fase a la que pertenece el elemento.
- NOM\_FAS                      Descripción de la fase.

Al igual que en el caso de los proyectos, es necesario normalizar, ya que no está en 3FN al existir dependencias transitivas. NOM\_ELE depende de COD\_ELE y NOM\_FAS depende de COD\_FAS.

Para empezar, se divide la entidad en tres partes, FASES, ELEMENTOS y ACCIONES, de forma que se eliminen las dependencias transitivas, tal y como puede observarse en el modelo de la figura A.3.4.



*Figura A.3.4.- Modelo fases-elementos-acciones.*

Como se puede observar, existe una relación de la entidad ACCIONES consigo misma (ACC\_ACC), representada por las entidades ACCIONES y ACCIONES\_1 que hacen referencia a la misma entidad lógica. Esta autorelación surge por la necesidad ya comentada de representar la situación de que una acción pueda sugerir la existencia de otras acciones relacionadas. Este tipo de relaciones no es posible en el modelo ER clásico, ya que no permite relaciones de relaciones. Para solucionar esto, hay que remitirse al modelo ER extendido, que las permite, puesto que haciéndolo de otra forma se complicaría demasiado la BDR. Además, entre ACCIONES y PROYECTOS\_EIA, figuras A.3.1 y A.3.4, existe una relación, llamada PRO\_ACC, del tipo M-N (figura A.3.5). Esta relación es M-N ya que para cada proyecto se tienen que evaluar varias acciones y una misma acción puede participar en la evaluación de diferentes proyectos.

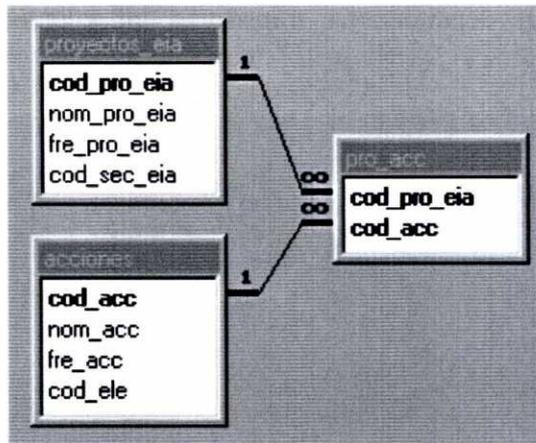


Figura A.3.5.- Modelo proyectos-acciones.

El paso al modelo relacional define las tablas de las figuras A.3.6, A.3.7, A.3.8, A.3.9 y A.3.10:

fases : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_fas	Numérico
	nom_fas	Texto

Figura A.3.6.- Tabla de fases.

elementos : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_ele	Numérico
F	cod_fas	Numérico
	nom_ele	Texto

Figura A.3.7.- Tabla de elementos.

acciones : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_acc	Numérico
	nom_acc	Texto
	fre_acc	Numérico
F	cod_ele	Numérico

Figura A.3.8.- Tabla de acciones.

acc_acc : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_acc_1	Numérico
🔑	cod_acc_2	Numérico

Figura A.3.9.- Tabla relación acciones-acciones.

pro_acc : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_pro_eia	Numérico
🔑	cod_acc	Numérico

Figura A.3.10.- Tabla relación proyectos-acciones.

La modelización de los FF.AA requiere los siguientes atributos:

- COD\_FAC\_AMB            Código del FA.
- NOM\_FAC\_AMB        Descripción del FA.
- PES\_FAC\_AMB        Peso que representa la importancia del FA en el entorno.
- FRE\_FAC              Frecuencia de uso del FA.
- COD\_COM            Código del componente del que forma parte el FA.
- NOM\_COM            Descripción del componente ambiental.
- PES\_COM            Peso que representa la importancia del componente.
- COD\_MED            Código del medio del que forma parte el componente.
- NOM\_MED            Descripción del medio.
- PES\_MED            Peso que representa la importancia del medio en el entorno.

La entidad de FA no está normalizada (3FN) ya que vuelven a existir dependencias transitivas entre atributos. El esquema normalizado, representado en la figura A.3.11, estará compuesto de tres entidades -FACTORES, COMPONENTES y MEDIO- y transformadas en las tablas de las figuras A.3.12, A.3.13 y A.3.14.

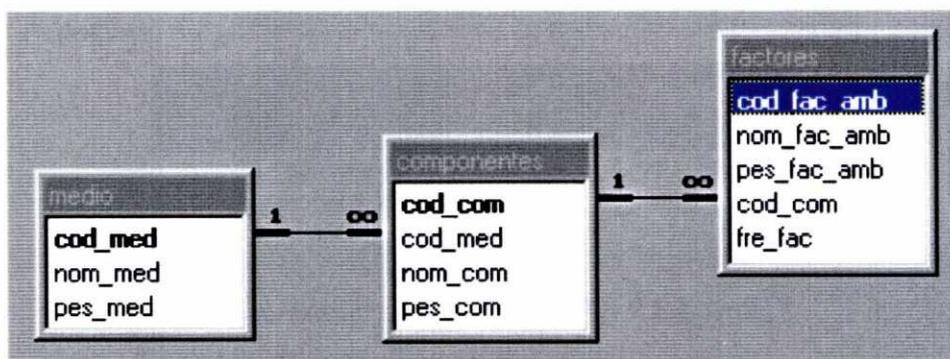


Figura A.3.11.- Modelo medio-componentes-factores.

El paso del modelo relacional a tablas define las tablas de las figuras A.3.12, A.3.13 y A.3.14.

medio : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_med	Númérico
	nom_med	Texto
	pes_med	Númérico

Figura A.3.12.- Tabla de medio.

componentes : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_com	Númérico
F	cod_med	Númérico
	nom_com	Texto
	pes_com	Númérico

Figura A.3.13.- Tabla de componentes.

factores : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_fac_amb	Númérico
	nom_fac_amb	Texto
	pes_fac_amb	Númérico
F	cod_com	Númérico
	fre_fac	Númérico

Figura A.3.14.- Tabla de FA.

Las EIA identifican cruces de impacto ambiental entre acciones y FF.AA para su posterior caracterización mediante un conjunto de parámetros.

La modelización de las características de los impactos requiere los siguientes atributos:

- COD\_CAR Código de característica.
- SIG Signo del cruce (positivo, negativo o desconocido).
- INT Intensidad del efecto.
- EXT Extensión geográfica del efecto.
- MOM Momento del efecto.
- COR Posibilidad de aplicar medidas correctoras.
- DUR Persistencia o duración del efecto.
- REV Posibilidad de reversibilidad del efecto.

Este esquema, como puede verse en la figura A.3.15, cumple las tres primeras formas normales.



*Figura A.3.15.- Modelo características.*

El modelo relacional proporciona la definición de la tabla de la figura A.3.16.

características : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
?	cod_car	Numérico
	sig	Numérico
	int	Numérico
	ext	Numérico
	mom	Numérico
	cor	Numérico
	dur	Numérico
	rev	Numérico

*Figura A.3.16.- Tabla de características.*

Los indicadores son ecuaciones que permiten obtener un valor representativo del impacto, de forma que se pueda dar a un cruce "acción-FA" un valor determinado dependiente de una serie de parámetros representativos del impacto en el entorno. El resultado de la aplicación de un indicador proporciona un valor que debe estar dentro de unos límites admisibles. A la hora de crear los indicadores se tendrán que definir las cotas dentro de las cuales debe estar el resultado del indicador; de forma que si un valor se sale de este intervalo se tomarán las medidas correctoras oportunas para que dicho valor se mantenga dentro de los intervalos de impacto legalmente permitidos. La modelización de los indicadores de impacto requiere los siguientes atributos:

- COD\_IND                      Código del indicador de impacto.
- FOR\_IND                      Ecuación que permite el cálculo del valor de indicador.
- SIT\_CRI\_SUP                Situación crítica máxima del valor del indicador.
- SIT\_CRI\_INF                Situación crítica mínima del valor del indicador.
- FRE\_IND                      Frecuencia de utilización del indicador.
- COD\_UNI                      Código de la unidad del indicador.
- DES\_UNI                      Descripción de las unidades.

Para obtener la 3FN, se dividen los atributos en dos entidades, por un lado INDICADORES y por otro las UNIDADES, obteniéndose el esquema de la figura A.3.17.

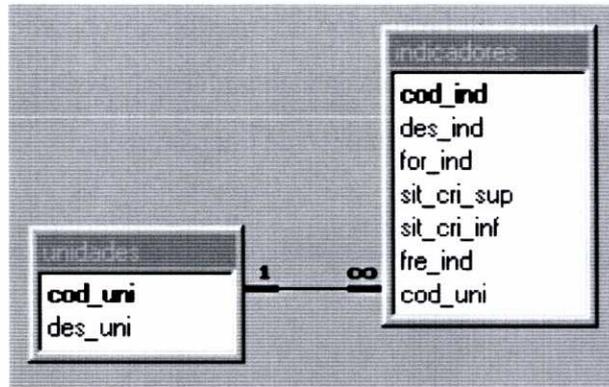


Figura A.3.17.- Modelo indicadores-unidades.

Este esquema da como resultado las tablas de las figuras A.3.18 y A.3.19.

indicadores : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_ind	Numérico
	des_ind	Texto
	for_ind	Texto
	sit_cri_sup	Numérico
	sit_cri_inf	Numérico
	fre_ind	Numérico
F	cod_uni	Numérico

Figura A.3.18.- Tabla de indicadores.

unidades : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_uni	Numérico
	des_uni	Texto

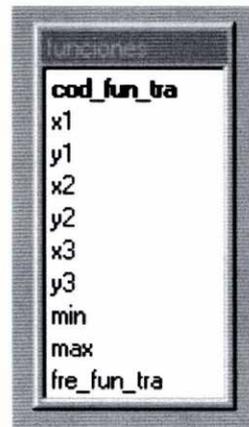
Figura A.3.19.- Tabla de unidades.

De la utilización de los indicadores, se obtiene el resultado neto del impacto producido en el entorno como la diferencia entre el impacto ambiental producido con y sin la acción. El impacto neto determinará el signo final de la importancia del impacto. Estos resultados netos representan la magnitud de los impactos, pero no son comparables entre sí. Para solucionar esto, se aplica una función de transformación que establece un índice de calidad ambiental comprendido entre 0 y 1,

a partir de la magnitud del impacto. La función de transformación debe evaluar el resultado del indicador para ver en que medida satisface la calidad ambiental. Además, se debe definir un valor de magnitud máximo y mínimo para cada función de transformación.

Para modelizar las funciones, esquema normalizado de la figura A.3.20, se necesitan los siguientes atributos:

- COD\_FUN\_TRA                    Código de la función de transformación.
- X1, Y1                            Primera coordenada de la aproximación lineal de la función de transformación.
- X2, Y2                            Segunda coordenada de la aproximación lineal de la función.
- X3, Y3                            Tercera coordenada de la aproximación lineal.
- MIN                                Valor mínimo de la magnitud.
- MAX                                Valor máximo de la magnitud.
- FRE\_FUN\_TRA                    Frecuencia de utilización de las funciones de transformación.



*Figura A.3.20.- Modelo de funciones de transformación.*

El paso al modelo relacional define la tabla de la figura A.3.21.

funciones : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_fun_tra	Numérico
	x1	Numérico
	y1	Numérico
	x2	Numérico
	y2	Numérico
	x3	Numérico
	y3	Numérico
	min	Numérico
	max	Numérico
	fre_fun_tra	Numérico

Figura A.3.21.- Tabla de funciones de transformación.

Entre INDICADORES y FUNCIONES, figuras A.3.17 y A.3.20, existe una relación (FUND\_IND) del tipo M-N (figura A.3.22).

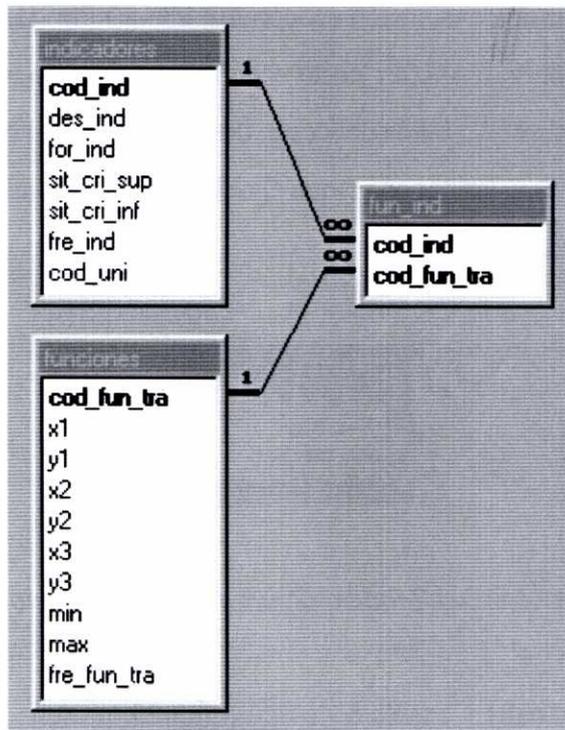


Figura A.3.22.- Modelización de los indicadores y las funciones de transformación.

El paso al modelo relacional define la tabla de la figura A.3.23.

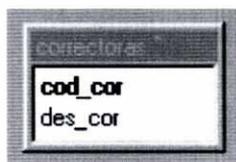
fun_ind : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_ind	Numérico
🔑	cod_fun_tra	Numérico

*Figura A.3.23.- Tabla de la relación entre indicadores y funciones de transformación.*

Los impactos pueden requerir la aplicación de medidas correctoras, ya sea por requisitos legales o por consejo medioambiental. La modelización de las medidas correctoras, figura A.3.24, requiere los siguientes atributos:

- COD\_COR                      Código de la medida correctora.
- DES\_COR                      Descripción de la medida correctora.

En el caso de querer realizar una evaluación económica, además de una EIA, sería aconsejable el introducir en esta entidad otros atributos: coste económico estimado al implementar la medida correctora, código de la unidad de medida del coste, descripción de la unidad de medida del coste, etc. No se han incorporado estos atributos ya que el objetivo del sistema no incluye el dominio de las evaluaciones económicas.



*Figura A.3.24.- Modelo de las medidas correctoras.*

El paso al modelo relacional define la tabla de la figura A.3.25.

correctoras : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_cor	Numérico
	des_cor	Texto

*Figura A.3.25.- Tabla de la relación de medidas correctoras.*

Entre INDICADORES y CORRECTORAS, figuras A.3.17 y A.3.24, existe una relación (COR\_IND) del tipo M-N (figura A.3.26).

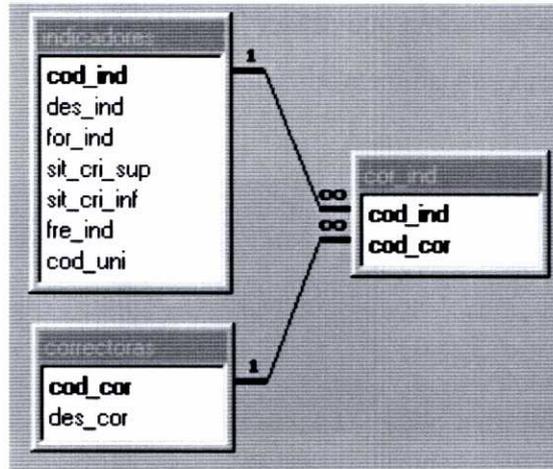


Figura A.3.26.- Modelización de los indicadores y las medidas correctoras.

El paso al modelo relacional define la tabla de la figura A.3.27.

cor_ind : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
	cod_ind	Numérico
	cod_cor	Numérico

Figura A.3.27.- Tabla de la relación entre indicadores y medidas correctoras.

Para la modelización de la entidad parámetros, se necesitan los siguientes atributos:

- COD\_PAR                      Código del parámetro.
- NOM\_PAR                     Descripción del parámetro.
- SIT\_CRI\_PAR\_SUP            Valor máximo del parámetro.
- SIT\_CRI\_PAR\_INF            Valor mínimo del parámetro.
- COD\_UNI                     Código de la unidad de medida del parámetro.
- DES\_UNI                     Descripción de la unidad de medida de los parámetros.

Existe una dependencia transitiva entre DES\_UNI y COD\_UNI., violando la 3FN. Para normalizar esto, se dividen los atributos en dos entidades, por un lado los PARÁMETROS y por otro las UNIDADES (figura A.3.17), obteniéndose el esquema de la figura A.3.28. Además, al igual que ocurría con los indicadores, el valor de los parámetros debe estar dentro de unos límites admisibles, de tal forma que se tendrán que definir las cotas dentro de las cuales deben estar los parámetros para ser considerados legalmente admisibles.

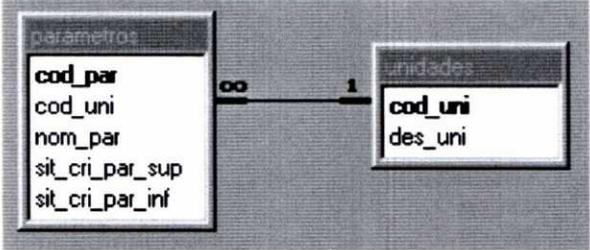


Figura A.3.28.- Modelo de la relación parámetros-unidades.

Del modelo relacional definido entre los parámetros y las unidades se obtienen las tablas de las figuras A.3.29 y A.3.19.

parametros : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
PK	cod_par	Numérico
F	cod_uni	Numérico
	nom_par	Texto
	sit_cri_par_sup	Numérico
	sit_cri_par_inf	Numérico

Figura A.3.29.- Tabla de la relación de parámetros.

La evaluación de la ecuación de un indicador, contenida en el campo FOR\_IND de la tabla INDICADORES, requiere el valor de varios parámetros. Por ejemplo, si el contenido del campo FOR\_IND de la tabla INDICADORES es 37\*38/'100' entonces, el valor del indicador de referencia, se calculará como el producto del valor del parámetro con código 37 por el valor del parámetro con código 38 dividido por 100. Este método de representación hace necesaria la implementación de rutinas externas al SGBD que chequeen la consistencia

de la BDR. Como resultado, se define una relación (IND\_PAR) del tipo M-N (figura A.3.30) entre INDICADORES y PARÁMETROS, figuras A.3.17 y A.3.28.

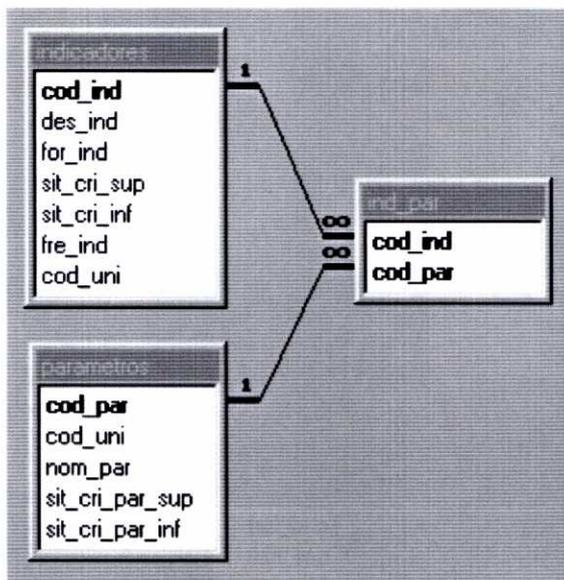


Figura A.3.30.- Modelo de la relación entre los indicadores y los parámetros.

Esta relación genera la tabla de la figura A.3.31.

ind_par : Tabla		
	Nombre del campo	Tipo de datos
🔑	cod_ind	Numérico
🔑	cod_par	Numérico

Figura A.3.31.- Tabla de la relación entre indicadores y parámetros.

El núcleo principal del modelo es la relación de cruces (figura A.3.32), la cual permite identificar los posibles impactos de las evaluaciones. Es una relación cuaternaria del tipo (M-N-P-Q) denominada como ACC\_FAC\_CAR\_IND. Además, para reflejar la relación entre cruces, se hace una relación entre ACC\_FAC\_CAR\_IND consigo misma (ACC\_FAC\_CAR\_IND\_2) del tipo (M-N), representada por las entidades ACC\_FAC\_CAR\_IND y ACC\_FAC\_CAR\_IND\_1 que hacen referencia a la misma entidad lógica. Nuevamente, hay que remitirse al modelo ER extendido, para permitir la relación de relaciones.

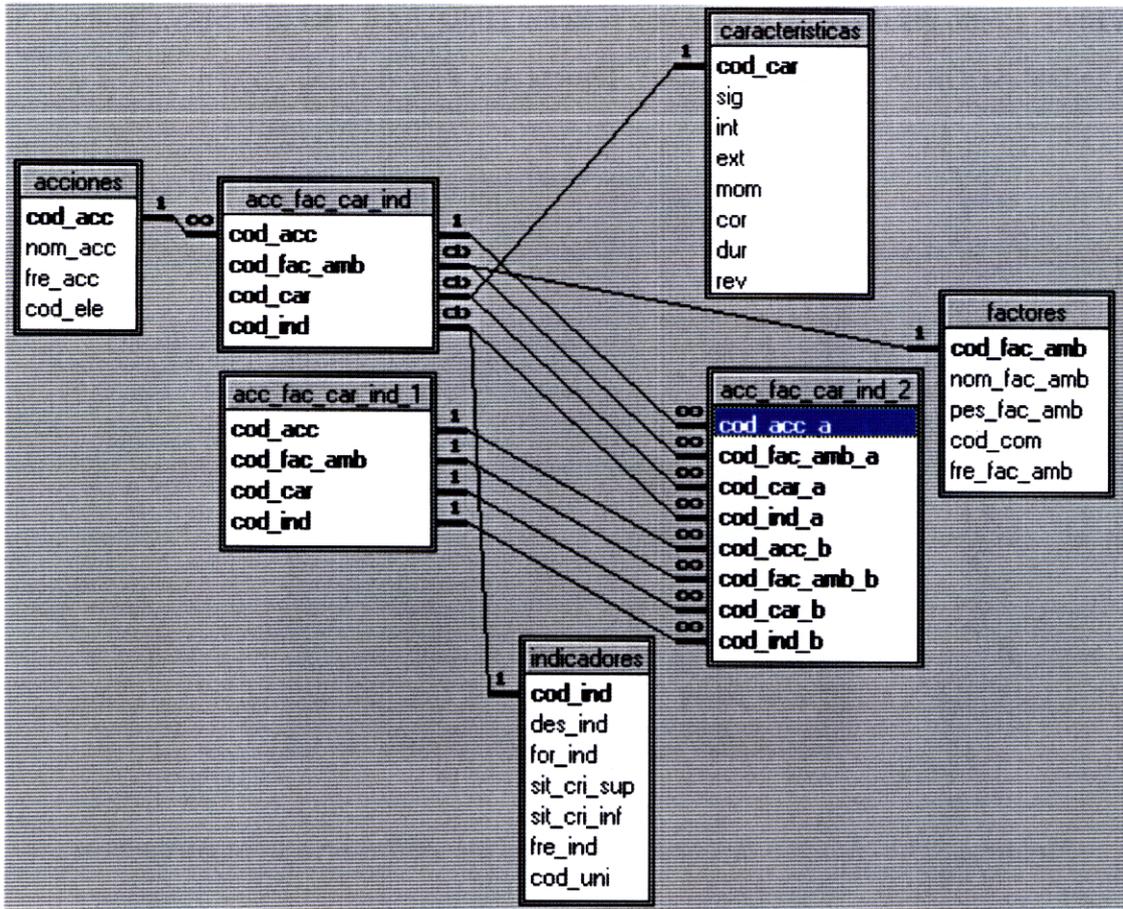


Figura A.3.32.- Modelo de la relación de cruces de impacto.

La modelización de los cruces de impacto define las tablas de las figuras A.3.33 y A.3.34.

Table: acc_fac_car_ind		
	Field Name	Data Type
PK	cod_acc	Number
PK	cod_fac_amb	Number
PK	cod_car	Number
PK	cod_ind	Number

Figura A.3.33.- Tabla de la relación de cruces.

Table: acc_fac_car_ind_2		
	Field Name	Data Type
?	cod_acc_a	Number
?	cod_fac_amb_a	Number
?	cod_car_a	Number
?	cod_ind_a	Number
?	cod_acc_b	Number
?	cod_fac_amb_b	Number
?	cod_car_b	Number
?	cod_ind_b	Number

*Figura A.3.34.- Tabla de la relación entre cruces.*

Las tablas definidas hasta el momento constituyen el núcleo principal de la BDR medioambiental, constituyéndose como el soporte básico de los hechos generales que gobiernan el dominio de las EIA.

Como complemento a la BDR para el presente trabajo de investigación, falta modelizar las estructuras que permitan almacenar la información referente a cada estudio de EIA desarrollado. Para la modelización de la entidad evaluaciones, se necesitan los siguientes parámetros:

- CODIGO\_EVA                      Código del estudio de EIA.
- DESCRIPCION                    Descripción del estudio de EIA.
- COD\_PRO\_EIA                    Código del tipo de proyecto evaluado.
- COD\_ACC                        Código de las acciones que producen impacto.
- COD\_FAC\_AMB                  Código de los FF.AA afectados por las acciones.
- COD\_IND                        Código de los indicadores utilizados para cuantificar el impacto de las acciones sobre los FF.AA.
- COD\_CAR                        Código de las características que definen el tipo del impacto de las acciones sobre los FF.AA.
- COD\_FUN\_TRA                  Código de las funciones de transformación utilizadas para calcular el índice de calidad ambiental de los impactos.

La entidad evaluaciones no está normalizada (3FN) ya que existen varias dependencias transitivas entre sus atributos. Por ejemplo, DESCRIPCION y COD\_PRO\_EIA dependen de CODIGO\_EVA. Además, se aprecia una relación EVAL\_DES, del tipo (1-N), a través del

atributo COD\_PRO\_EIA, con la entidad PROYECTOS\_EIA (figura A.3.5). Para evitar redundancia en la BDR, se define la relación EVALUA, del tipo (M-N), a través de los atributos COD\_ACC, COD\_CAR, COD\_FAC\_AMB y COD\_IND, con la relación ACC\_FAC\_CAR\_IND (figura A.3.32) y otra, del tipo (1-N), entre la relación EVALUA y la entidad FUNCIONES (figuras A.3.20 y A.3.22). Nuevamente, hay que remitirse al modelo ER extendido, para permitir la relación entre entidades y relaciones. La dependencia de cálculo de los dos primeros atributos con el atributo COD\_IND hace necesaria la implementación de rutinas externas al SGBD que chequeen la consistencia de la BDR. El resultado final de la normalización de la entidad evaluaciones se representa gráficamente en la figura A.3.35.

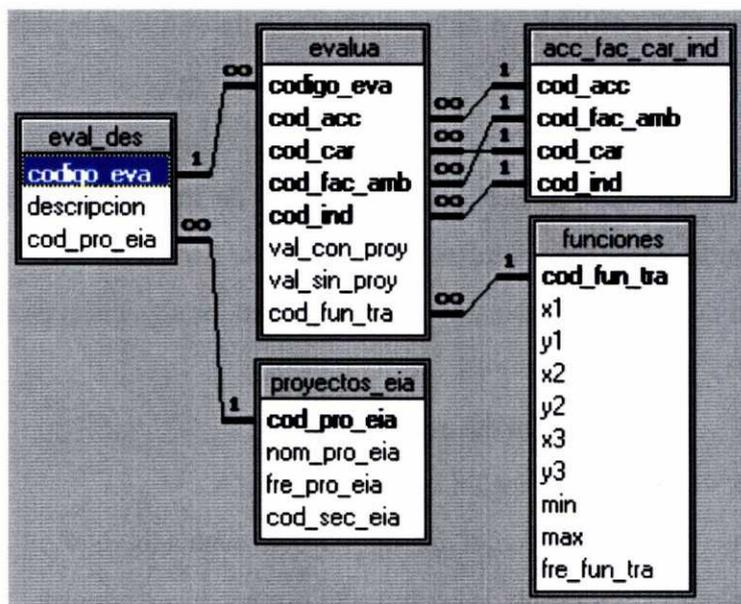


Figura A.35.- Modelización de los casos concretos de evaluación.

Del modelo relacional definido entre las evaluaciones concretas, los cruces, los proyectos y las funciones de transformación, se obtienen las tablas de las figuras A.3.36 y A.3.37.

Table: eval_des		
	Field Name	Data Type
PK	codigo_eva	Number
	descripcion	Text
F	cod_pro_eia	Number

Figura A.3.36.- Tabla de casos concretos de EIA.

Table: evalua		
	Field Name	Data Type
PK	codigo_eva	Number
PK	cod_acc	Number
PK	cod_car	Number
PK	cod_fac_amb	Number
PK	cod_ind	Number
	val_con_proy	Number
	val_sin_proy	Number
F	cod_fun_tra	Number

Figura A.3.37.- Tabla de impactos evaluados en cada estudio de EIA.

La figura A.3.38 representa el modelo relacional completo de las EIA.

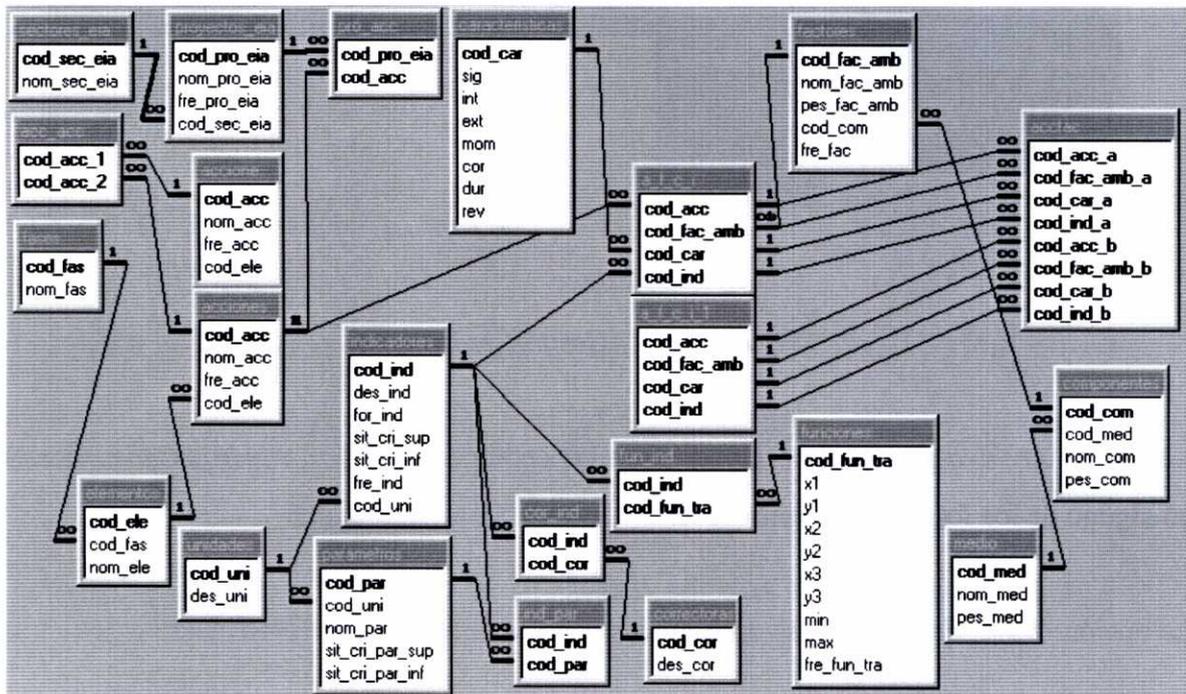


Figura A.3.38.- Modelo Relacional completo.

## ANEXO 4.- SUBSISTEMA DE GESTIÓN DE BB.DD.

A continuación se describirá el SGB, que permite la creación de BB.DD mediante la definición y mantenimiento de sus objetos (tablas, campos, índices, etc.) a través de un interface de usuario sencillo.

Se accede al SGB a través de la opción de Gestión de BD del SDP o desde la opción de Subsistema de Gestión de la BD de la pantalla de arranque del SH completo. Una vez seleccionado, se le presenta al usuario la ventana de la figura A.4.1.

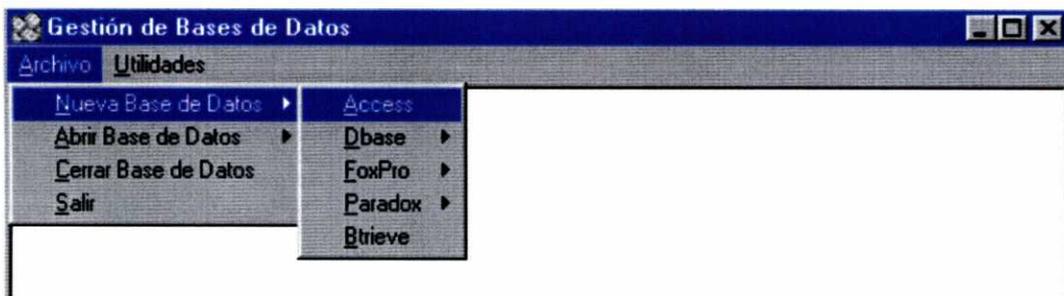


Figura A.4.1.- Gestión de BB.DD.

La opción *Archivo* permite seleccionar entre las opciones de *Crear*, *Abrir* o *Cerrar* una BD en alguno de los formatos especificados.

La opción *Utilidades* incluye las operaciones de *Compactar* y *Reparar* BB.DD.

Al seleccionar la opción de *Archivo – Nueva Base de Datos*, y tras determinar el formato de la BD, se debe especificar la ruta de acceso a dicha BD. Hay que tener en cuenta que según el formato seleccionado, se deberá especificar una ruta completa a la BD o un directorio donde residirán los ficheros de datos. Una vez creada la BD, la pantalla de la figura A.4.2 gestiona las posibles operaciones sobre dicha BD.

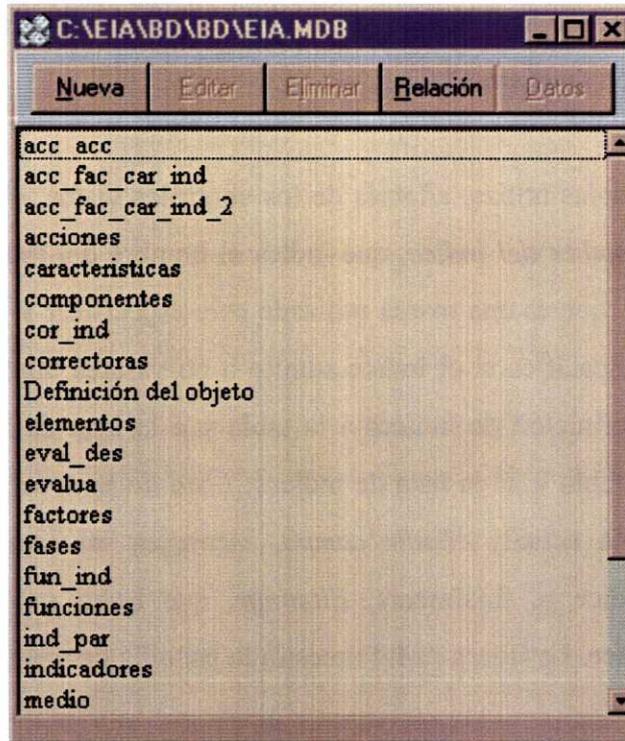


Figura A.4.2.- Operaciones sobre BB.DD.

Una vez seleccionada o creada una BD, la opción *Nueva* permite la creación de nuevas tablas de la BD, mediante la definición de sus campos, tal y como se observa en la figura A.4.3.

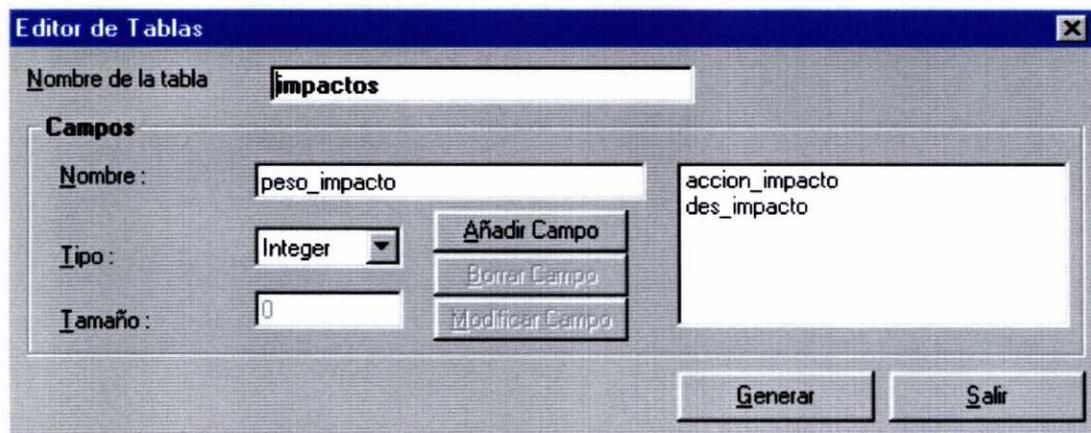


Figura A.4.3.- Pantalla de creación de tablas.

La opción *Editar* realiza el mantenimiento de tablas ya existente en la BD, permitiendo la creación o modificación de campos de la tabla y la definición de los índices de la misma. En

cuanto al mantenimiento de los campos, el comportamiento de los controles es idéntico al utilizado en la definición de nuevas tablas.

El mantenimiento de tablas utiliza, además de los controles vistos, el siguiente conjunto de campos y opciones: *Nombre del índice*, que indica el nombre del índice que se va a definir para la tabla; *Primario*, que es una marca utilizada para especificar si el índice es o no clave primaria; *Único*, que especifica si el índice admite o no valores duplicados; *Añadir índice*, confirma y añade la definición de índices a la tabla y a la lista de índices; *Borrar índice*, elimina el índice de la tabla y de la lista de índices; *Lista de campos*, muestra la relación de los campos de la tabla actual; *Añadir campo*, incorpora un campo de la tabla como componente de un índice y, finalmente, *Eliminar*, que borra un campo de la lista de componentes de un índice. La figura A.4.4 muestra la pantalla de mantenimiento de tablas.

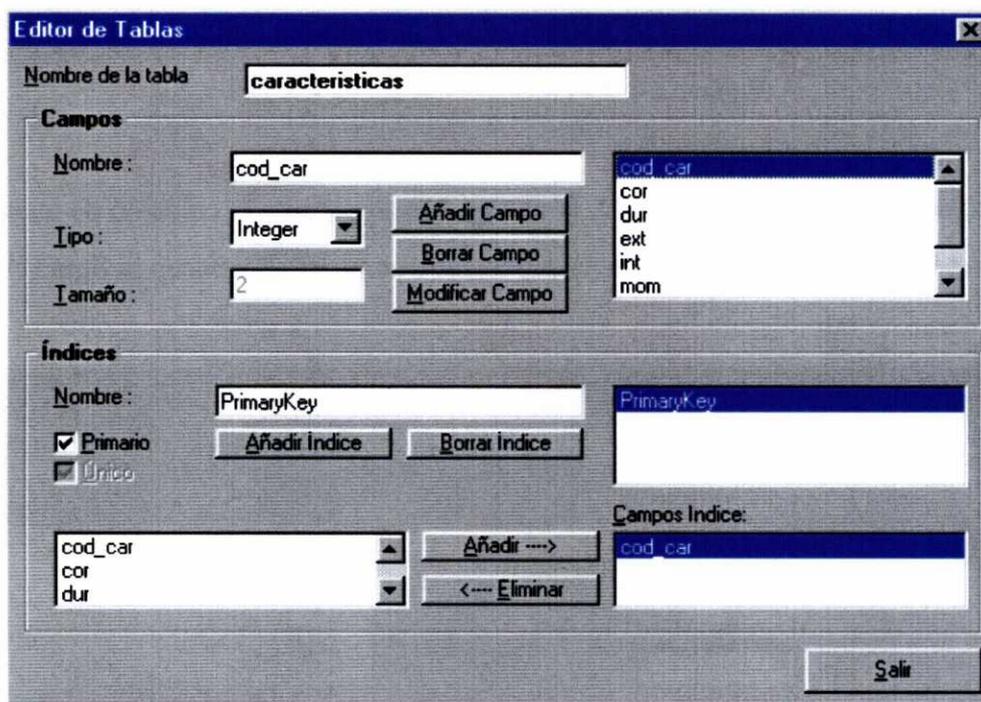


Figura A.4.4.- Pantalla de mantenimiento de tablas.

Además, la opción *Eliminar* permite borrar definiciones de tablas de la BD, incluyendo su contenido y la opción *Relación* define las relaciones de integridad entre las tablas de la BD.

La figura A.4.5 muestra los campos y controles de la pantalla de gestión de la integridad referencial.

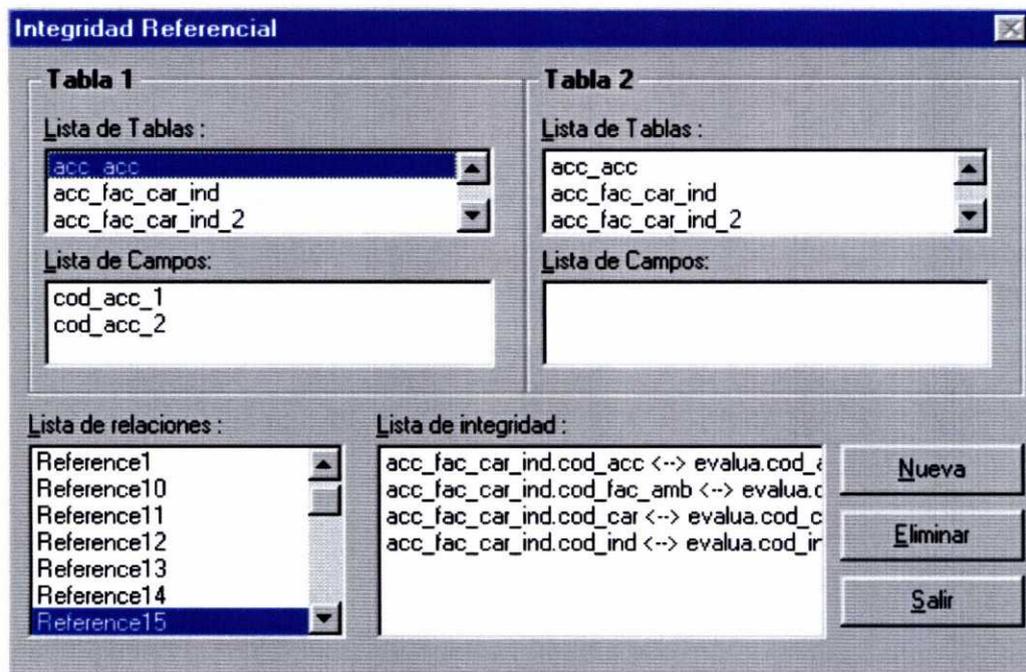


Figura A.4.5.- Pantalla de gestión de la integridad referencial.

La pantalla de gestión de integridad de la figura A.4.5 utiliza los siguientes campos y controles:

- *Lista de tablas*, que muestra la relación entre tablas de la BD.
- *Lista de campos*, que muestra los campos de las tablas seleccionadas que forman la relación.
- *Lista de relaciones*, que muestra las relaciones definidas sobre las tablas seleccionadas.
- *Lista de integridad*, que muestra la definición de la relación seleccionada.
- *Nueva*. Confirma y asigna un nombre a la definición de la relación.

Finalmente, la opción *Datos* accede a la pantalla de entrada de datos en forma de tabla, permitiendo una introducción de datos elemental. El sistema presenta el formulario de entrada, mostrado en la figura A.4.6, con tantas columnas como campos definidos contenga la tabla.

Edición de la tabla [características]

	cod_car	sig	int	ext	mom	cor	dur	rev
	14	-1	3	3	1	1	1	1
	15	-1	3	1	1	1	3	4
	16	-1	3	2	3	4	3	4
	17	-1	1	1	1	4	1	1
	18	1	2	1	1	4	1	1
	19	1	1	1	3	4	3	4
	20	-1	2	1	1	1	3	4
	21	-1	3	1	1	2	1	3
	22	-1	1	1	1	2	3	1
	23	1	1	1	1	1	1	1
	24	-1	2	2	2	2	2	2
	25	-1	1	1	1	1	1	1
	26	1	3	3	3	4	3	2
	27	-1	2	2	2	2	2	0
	28	1	2	2	2	2	1	2
	29	-1	2	2	2	2	1	1
	30	-1	3	1	2	2	3	1
	31	-1	2	1	2	1	1	1
	32	-1	2	1	2	2	2	1

Salir

*Figura A.4.6.- Entrada simple de datos en forma tabular.*

Para definir una pantalla más sofisticada se dispone del SDP.

## ANEXO 5.- SUBSISTEMA DE DEFINICIÓN DE PANTALLAS.

A continuación, se describirá el SDP, que permite al usuario la creación de pantallas de entrada de datos complejas, asociadas o no a BB.DD, y una lógica de funcionamiento a través de un lenguaje de programación propio. El acceso al SDP se hace desde la opción oportuna de la pantalla de arranque del SH completo.

Posteriormente, el SDP muestra la pantalla de presentación de la figura A.5.1.



*Figura A.5.1.- Pantalla de entrada al SDP.*

Una vez arrancada la aplicación, se presenta el menú principal, mostrado en la figura A.5.2, que permite la selección de las operaciones a realizar.



*Figura A.5.2.- Menú principal del SDP.*

La opción de menú *Archivo* del SDP permite la creación o mantenimiento de pantallas. Algunas de las opciones de este menú, como puede verse en la figura A.5.3, tienen su equivalente en la barra de herramientas del SDP.

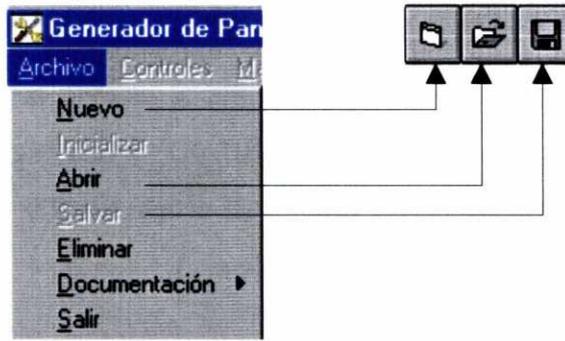


Figura A.5.3.- Equivalencias entre el menú principal y la barra de herramientas del SDP.

Las opciones *Nuevo*, *Inicializar*, *Abrir*, *Salvar* y *Eliminar* permiten gestionar la definición y manipulación de pantallas. La opción *Documentación* permite imprimir la imagen de la pantalla junto con las propiedades de los controles que contiene y sus procedimientos asociados.

A través de la opción de *Controles* del menú principal del SDP, se seleccionarán los distintos componentes que van a formar la pantalla de entrada de datos. Los componentes pueden seleccionarse a partir del menú o de la barra de herramientas. La figura A.5.4 muestra las equivalencias entre el menú de la opción *Controles* y la barra de herramientas.

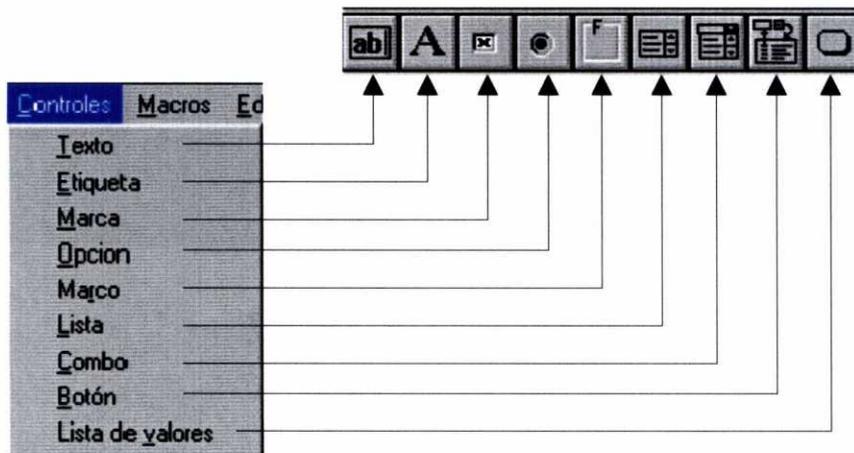


Figura A.5.4.- Equivalencias del menú de Controles con la barra de herramientas.

La opción *Texto, Etiqueta, Marca, Opción, Marco, Lista y Combo* define el conjunto de posibles controles que se pueden utilizar.

La opción de *Macros* del menú principal del SDP permite acelerar la construcción de grupos de componentes de la pantalla. Existen dos macros predefinidas en el sistema: el *grupo multiregistro* y el *grupo de datos*.

La opción *Multiregistro* genera una macro que crea una lista para añadir elementos automáticamente. De esta forma, se crea un marco con una lista y los tres botones para su manejo (Añadir, Modificar y Borrar), siendo sólo necesario añadir los componentes que van a incorporarse a la lista.

La opción *Grupo de Datos* genera una macro automática que crea grupos de controles predefinidos con anterioridad. De esta forma, se crea un marco conteniendo los elementos definidos en la pantalla de selección del grupo.

El menú de *Edición* del SDP permite el manejo de las operaciones de copiar y pegar componentes en la definición de pantallas. Además, automatiza la incorporación de campos de tablas de la BD asociados a diferentes componentes de la pantalla. Como resultado, los componentes referenciados heredarán las propiedades de los correspondientes campos.

Finalmente, el menú de *Opciones* del SDP se encarga de establecer diversas opciones de configuración de la sesión y acceder al SGB (*Fijar repositorio, Crear repositorio, Gestión de BB.DD, "TabIndex" y Configuración*).

La opción *Nuevo* del menú *Archivo* del SDP permite crear una nueva pantalla en la BD local. Al ejecutar esta opción, mediante el menú o desde la barra de herramientas, el sistema muestra el asistente de la figura A.5.5 para la creación de formularios de pantallas.



Figura A.5.5.- Selección del tipo de la nueva pantalla.

La opción de *Generación automática* permite la generación de un formulario a partir de los campos seleccionados de una tabla, mientras que el *Form en blanco* genera un formulario con los controles por defecto.

La opción de generación automática da paso al asistente de creación de formularios de la figura A.5.6.

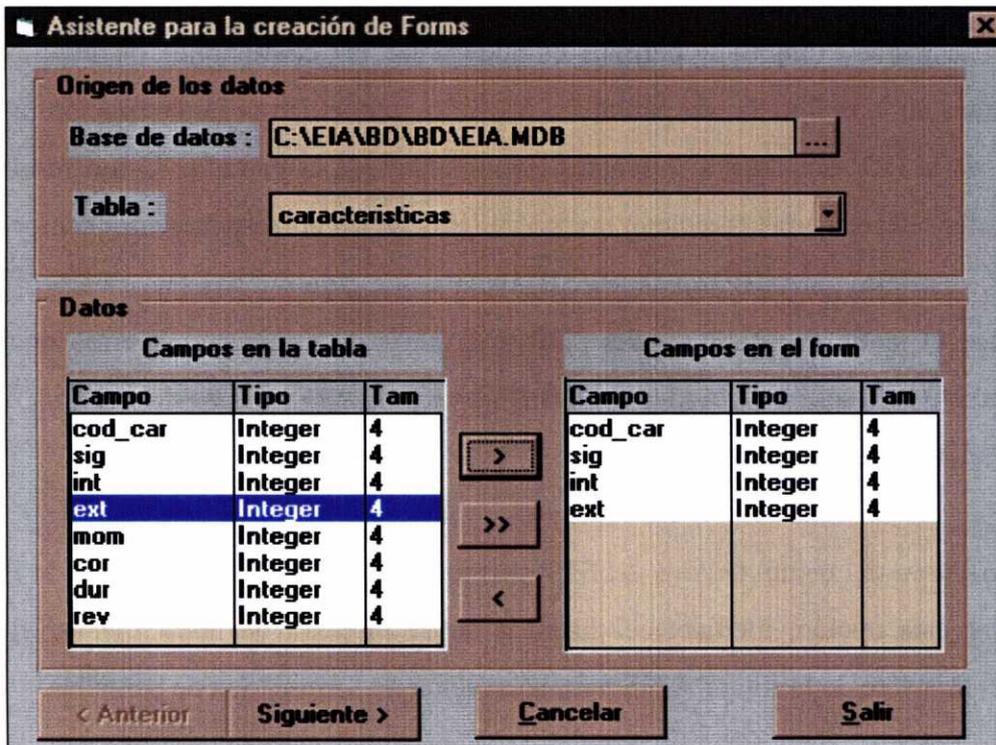


Figura A.5.6.- Asistente para la creación de pantallas asociadas a BD.

El *Origen de los datos*, concretamente el campo de la *Base de Datos*, define la ruta completa de la BD. El botón de la derecha del campo abre un cuadro de diálogo que permite la selección de la BD. Todas las referencias a ficheros, del SDP en particular y del SGD en general, permiten el acceso a directorios locales o remotos en red.

El campo *Tabla* es un combo que muestra todas las tablas de la BD para seleccionar aquella que sirva de soporte a la generación del formulario. La sección de *Datos* se divide en dos bloques: *Campos en la tabla* y *Campos en el formulario*. El primer bloque muestra una breve descripción de todos los campos de la tabla seleccionada. El segundo bloque muestra la relación de los campos que formarán parte del formulario generado. Los cursores existentes entre ambos bloques permiten añadir y eliminar campos del formulario.

Una vez definidos los campos del formulario, la pantalla de la figura A.5.7 gestiona la definición de los campos que serán clave de búsqueda del formulario.

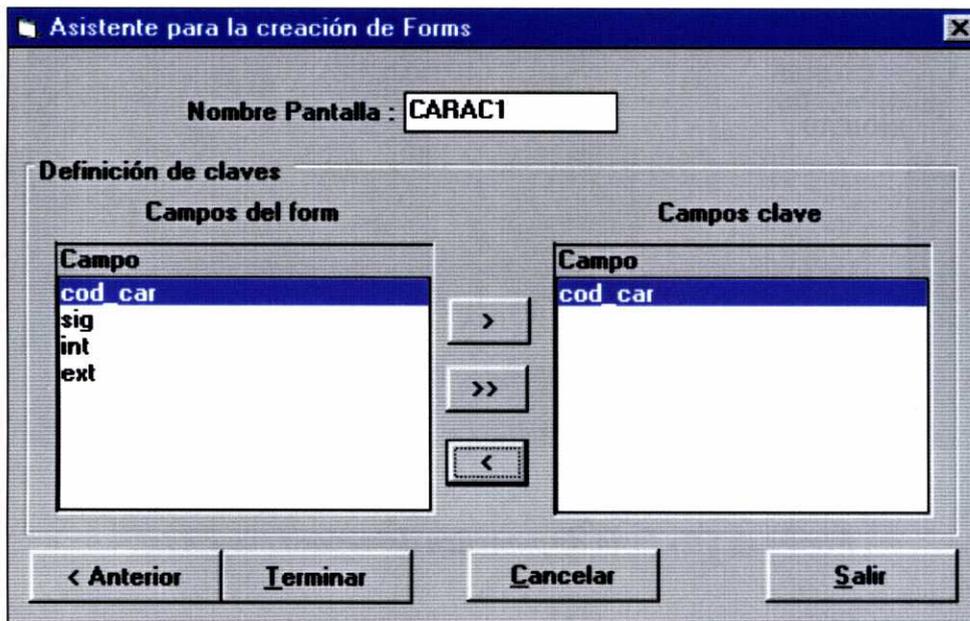


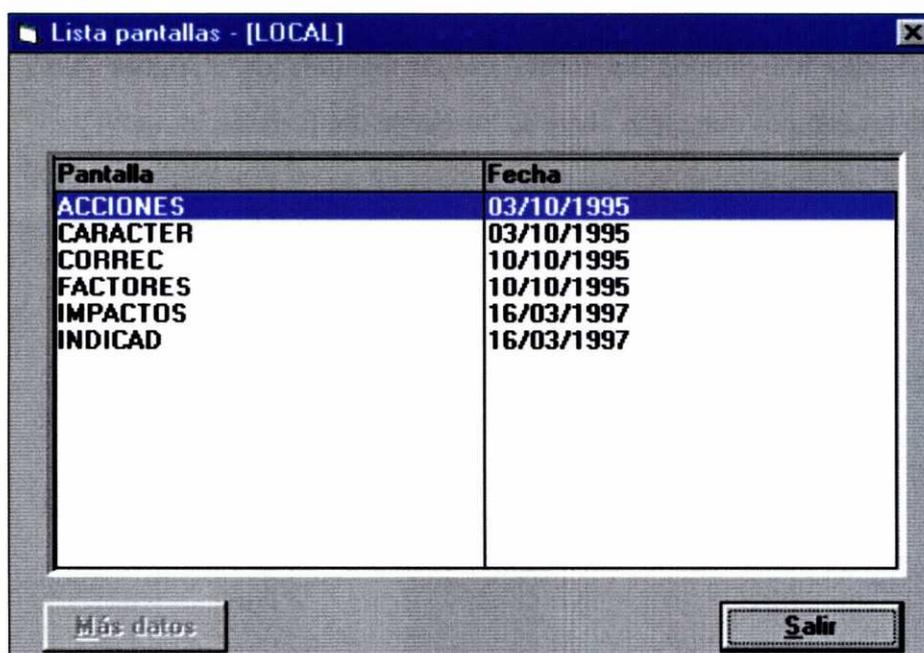
Figura A.5.7.- Definición de campos clave de la pantalla.

En el caso de haber seleccionado la opción *Formulario en blanco* en la pantalla de selección del tipo de formulario, se procederá a asignar un nombre al nuevo formulario y se creará un estándar

La opción *Abrir* del menú *Archivo* del SDP permite abrir una pantalla ya presente en la BD local.

En el caso de que se desconozca el nombre correcto de la pantalla, el botón  permite visualizar una lista con todas las pantallas del repositorio actual con su fecha de creación.

La figura A.5.8 muestra la ventana de visualización de pantallas.



Pantalla	Fecha
ACCIONES	03/10/1995
CARACTER	03/10/1995
CORREC	10/10/1995
FACTORES	10/10/1995
IMPACTOS	16/03/1997
INDICAD	16/03/1997

*Figura A.5.8.- Lista de pantallas del repositorio actual.*

Con una doble pulsación de ratón sobre un elemento de la lista, se copia automáticamente el nombre de la pantalla a la función de apertura.

Las opciones *Salvar* y *Eliminar* del menú *Archivo* del SDP permiten guardar los cambios realizados en la pantalla actual o eliminar cualquier pantalla respectivamente.

La opción *Diccionario* del menú *Archivo* permite imprimir las propiedades y eventos pertenecientes a la pantalla actual. La opción de impresión *Imágen* imprime la imagen de la pantalla actual, posibilitando así su posterior archivo en papel físico. La opción *Diccionario* imprime las propiedades y eventos pertenecientes a la pantalla actual y, finalmente, la opción *Completa* imprime las propiedades y eventos de la pantalla actual.

A la hora de construir una pantalla se han de considerar los diferentes controles, propiedades y eventos soportados.

El control *Texto* se emplea tanto para mostrar información como para permitir la introducción de datos, en formato texto, numérico o fecha, por parte del operador. El control *Texto* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Título*. Texto por defecto que se le asigna al control.
- *Tipo*. Tipo de valor que puede contener (1.- Texto, 2.- Número y 3.- Fecha).
- *Longitud*. Número de caracteres que se pueden introducir.
- *Protegido*. Activa o desactiva la protección del campo contra escritura.
- *Activado*. Indica si el campo está disponible o no.
- *Visible*. Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Orden*. Número de orden lógico en el momento de pulsar la tecla de tabulación.
- *Tabstop*. Indica a la pantalla si se debe tener en cuenta el control dentro del orden lógico de repuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Obligatorio*. Obliga al usuario a introducir un valor en este campo en el momento de la pulsación del botón *Aceptar*.

- *Al entrar.* Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de entrar en el campo.
- *Al activar.* Permite introducir código específico que se ejecutará al activar el campo.
- *List. Asociada.* Permite especificar una lista asociada, la cual recogerá el valor de este campo en el momento de añadir un elemento a la misma.
- *Origen BD.* Permite almacenar el valor del campo en la BD indicando la tabla y el campo de la misma que albergará dicho valor.
- *Valor.* Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.
- *Clave.* Permite indicar si el campo forma parte de la clave de acceso a la BD sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.
- *R/W.* Representa el tipo de operación sobre la BD.
  1. *Read.* Se utiliza el campo para obtener su correspondiente valor de la BD.
  2. *Write.* Se utiliza el campo para registrar su correspondiente valor en la BD.
  3. *Read/Write.* Se utiliza el campo para lectura y escritura, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.

Los controles manejan un conjunto de eventos, a los cuales se les puede asociar código. El control *Texto* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ *Change.* Código que se ejecuta cuando se realice algún cambio en el valor del campo.
- ✓ *Gotfocus.* Código que se ejecuta en el momento de entrar en el campo.
- ✓ *Lostfocus.* Código que se ejecuta en el momento de salir del campo.

El control *Etiqueta* permite mostrar un texto fijo, no modificable por el usuario, pero que es posible variar mediante el uso de código durante la ejecución de la pantalla. El control *Etiqueta* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre.* Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Título.* Texto por defecto que se le asigna al control.

- *Tipo*. Tipo de valor que alberga.
- *Longitud*. Número de caracteres que se pueden introducir el administrador.
- *Visible*. Indica si la etiqueta será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Color fondo*. Permite indicar color de fondo para la etiqueta.
- *Origen BD*. Permite almacenar el valor de la etiqueta en la BD indicando la tabla y el campo de la misma que albergará dicho valor.
- *Valor*. Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.
- *Autoajuste*. Indica que la etiqueta ajusta su tamaño teniendo en cuenta el título de la misma.
- *Clave*. Permite indicar si el título de la etiqueta forma parte de la clave de acceso a la BD, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen B.D.*
- *R/W*. Representa el tipo de operación sobre la BD.
  1. *Read*. Se utiliza el título de la etiqueta para obtener su correspondiente valor de la BD.
  2. *Write*. Se utiliza el título de la etiqueta para registrar su correspondiente valor en la BD.
  3. *Read/Write*. Se utiliza el título de la etiqueta para lectura y escritura en la BD, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.

El control *Etiqueta* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ *Change*. Código que se ejecuta en el momento en que se realice algún cambio en el valor de la etiqueta.
- ✓ *Gotfocus*. Código que se ejecuta en el momento de recoger el “foco de Windows”.
- ✓ *Lostfocus*. Código que se ejecuta en el momento de abandonar el “foco de Windows”.

El control *Marca* permite la selección de opciones del tipo: verdad/falso, si/no, etc. El control contempla dos posibles estados, marcado (“TRUE”) o no marcado (“FALSE”). El control *Marca* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Título*. Texto por defecto que se le asigna al control.
- *Tipo*. Tipo de dato que puede recoger.
- *Longitud*. Número de caracteres que se pueden introducir el usuario..
- *Activado*. Indica si la marca está disponible o no.
- *Visible*. Indica si la marca será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Orden*. Número de orden lógico en el momento de respuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Tabstop*. Indica a la pantalla si se debe tener en cuenta el control dentro del orden lógico de repuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Al entrar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de entrar en la etiqueta.
- *Al activar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de activación de la etiqueta.
- *Activo inicio*. Indica si la marca por defecto contiene un valor verdadero.
- *List. Asociada*. Permite especificar una lista asociada, la cual recogerá el valor de este campo en el momento de añadir un elemento a la misma.
- *Origen B.D.* Permite almacenar el valor del campo en la BD indicando la tabla y el campo de la misma que albergará dicho valor.
- *Valor*. Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.
- *Autoajuste*. Ajusta el tamaño del control al título del mismo.

- *Clave*. Permite indicar si el campo forma parte de la clave de acceso a la BD (solo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*).
- *R/W*. Representa el tipo de operación sobre la BD.

El control *Marca* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ *Change*. Código que se ejecuta en el momento en que se realice algún cambio en el valor del campo.
- ✓ *Gotfocus*. Código que se ejecuta en el momento de entrar en el campo.
- ✓ *Lostfocus*. Código que se ejecuta en el momento de salir del campo.

El control *Opción* es semejante al control *Marca*. La diferencia fundamental entre ambos es, aparte del aspecto, que mientras en un conjunto de *Marcas* se pueden tener marcadas varias de forma simultanea, en el caso de la *Opción* solo puede existir uno seleccionado, ya que son mutuamente excluyentes; además, siempre debe existir al menos uno seleccionado. El control *Opción* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Título*. Texto por defecto que se le asigna al control.
- *Tipo*. Tipo de valor que puede recoger.
- *Longitud*. Número de caracteres que puede introducir el usuario.
- *Activado*. Indica si el campo está disponible o no.
- *Visible*. Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Orden*. Número de orden lógico en el momento de respuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.

- *Tabstop*. Indica a la pantalla si se debe tener en cuenta el control dentro del orden lógico de respuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Al entrar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de entrar en el campo.
- *Al activar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de activación del campo.
- *Activo inicio*. Indica si la marca por defecto contiene un valor verdadero.
- *List. Asociada*. Permite especificar una lista asociada, la cual recogerá el valor de este campo en el momento de añadir un elemento a la misma.
- *Origen B.D.* Permite almacenar el valor del campo en la BD indicando la tabla y el campo de la misma que albergará dicho valor.
- *Valor*. Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.
- *Autoajuste*. Ajusta el tamaño del control al título del mismo.
- *Clave*. Permite indicar si el campo forma parte de la clave de acceso a la BD, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.
- *R/W*. Representa el tipo de operación sobre la BD.
  1. *Read*. Se utiliza el campo para obtener su correspondiente valor de la BD.
  2. *Write*. Se utiliza el campo para registrar su correspondiente valor en la BD.
  3. *Read/Write*. Se utiliza el campo para lectura y escritura, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen B.D.*

El control *Opción* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ *Change*. Código que se ejecuta en el momento en que se realice algún cambio en el valor del campo.
- ✓ *Gotfocus*. Código que se ejecuta en el momento de entrar en el campo.
- ✓ *Lostfocus*. Código que se ejecuta en el momento de salir del campo.

El control *Marco* proporciona una forma gráfica y funcional de agrupar controles. Todos los controles contenidos en el marco se desplazan con el mismo, y se eliminan al eliminar el

marco. Se establece una relación padre-hijo entre el marco y sus controles contenidos. El control *Marco* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Tipo*. Tipo de dato que puede recoger.
- *Activado*. Indica si el campo está disponible o no.
- *Visible*. Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Orden*. Número de orden lógico en el momento de la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Tabstop*. Indica a la pantalla si se debe tener en cuenta el control dentro del orden lógico de respuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Al entrar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de entrar en el campo.
- *Al activar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de activación del campo.
- *Cabeceras*. Permite definir un conjunto de cabeceras que se aplicarán a la lista en el momento de ejecutar la pantalla. Se separan dichas cabeceras con el carácter “|”.
- *Campos*. Define el conjunto de campos asociados a la lista. Se separan dichos campos con el carácter “|”.

El control *Combo* es una combinación de los controles *Texto* y *Lista*. Su función consiste en poder seleccionar un elemento que aparecerá en la caja de textos de la lista asociada que se despliega al hacer una pulsación en la flecha del control. El control *Combo* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.

- *Tipo*. Tipo de dato que puede contener.
- *Longitud*. Número de caracteres que se pueden introducir.
- *Activado*. Indica si el campo está disponible o no.
- *Visible*. Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- *Arriba*. Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- *Izquierda*. Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- *Ancho*. Anchura del control.
- *Alto*. Altura del control.
- *Orden*. Número de orden lógico en el momento de respuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Tabstop*. Indica a la pantalla si se debe tener en cuenta el control dentro del orden lógico de repuesta a la pulsación de la tecla de tabulación.
- *Al entrar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de entrar en el campo.
- *Al activar*. Permite introducir código específico que se ejecutará en el momento de activación del campo.
- *List. Asociada*. Permite especificar una lista asociada, la cual recogerá el valor de este campo en el momento de añadir un elemento a la misma.
- *Origen BD*. Permite almacenar el valor del campo en la BD indicando la tabla y el campo de la misma que albergará dicho valor.
- *Valor*. Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.
- *Clave*. Permite indicar si el campo forma parte de la clave de acceso a la BD, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.
- *R/W*. Representa el tipo de operación sobre la BD.
  1. *Read*. Se utiliza el campo para obtener su correspondiente valor de la BD.
  2. *Write*. Se utiliza el campo para registrar su correspondiente valor en la BD.
  3. *Read/Write*. Se utiliza el campo para lectura y escritura, sólo si se indica algún valor en la propiedad *Origen BD*.
- *Tipo Dato*. Indica si el código del elemento es numérico o alfanumérico.

- *Datos*. Define los elementos de la lista del control. La ventana de la figura A.5.9 permite definir, de una forma sencilla, los elementos del control. Los diferentes elementos del *Combo* se definen por medio del código de elemento a añadir, descripción del elemento, el tipo de clave: numérico o alfanumérico.

El control *Combo* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ *Change*. Código que se ejecuta cuando cambia el valor del campo.
- ✓ *Gotfocus*. Código que se ejecuta en el momento de entrar en el campo.
- ✓ *Lostfocus*. Código que se ejecuta en el momento de salir del campo.

The screenshot shows a dialog box titled "Datos iniciales" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following elements:

- Código :** A text input field containing "COD3".
- Descripción :** A text input field containing "Factor Ambiental".
- Tipo clave:** Two radio buttons: "Numérica" (selected) and "Alfanum.".
- Buttons:** "Añadir", "Modificar", and "Borrar" are stacked vertically on the right side.
- Table:** A table with two columns: "Código" and "Descripción".

COD1	Evaluación
COD2	Acción
COD3	Factor Ambiental
- Bottom Buttons:** "Aceptar" and "Cancelar" are located at the bottom of the dialog.

Figura A.5.9.- Definición de elementos del Combo.

El control *Botón* permite incluir tareas que se ejecutarán cuando el usuario haga una pulsación sobre el mismo. El control *Botón* soporta las siguientes propiedades:

- *Nombre*. Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- *Título*. Texto por defecto que se le asigna al control.
- *Tipo*. Indica el tipo de control.

- **Activado.** Indica si el campo está disponible o no.
- **Visible.** Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- **Arriba.** Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- **Izquierda.** Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- **Ancho.** Anchura del control.
- **Alto.** Altura del control.
- **Valor.** Permite indicar código específico que se utilizará posteriormente para inicializar el valor del campo con el resultado de dicho código.

El control *Botón* maneja el siguiente conjunto de eventos:

- ✓ **Click.** Código que se ejecuta en el momento en que se realice una pulsación de ratón sobre el control.

El control *Lista de valores* permite automatizar las operaciones de selección de un valor a partir de una lista de posibles valores que se encuentran almacenados en una tabla de la BD. Así, tras definir sus propiedades, se accederá de forma automática a la tabla de valores y se presentará una lista con todos los posibles valores. Haciendo una doble pulsación sobre uno de los elementos de la lista, se copiarán sus respectivos valores en aquellos controles que se hayan definido como destinatarios. El control *Lista de valores* soporta las siguientes propiedades:

- **Nombre.** Esta propiedad representa el nombre del control para su posterior referencia en una posible subrutina.
- **Tipo.** Tipo de valor asignado al control.
- **Activado.** Indica si el campo está disponible o no.
- **Visible.** Indica si el campo será visible en el momento de la ejecución de la pantalla.
- **Arriba.** Posición horizontal del control con respecto a la pantalla principal.
- **Izquierda.** Posición vertical del control con respecto a la pantalla principal.
- **Ancho.** Anchura del control.
- **Alto.** Altura del control.

- *Cabeceras*. Indica las cabeceras que se visualizarán en la lista de valores en el momento de la ejecución. Las diferentes cabeceras se separarán con el carácter “|”.
- *Nº Columnas*. Indica el número de columnas que contiene la lista de valores.
- *Ancho Cols*. Indica el ancho que contiene las columnas.
- *Campos LV*. Asigna cada columna de la lista de valores a un campo de la pantalla. La figura A.5.10 muestra la ventana de asignación entre columnas y campos. Los diferentes elementos de la *Lista de valores* se definen emparejando columnas de la lista con campos del formulario.

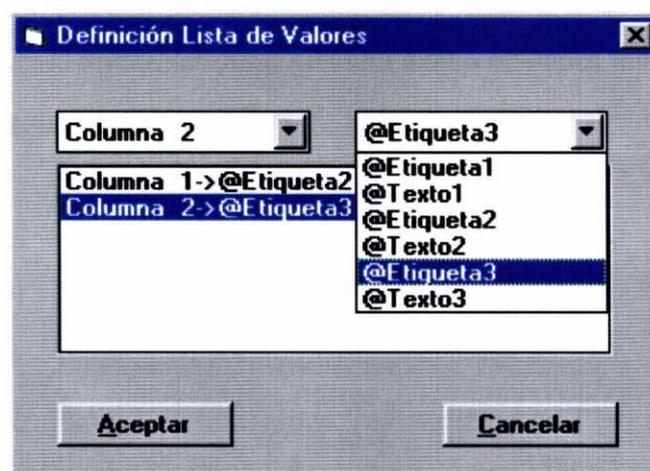


Figura A.5.10.- Ventana de definición de la lista de valores.

El control *Lista de valores* utiliza el eventos *Lista Valor*, que representa código que se ejecuta en el momento de seleccionar un valor de la lista.

El control *Formulario Principal* es la pantalla de entrada de datos propiamente dicha, sobre la que se irán colocando los componentes o controles.

La figura A.5.11 muestra un formulario principal con varios de los controles vistos.

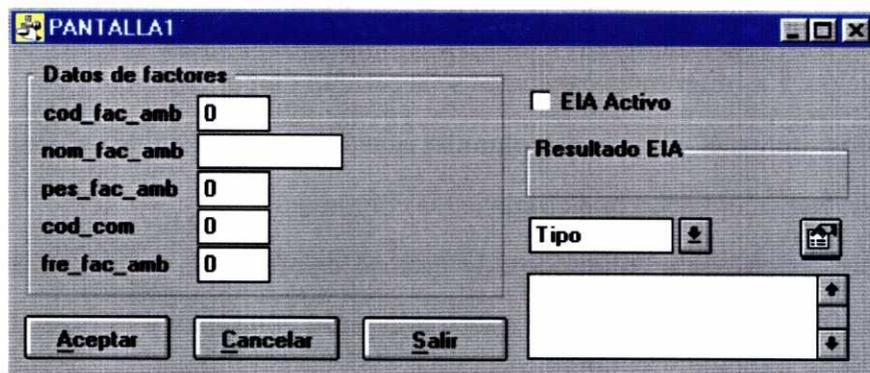


Figura A.5.11.- Formulario estándar y controles asociados.

El formulario puede estar asociado o no a una BD. La *Generación automática* proporciona la posibilidad, como se puede ver en la ventana de la figura A.5.12, de generar una pantalla a partir de la definición de las tablas de una BD.

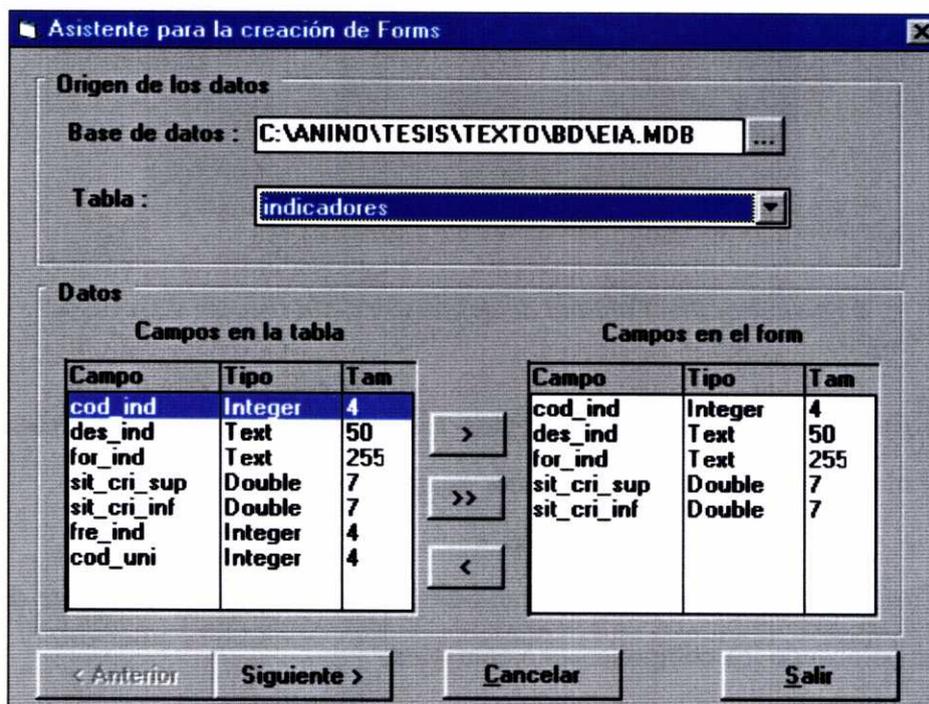


Figura A.5.12.- Generación automática de pantallas a partir de una BD.

Una vez identificada la tabla y los campos que formarán parte de la pantalla, la ventana de la figura A.5.13, permitirá definir los campos clave del formulario.

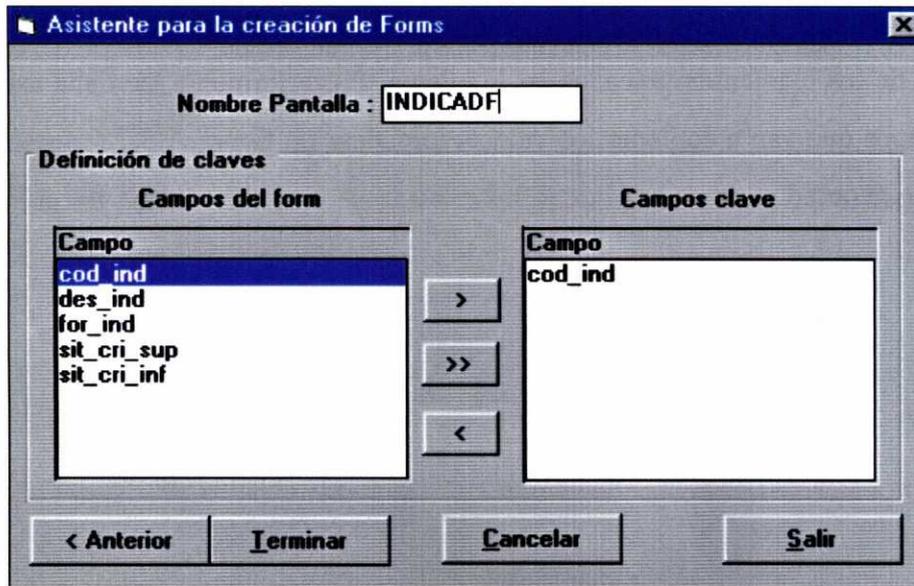


Figura A.5.13.- Definición de campos clave del formulario.

A partir de este punto, se podrán realizar todas aquellas modificaciones, requeridas por los usuarios, sobre el formulario generado. La figura A.5.14 muestra el formulario resultante.

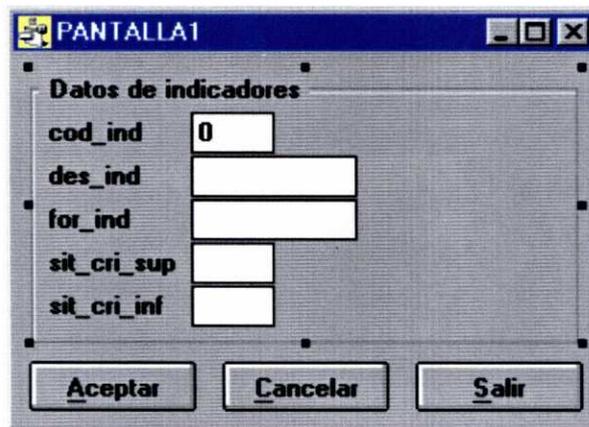


Figura A.5.14.- Generación automatizada de formularios.

Además, el SDP incorpora un sistema, basado en macros, que automatiza la construcción de grupos de componentes de pantalla. Se han implementado dos macros predefinidas en el SDP, el *Multiregistro* y el *Grupo de datos*.

La macro *Multiregistro* genera una lista, junto con los botones predefinidos, que permite el tratamiento de los elementos ubicados en la misma. Posteriormente, se debe asociar la lista con los campos que van a contener los valores iniciales. La figura A.5.15 muestra el control multiregistro generado.



Figura A.5.15.- Control Multiregistro.

La macro *Grupo de datos* permite crear un conjunto de controles de un tipo específico que se introducen posteriormente en un marco. La figura A.5.16 muestra la ventana de creación de grupos de datos.

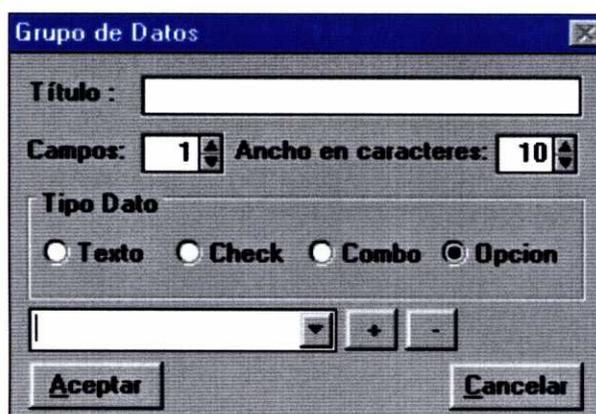
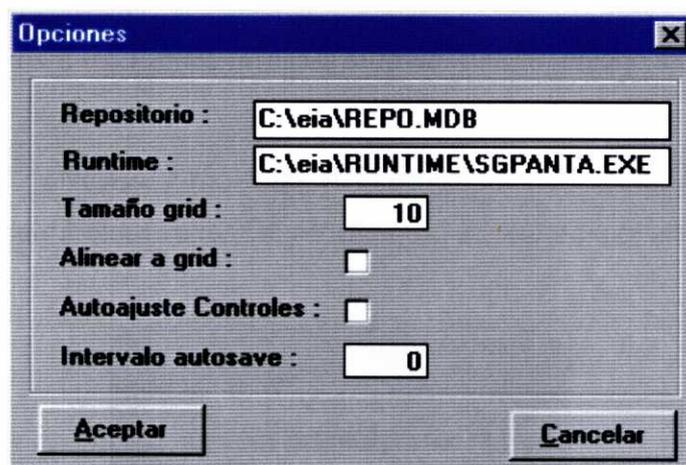


Figura A.5.16.- Definición de grupos de datos.

El *Título* indica el nombre del marco que englobará a los controles creados. El valor de *Campos* indica el número de controles a crear. El *Ancho de caracteres* define el ancho que

van a tener los controles creados. El *Tipo Dato* permite definir el tipo de control que se desea crear.

- La opción de *Configuración* permite modificar las opciones por defecto establecidas en el SDP. Esta opción se encarga de la configuración, tal y como puede verse en la figura A.5.17, de los siguientes parámetros: ruta completa del repositorio local, ruta al ejecutable del SDP, tamaño por defecto de las pantallas, tipo de movimiento de los controles, autoajuste de controles, intervalo de que define la grabación automática de las pantallas definidas cada cierto intervalo de tiempo.



*Figura A.5.17.- Pantalla de configuración del SDP.*

El SDP incorpora un conjunto de opciones mediante la pantalla de la figura A.5.18 que permiten ajustar el tamaño y alineamiento de grupos de controles de forma automática.



*Figura A.5.18.- Opciones de alineamiento y tamaño de controles.*



Alinea los controles seleccionados, mediante la tecla <ctrl>, a la izquierda, tomando como referencia el primer control seleccionado.



Alinea los controles horizontalmente, tomando como referencia el primer control seleccionado.



Ajusta el ancho de los controles tomando como referencia el primer control seleccionado.



Ajusta el alto de los controles tomando como referencia el primer control seleccionado.



Ajusta el ancho y alto de los controles tomando como referencia el primer control seleccionado.



Activando esta opción, el SDP permite sacar un control del marco que lo contiene.

El SDP incorpora el editor de propiedades de la figura A.5.18, que se invoca con la tecla de función "F4", para gestionar todas las propiedades del control seleccionado.

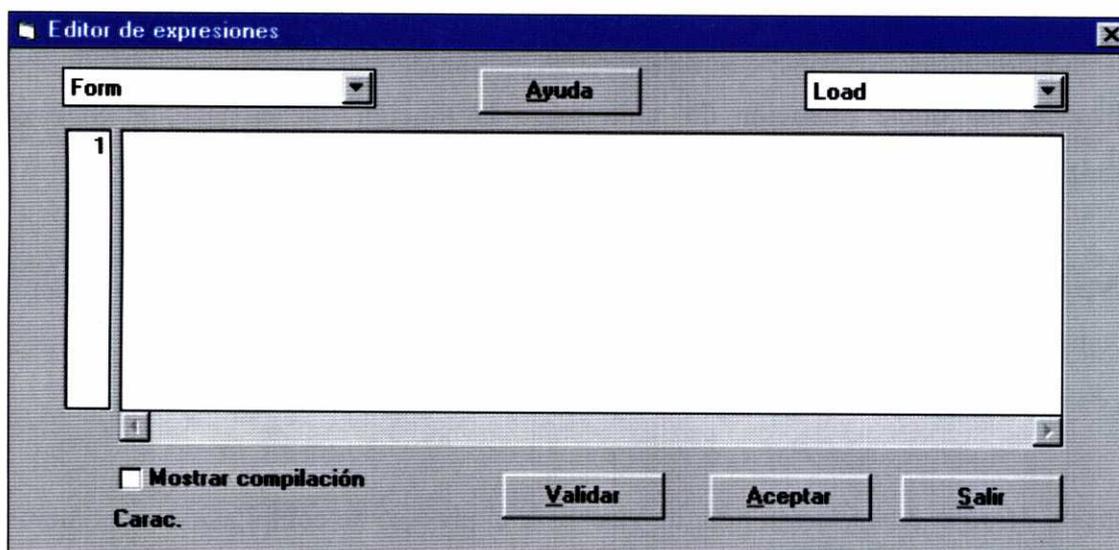


Figura A.5.18.- Editor de propiedades.

El campo *Control* permite seleccionar el control que se desea modificar. Esta lista contiene todos los controles creados en la pantalla actual.

El campo de introducción  permite modificar la propiedad seleccionada en la lista de propiedades. El campo  permite aceptar o cancelar el cambio realizado sobre una propiedad en función del resultado de su validación.

Para dotar a las pantallas de la posibilidad de una lógica más compleja, se ha diseñado un lenguaje asociado a los diferentes eventos de los controles. El editor de expresiones de la figura A.5.19, incluido en el SDP, sirve de ayuda a la hora de crear código específico para una pantalla.



*Figura A.5.19.- Editor de expresiones.*

La lista de la parte superior izquierda del editor contiene todos los controles creados en la pantalla actual junto con el propio formulario, pero sólo se listan los controles que contienen los correspondientes eventos. La *Ayuda* muestra la lista de la figura A.5.20 que contiene todas las funciones que soporta el SDP.



Figura A.5.20.- Lista de funciones del editor de expresiones.

Realizando una doble pulsación de ratón sobre la función seleccionada, el SDP copia automáticamente el formato sobre el campo de edición.

La lista de la parte superior derecha del editor de expresiones muestra los eventos disponibles para el control seleccionado en la lista de controles. Además, el editor de expresiones incorpora un campo de edición disponible para la introducción de código específico.

La opción *Mostrar compilación* permite visualizar el proceso de compilación en el momento de validar las expresiones introducidas en la edición.

La opción *Validar* analiza las expresiones introducidas en el campo de edición. En el caso de que el proceso de validación no se haya resultado satisfactoriamente, el sistema mostrará el correspondiente mensaje de error.

A continuación se describen los tipos de datos, objetos y operadores soportados por el lenguaje.

Tipos de datos soportados: *Number* y *String*.

Tipos de objetos soportados: *Controles de pantalla* y *Variables globales*.

Operadores de acceso a los objetos:

- @                    Contenido del objeto.
- @App.variable    Devuelve el contenido de la variable App.variable.
- @Control            Devuelve el contenido del control.
- ^                    Referencia al objeto.
- ^App.variable    Referencia la variable App.variable.
- ^Control            Referencia el control.

Finalmente, se describe el lenguaje de programación soportado, indicando la sintaxis y función de cada una de las primitivas.

**IFF:** Evalúa una condición y ejecuta la expresión correspondiente. El valor de retorno es el de la expresión devuelta.

---

*IFF(condición, expresión\_true, expresión\_false)*

SI condición=TRUE entonces

    ejecuta expresión\_true

SINO

    ejecuta expresión\_false

FINSI

**GOTO:** Salta al número de línea especificado. Esta función no devuelve ningún valor de retorno.

---

*GOTO(número)*

**CALL:** Ejecuta la macro especificada. Esta función no devuelve ningún valor de retorno.

---

*CALL(función[,parámetros...])*

Cuando se ejecuta la función CALL, el sistema sustituye los parámetros definidos en la macro especificada por los parámetros de la llamada. Por ejemplo:

```
Sub funcion1($arg1,$arg2)
```

```
Return(@$arg1||@$arg2)
```

La función CALL(Función, Ref(^Control1),Ref(^Control2)) realiza la siguiente sustitución y devuelve el resultado de evaluar Return(@Control1||@Control2)

**ENV:** Devuelve la variable de entorno especificada. Esta función devuelve una cadena.

---

*Env(string)*

**INI:** Devuelve un valor de un fichero ini. Esta función devuelve una cadena.

---

*INI(sección,clave,fichero\_ini)*

Por ejemplo:           Fichero\_ini  
                  [Datos básicos]  
                  Directorio=C:\

La función INI("Datos básicos","Directorio","Fichero.ini") devuelve el valor "C:\".

**HOY:** Devuelve la fecha del sistema según el formato especificado. Esta función devuelve una cadena.

---

*HOY(formato\_fecha)*

Esta función soporta los siguientes formatos:

c	Fecha con el formato <i>ddmmaa</i> y hora con el formato <i>hhmmss</i> .
d	Muestra el día del mes sin el cero inicial (1-31).
dd	Muestra el día del mes con el cero inicial (01-31).
ddd	Muestra el nombre del día abreviado.
dddd	Muestra el nombre del día completo.
w	Muestra el día de la semana como número (1-Domingo, 7-Sabado).
ww	Muestra el número de semana dentro del año (1-53).
m	Muestra el número de mes sin el cero inicial (1-12). Si <i>m</i> sigue a <i>h</i> o <i>hh</i> , indica el minuto, no el mes.
mm	Muestra el número de mes con el cero inicial (01-12). Si <i>m</i> sigue a <i>h</i> o <i>hh</i> , indica el minuto, no el mes.
mmm	Muestra el nombre del mes abreviado.
mmmm	Muestra el nombre del mes completo.
y	Muestra el día del año como un número (1-365).
yy	Muestra el año como un número de dos dígitos (00-99).
yyyy	Muestra el año como un número de cuatro dígitos (100-9999)
h	Muestra la hora del día como un número sin el cero inicial (0-23).
hh	Muestra la hora del día como un número con el cero inicial (00-23).
n	Muestra los minutos como un número sin el cero inicial (0-59).
nn	Muestra los minutos como un número con el cero inicial (00-59).
s	Muestra los segundos como un número sin el cero inicial (0-59).
ss	Muestra los segundos como un número con el cero inicial (00-59).

*GET\_DIAS*: Devuelve el número de días transcurridos desde la fecha indicada en la función.

Esta función devuelve un entero.

---

*GET\_DIAS*(fecha)

*LEN*: Devuelve el número de caracteres de una cadena. Esta función devuelve un entero.

---

*LEN(string)*

*VAL*: Convierte una cadena de caracteres en su valor numérico. Esta función devuelve un real.

---

*VAL(string)*

*STR*: Convierte un valor numérico a cadena de caracteres. Esta función devuelve una cadena.

---

*STR(número)*

*LEFT*: Devuelve un número determinado de los caracteres iniciales de una cadena. Esta función devuelve una cadena.

---

*LEFT(string,número)*

*RIGHT*: Devuelve un número determinado de los caracteres finales de una cadena. Esta función devuelve una cadena.

---

*RIGHT(string,número)*

*SUBSTR*: Devuelve un número de caracteres determinado a partir de la posición indicada.

---

*SUBSTR(string,inicio,número)*

*FORMAT*: Devuelve la cadena según el formato especificado. Esta función devuelve una cadena.

---

*FORMAT(string,formato)*

**VISIBLE:** Hace visible o invisible un control de la pantalla.

---

*VISIBLE(^Control,TRUE|FALSE)*

**ENABLE:** Habilita o deshabilita un control de pantalla.

---

*ENABLE(^Control,TRUE|FALSE)*

**SETFOCUS:** Establece el control activo de la pantalla.

---

*SETFOCUS(^Control)*

**CAMBIO:** Devuelve *TRUE* si cambia el contenido de un control o *FALSE* en caso contrario.

---

*CAMBIO(^Control)*

**LOV\_COL:** Devuelve el último valor de la columna especificada de una lista de valores. Se utiliza para el control de desplazamiento en una lista de valores. Esta función puede devolver un entero o una cadena.

---

*LOV\_COL(Columna)*

**COL\_LOV:** Referencia la columna especificada de una lista de valores. Se utiliza para indicar el destino de un campo dentro de una lista de valores.

---

*COL\_LOV(^Lista\_valores,Columna)*

**SET\_ITEM:** Fija el valor de una columna en una lista.

---

*SET\_ITEM(^ListBox,Nuevo\_valor,Columna,File|-1)*

*GET\_ITEM*: Devuelve el valor de una columna en una lista. Esta función devuelve una cadena.

---

*GET\_ITEM(^ListBox,Columna,Fila)*

*SUMA*: Devuelve la suma de los elementos de una columna de una lista. La columna debe contener un dato numérico. Esta función devuelve un real.

---

*SUMA(@Lista.Control)*

*PROD*: Devuelve el producto de los elementos de una columna de una lista. La columna debe contener un dato numérico. Esta función devuelve un entero.

---

*PROD(@Lista.Control)*

*AVG*: Devuelve el valor medio de los elementos en una de las columnas de una lista. La columna debe contener un dato numérico. Esta función devuelve un real.

---

*AVG(@Lista.Control)*

*CONT*: Devuelve el número de elementos en una de las columnas de una lista.

---

*CONT(@Lista.Control)*

*SQLCODE*: Devuelve el código de retorno del último acceso a una BD.

---

*SQLCODE()*

**SELECT:** Realiza la selección especificada sobre una BD. Después de la llamada, se comprueba el resultado mediante la llamada a la función *SQLCODE()*.

---

*SELECT(tabla,campos,donde,num\_filas,(parámetros...))*

El parámetro *num\_filas* controla el número máximo de registros devueltos.

*SELECT("acciones","cod\_acc,nom\_acc","cod\_acc=11",1,^App.cod\_acc,^App.nom\_acc)*

En la selección del ejemplo se obtiene el código y la descripción de la acción de código 11 sobre las variables *App.cod\_acc* y *App.nom\_acc*.

**UPDATE:** Realiza la actualización especificada sobre la BD. Después de la llamada, se comprueba el resultado mediante la llamada a la función *SQLCODE()*.

---

*UPDATE(tabla,campos,donde,(valores))*

*UPDATE("correctoras","des\_cor,cod\_est","cod\_cor=6",@App.d\_cor,@App.c\_est)*

El ejemplo anterior realiza la actualización de la descripción y el coste estimado de la medida correctora de código 11, utilizando los valores de las variables *App.d\_cor* y *App.c\_est*.

**DELETE:** Realiza el borrado especificado sobre la BD. Posteriormente, se comprueba el resultado mediante la llamada a la función *SQLCODE()*.

---

*DELETE(tabla,donde)*

*DELETE("funciones","cod\_fun\_tra=33")*

El ejemplo de borrado elimina la función de transformación de código 33.

*REFRESH()*: Vuelve a realizar la carga de los datos de la pantalla con los valores actuales de los campos. Se utiliza para actualizar la pantalla después de establecer los valores de los campos clave. Para comprobar el resultado se debe llamar a la función *SQLCODE()*.

---

*DECLARE*: Declaración de variables globales. Las variables pertenecen siempre a la aplicación y su nomenclatura es *APP.nombrevariable*. Únicamente se pueden declarar variables en el evento de pantalla *FORM LOAD*.

---

*DECLARE(^App.nombre, tipo)*

El tipo puede ser *NUMBER (%)* o *STRING (\$)*.

*DECLARE(^App.var1, String)*

*DECLARE(^App.var1, "\$")*

*DECLARE(^App.número, Number)*

*DECLARE(^App.número, "%")*

*SET*: Establece el valor de un objeto (control o variable global).

---

*SET(^objeto, valor)*

*SET(^App, var1, "Prueba")*

*MSGBOX*: Permite visualizar un cuadro de texto.

---

*MSGBOX("Texto", Opción, "Titulo")*

El SDP utiliza un fichero de configuración que mantiene las opciones de la aplicación fijadas a través de la opción del menú *Configuración*. Dicho fichero de configuración posee la

misma organización que los ficheros de configuración de las “Windows”: Secciones, Claves y Valores.

```
[SECCION1]
CLAVE1=VALOR
CLAVE2=VALOR
...
[SECCIONn]
CLAVEn=VALOR
```

La estructura del fichero de configuración, llamado *DEFPAN.INI*, es la siguiente:

```
[Pantallas]
Repositorio=<Ruta al repositorio de pantallas>
[Entorno]
GridSize=<Tamaño inicial de la celda>
AlignGrid=<0 - No alinear | 1 - Alinear>
AutosaveIntervalo=<0 - No salvado automático | nnn - Segundos>
Autosize=<1 - Ajuste de tamaño automático | 0 - Sin ajuste>
Help=<Ruta al fichero de ayuda>
Runtime=<Ruta al ejecutable de pantallas>
[Animación]
Fli=<Ruta al fichero de animación de la presentación>
```

## **ANEXO 6.- SUBSISTEMA DE EJECUCIÓN DE PANTALLAS.**

El SEP es el responsable de la generación de las pantallas a partir de su definición en el repositorio y de la interpretación del código asociado a los eventos de los controles, así como de realizar las operaciones de acceso a las BB.DD asociadas.

Se accede al SEP a través del icono del Subsistema de Ejecución de Pantallas del SH. El SEP permite especificar el directorio donde reside el repositorio que contiene la pantalla a ejecutar. Posteriormente, se podrá seleccionar, como repositorio de pantallas activo, cualquiera de los repositorios existentes en el directorio seleccionado. La lista *Pantallas* de la ventana de selección permite definir, entre las pantallas existentes en el repositorio activo, la pantalla a ejecutar.

## ANEXO 7.- EJEMPLO DE DISEÑO DE PANTALLAS.

La figura A.7.1 muestra la edición, a través del SGB, de la tabla de acciones de la BD de EIA.

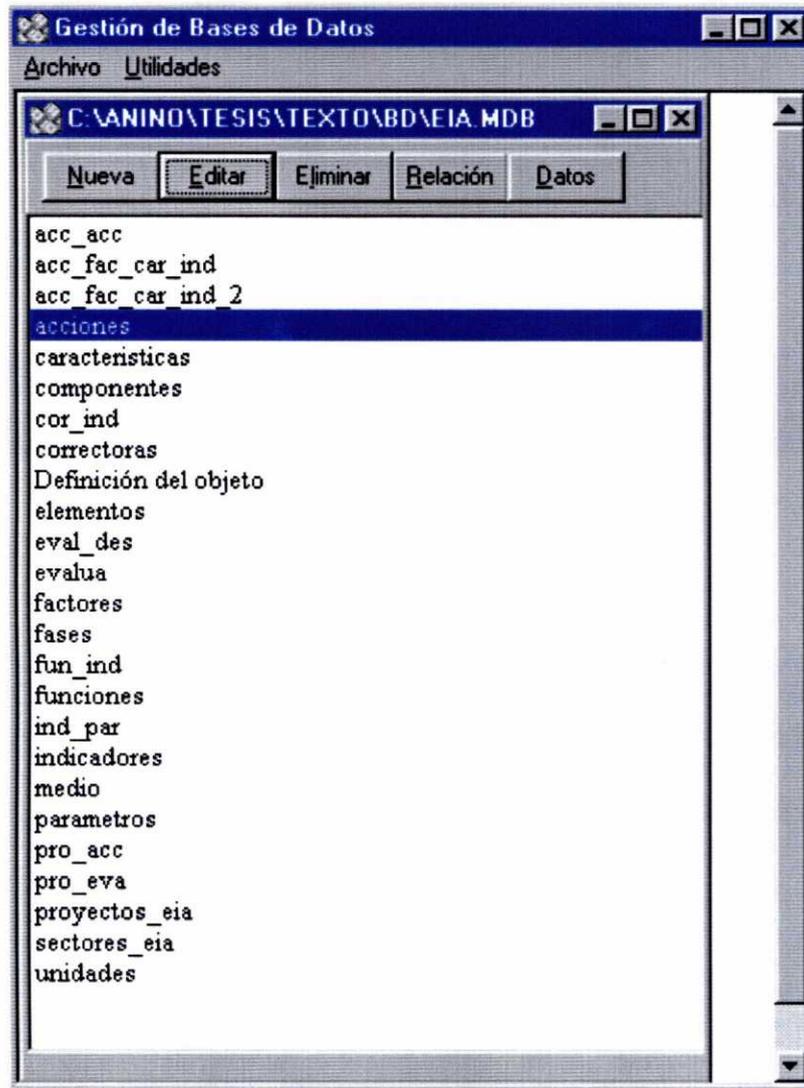


Figura A.7.1.- Gestión de la BD de EIA mediante el SGB.

La figura A.7.2 muestra la ventana de edición de la tabla *acciones* de la BD de EIA. El siguiente ejemplo muestra la creación de una pantalla de mantenimiento de los datos de la tabla *acciones*. Para ello, se utiliza la opción de *Generación Automática* del SDP, fijando la BD de EIA y la tabla *acciones*.

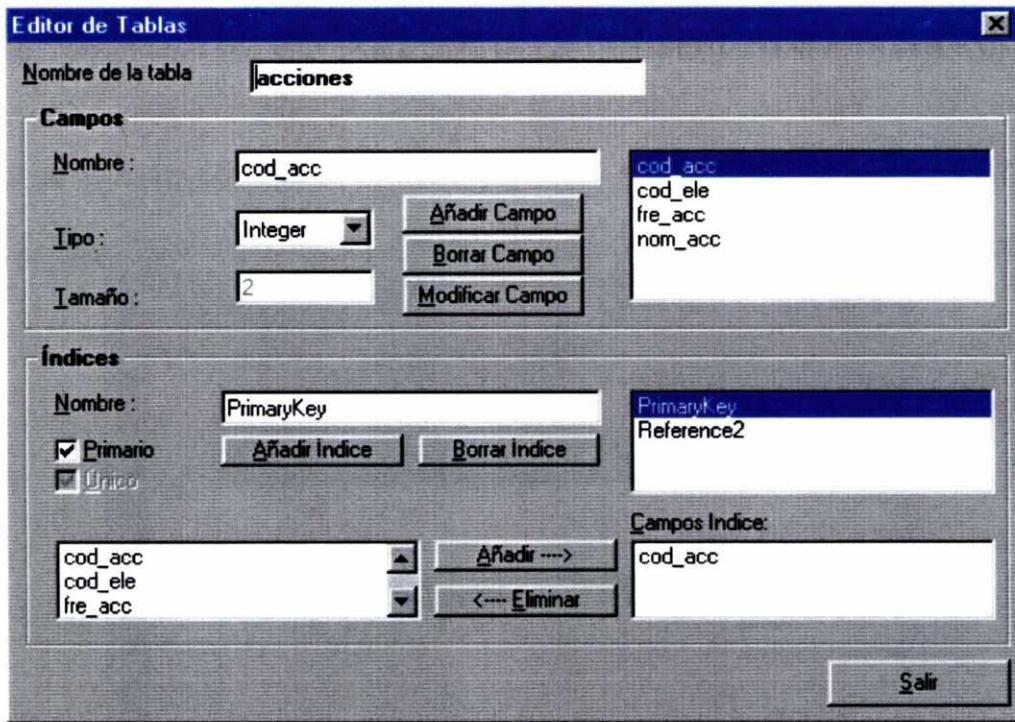


Figura A.7.2.- Edición de la tabla acciones.

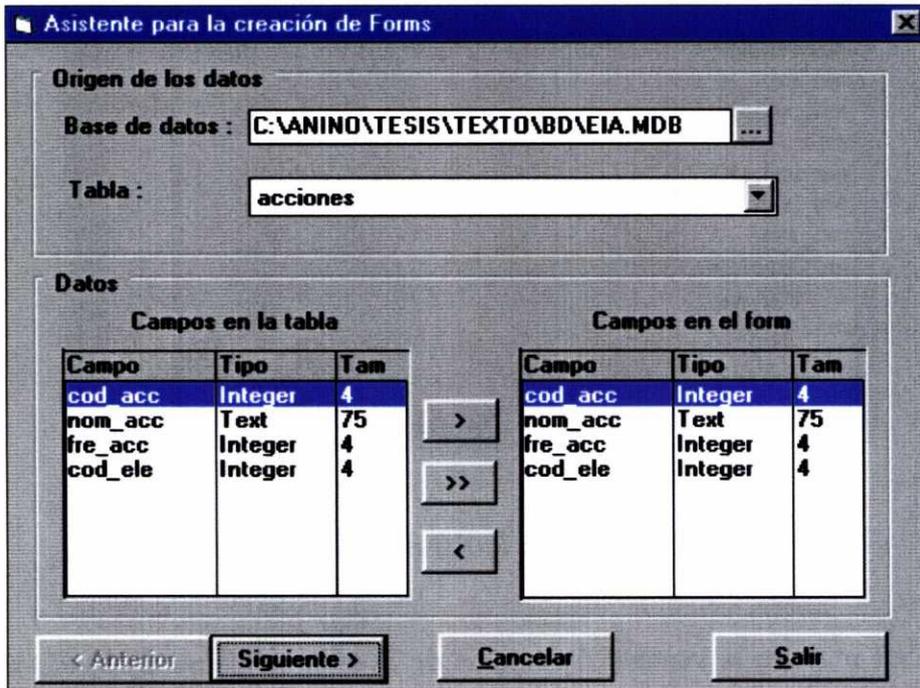


Figura A.7.3.- Selección de la BD y la tabla.

En la pantalla de la figura A.7.4, se define como clave el campo *cod\_acc*, de los diferentes campos seleccionados en la pantalla de la figura A.7.3.

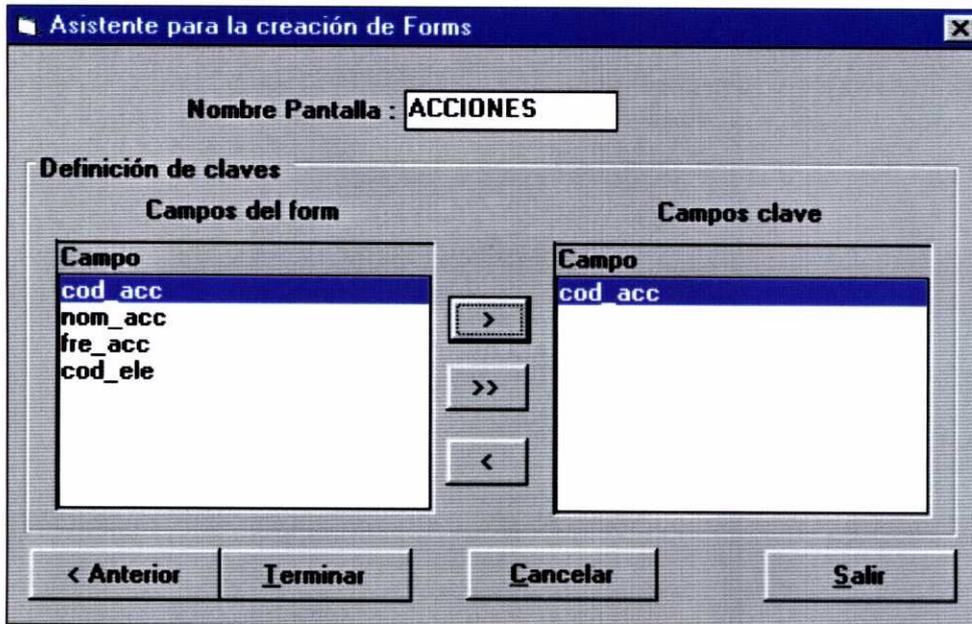


Figura A.7.4.- Selección de los campos clave de la pantalla.

A partir de esta definición, el SDP genera la pantalla de la figura A.7.5, donde las propiedades de los controles se asignan automáticamente a partir de los atributos de la BD.

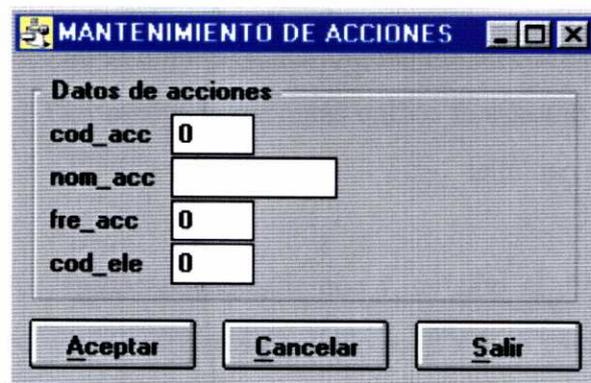


Figura A.7.5.- Pantalla de entrada generada.



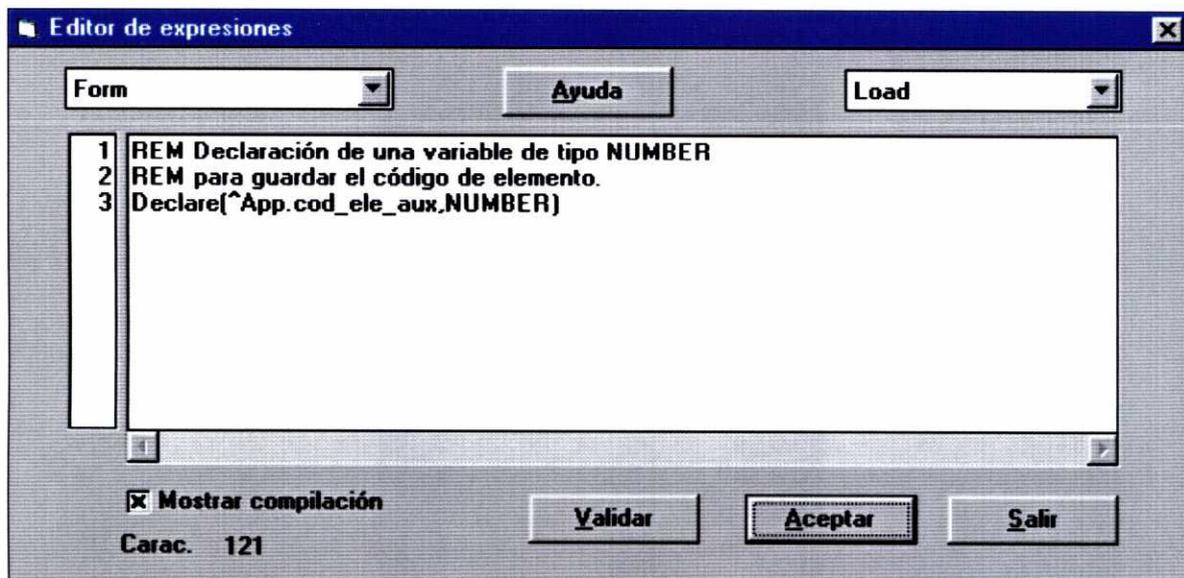


Figura A.7.7.- Edición y compilación del código asociado al evento Load.

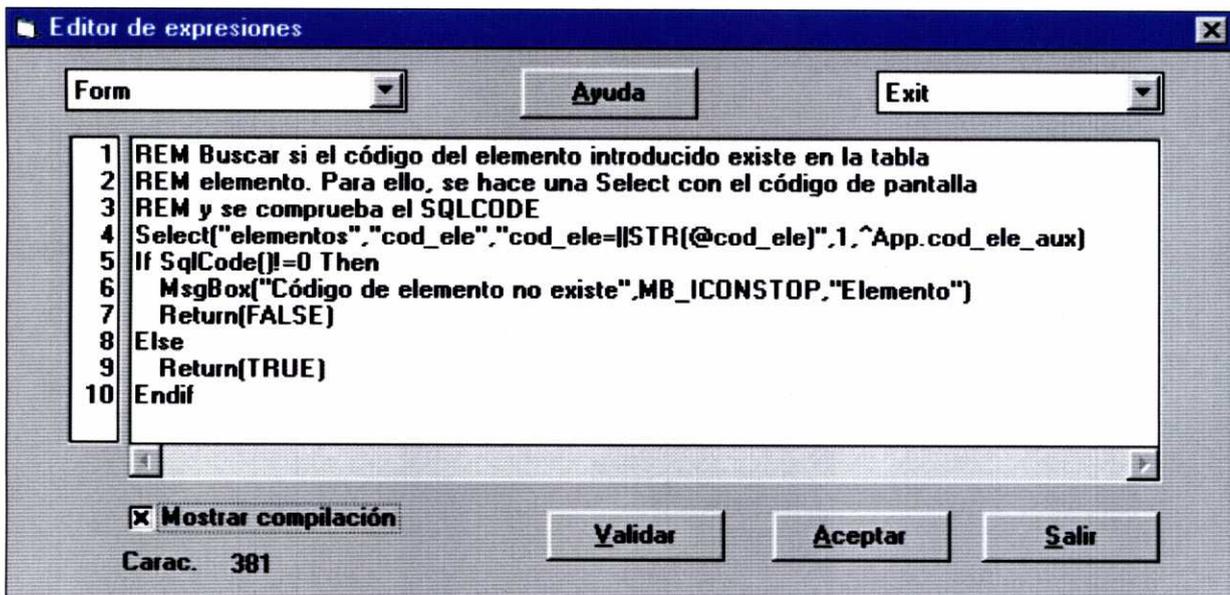


Figura A.7.8.- Edición y compilación del código asociado al evento Exit.

El SDP asignará, automáticamente, un conjunto de propiedades a los diferentes controles de la pantalla ejemplo. El SDP incorpora un formulario de edición de propiedades, accesible mediante la tecla de función F4, que permite modificar las características de los diferentes controles. Las figuras A.7.9 y A.7.10 muestran el editor y las propiedades de control *cod\_acc*.



Figura A.7.9.- Propiedades del control `cod_acc`.



Figura A.7.10.- Propiedades del control `cod_acc`.

Las figuras A.7.11 y A.7.12 muestran las propiedades del control `nom_acc`.



Figura A.7.11.- Propiedades del control *nom\_acc*.



Figura A.7.12.- Propiedades del control *nom\_acc*.

Las figuras A.7.13 y A.7.14 muestran las propiedades del control *fre\_acc*.

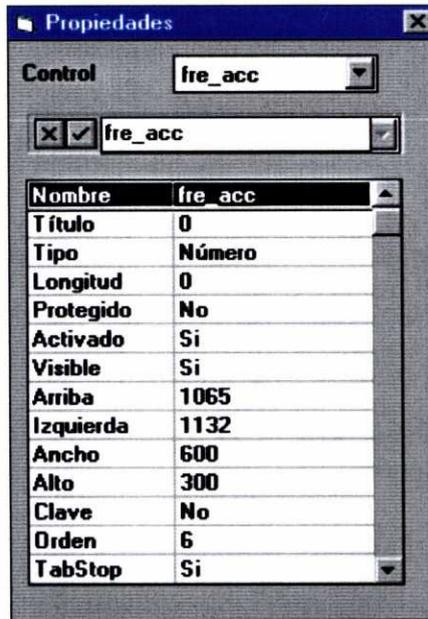


Figura A.7.13.- Propiedades del control *fre\_acc*.



Figura A.7.14.- Propiedades del control *fre\_acc*.

Las figuras A.7.15 y A.7.16 muestran las propiedades del control *cod\_ele*.



Figura A.7.15.- Propiedades del control *cod\_ele*.



Figura A.7.16.- Propiedades del control *cod\_ele*.

Finalmente, quedaría a disposición de los usuarios, almacenada en el correspondiente repositorio, la pantalla de mantenimiento de acciones de la figura A.7.17.

**MANTENIMIENTO DE ACCIONES** [X]

**Datos de acciones**

cod_acc	1001
nom_acc	Y TRAZADO
fre_acc	0
cod_ele	1100

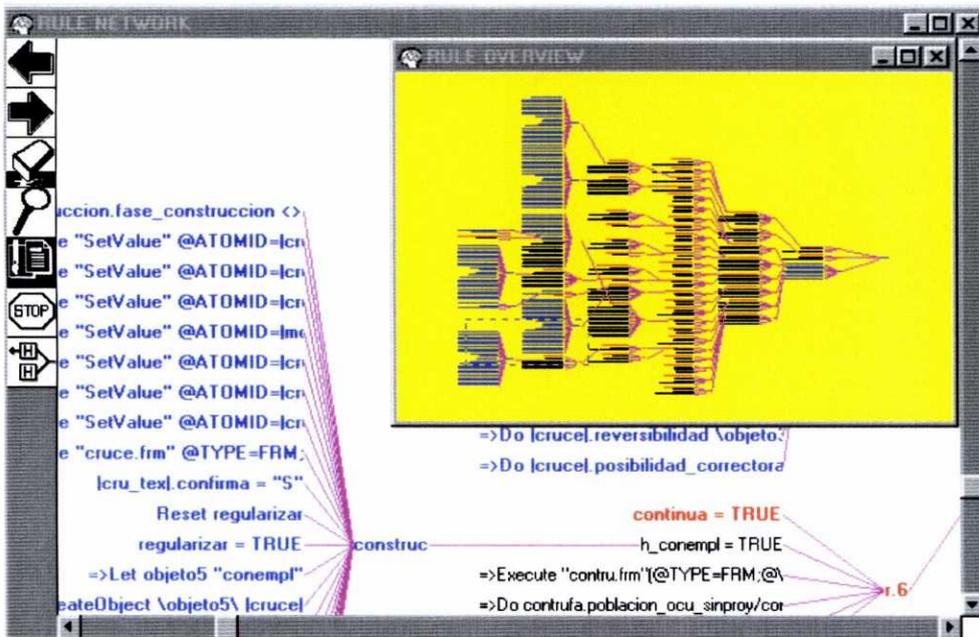
Aceptar    Cancelar    Salir

*Figura A.7.17.- Pantalla de mantenimiento de acciones.*

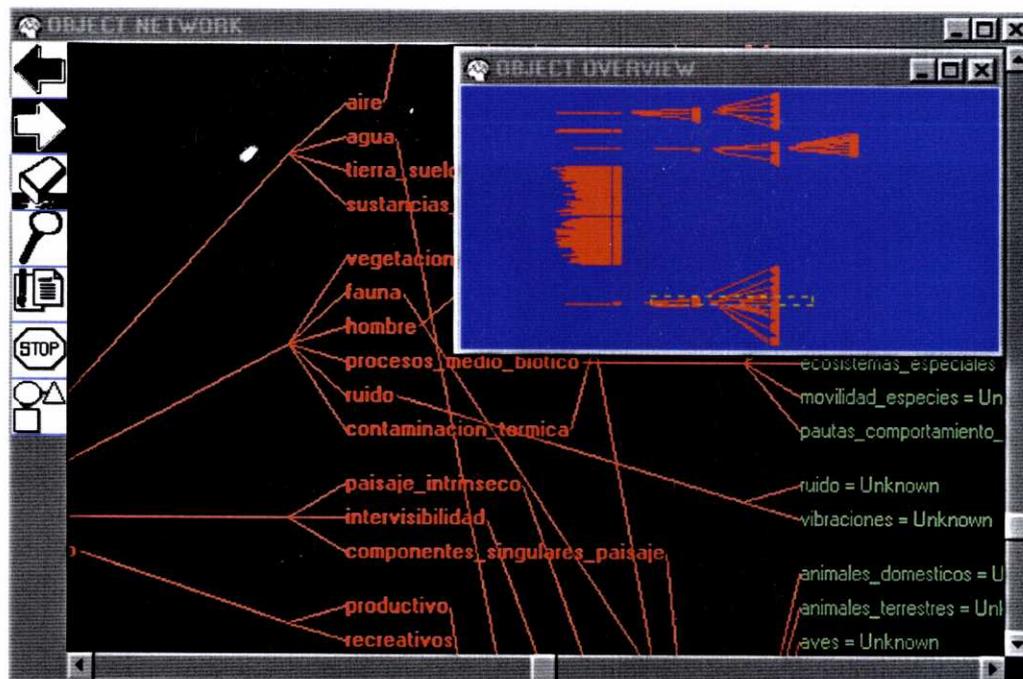
**ANEXO 8.- HERRAMIENTA DE DESARROLLO DE PROPÓSITO GENERAL.**



*Figura A.8.1.- Entorno de desarrollo "Nexpert".*



*Figura A.8.2.- Entorno de gestión de reglas de producción.*



*Figura A.8.3.- Entorno de gestión de objetos.*

## ANEXO 9.- REGLAS DE PRODUCCIÓN DE ACTUALIZACIONES Y CONSULTAS.

Este tipo de reglas de producción se pueden agrupar en los siguientes cuatro tipos:

- 1) La primera categoría está formada por "reglas que incluyen una actualización en la parte evento y una actualización en la parte acción".

```
IF    UPDATE    cod_acc OR cod_car OR cod_fac_amb OR
        cod_ind INTO evalua
THEN do UPDATE    val_con_pro = UNKNOWN,
        val_sin_pro = UNKNOWN INTO evalua
        WHERE (cruce_modificado)
        UPDATE cod_acc, cod_car, cod_fac_amb, cod_ind
        INTO acc_fac_car_ind
        FROM evalua.cod_acc, evalua.cod_car,
        evalua.cod_fac_amb, evalua.cod_ind
```

Esta regla detecta el evento de actualización de alguno de los parámetros que identifican un cruce en una EIA: acción, característica, FA o indicador. Como resultado, se asigna el valor "desconocido" a los valores de impacto con y sin proyecto y se inserta el nuevo cruce en el histórico de cruces. La ejecución de esta regla requerirá la evaluación de una nueva hipótesis encaminada al análisis completo del nuevo cruce. A su vez, dicha hipótesis lanzará todo un conjunto de nuevas hipótesis cuya evaluación final permitirá determinar el valor del impacto final del cruce afectado. Las reglas asignadas a las hipótesis generadas pueden modificar otros campos de la BD, provocando la ejecución de nuevas reglas.

- 2) La segunda categoría, "reglas de actualización como evento y consulta como acción", actúa de una forma similar a un sistema de alarmas.

```
IF    UPDATE    cod_acc OR cod_car OR cod_fac_amb OR
        cod_ind INTO acc_fac_car_ind
```

```

WHERE (cruce_modificado) OR (cruce_nuevo)
THEN do SELECT cod_acc_b, cod_car_b, cod_fac_amb_b,
              cod_ind_b
FROM acc_fac_car_ind_2
WHERE acc_fac_car_ind2.cod_acc_a =
      cod_acc
      AND acc_fac_car_ind2.cod_car =
      cod_car
      AND acc_fac_car_ind2.cod_fac_amb_a =
      cod_fac_amb
      AND acc_fac_car_ind2.cod_ind_a =
      cod_ind

SELECT cod_ind FROM indicadores
      WHERE indicadores.cod_ind = cod_ind
      AND indicadores.fre_ind > 0.25

```

Esta regla detecta el evento de actualización de algún cruce. Como resultado, se selecciona un conjunto de posibles cruces de impacto a evaluar. Esta acción establece un nuevo conjunto de hipótesis, una por cada cruce sugerido. Además, se sugiere un conjunto de indicadores, con una frecuencia de utilización superior al 0,25, como posibles alternativas de cuantificación del impacto. Como se puede apreciar, la regla ejemplo de la segunda categoría se lanza, junto a otras muchas reglas, como resultado de la evaluación de la regla ejemplo de la primera categoría.

- 3) La tercera categoría está constituida por "reglas de la forma SI evento consulta ENTONCES acción consulta".

```

IF CREATE VIEW acc_0_30 (cod_acc) AS
SELECT cod_acc FROM pro_acc
      WHERE cod_pro_eia = cod_pro_actual AND
      cod_acc IN
      SELECT cod_acc FROM acciones

```

```

WHERE      fre_acc > 0.30
THEN do CREATE VIEW  acc_* (cod_acc_2) AS
SELECT    cod_acc_2 FROM acc_acc
WHERE     cod_acc_1 = cod_acc_selec AND
         cod_acc_2 IN
         SELECT cod_acc FROM acc_0_30
SELECT    cod_acc_2 FROM acc_acc
WHERE     cod_acc_1 = cod_acc_selec AND
         cod_acc_2 NOT IN
         SELECT cod_acc_2 FROM acc_*

```

Esta regla detecta el evento de selección de aquellas acciones relacionadas con un proyecto empresarial o de infraestructura, cuya frecuencia de utilización sea superior al 0,30. La acción de la regla establece, como hipótesis de trabajo, las acciones de frecuencia superior al 0,30 sugeridas por el tipo de proyecto en evaluación y por la acción actualmente activa o en estudio. Además, se sugiere un segundo conjunto de acciones, de menor peso específico, constituido únicamente por las acciones sugeridas por la acción en estudio.

Como resultado de la regla del ejemplo, se obtienen tres conjuntos de hipótesis de trabajo: a) el conjunto de mayor peso estará formado por las acciones sugeridas por el tipo de proyecto en estudio y por la acción activa en cada momento; b) el segundo conjunto en orden de importancia, estará formado por las acciones únicamente sugeridas por el tipo de proyecto en evaluación; y c) el último conjunto estará formado por las acciones sugeridas por la acción actualmente activa y que no forman parte de ninguno otro conjunto. Un patrón común a todos los conjuntos es el de una frecuencia de utilización de la acción superior al 0,30. Este tipo de parámetros posibilita la manipulación, en función de los requerimientos de cada EIA, del tamaño del espacio de búsqueda.

Esta tercera categoría de reglas utiliza el concepto de "vista". La mayor parte de los SGBD actuales incorporan diferentes algoritmos de definición de vistas.

Otro aspecto de gran importancia considerado en el desarrollo realizado es el de la "recursividad de reglas". Esta técnica permite explotar toda la potencialidad de la estrategia de encadenamiento regresivo. En este sentido, la activación de alguna de las acciones de los conjuntos sugeridos volverá a lanzar la regla del ejemplo pasando, nuevamente, a establecer una nueva jerarquía de conjuntos de acciones.

Además, la utilización de "vistas" elimina la posible ambigüedad en las actualizaciones. En concreto, el sistema incorpora un conjunto de reglas que rigen la semántica de actualización. Normalmente, el sistema trabaja con "vistas" que, posteriormente, se actualizan sobre las tablas base. Por ejemplo, si el sistema considera un cruce evaluado con anterioridad, para ser nuevamente evaluado se utilizará, como memoria de trabajo, una "vista" de la tabla "evaluaciones" con parte de los cruces ya evaluados.

```
CREATE VIEW evalua_pro001 (codigo_eva, cod_acc, cod_car,  
                           cod_fac_amb, cod_ind,  
                           val_con_pro, val_sin_pro,  
                           cod_fun_tra) AS  
SELECT * FROM evalua WHERE codigo_eva = 2
```

Sobre esta "vista" se pueden definir diferentes reglas de actualización:

```
IF UPDATE cod_acc OR cod_car  
OR cod_fac_amb OR  
cod_ind OR cod_fun_tra  
INTO evalua_pro001  
THEN do UPDATE val_con_pro = UNKNOWN,  
val_sin_pro = UNKNOWN  
INTO evalua  
WHERE (cruce_modificado)
```

Otra área de experimentación, que incluye una gran funcionalidad en el sistema, analiza las prestaciones de una aproximación basada en versiones. La técnica utilizada añade, sobre una versión de una o varias tablas previamente generada, los siguientes pasos:

- Se define una versión que incluye todos los registros de las tablas base. La opción implementada normalmente genera versiones con un subconjunto de los registros de las tablas base. Los registros que forman parte de la versión se obtienen, normalmente, a través de la aplicación de reglas de producción. Esta técnica permite acotar considerablemente el espacio de búsqueda.
- Se actualiza la versión generada. La ejecución de nuevas reglas únicamente modificará la versión generada. Las actualizaciones sobre la versión no tienen ninguna repercusión sobre las tablas base.
- Finalmente, se actualizan las tablas base a partir de las modificaciones realizadas sobre la versión.

Básicamente, esta aproximación hace las modificaciones sobre una copia de diferentes tablas de la BD. Posteriormente, las actualizaciones definitivas se actualizan sobre la BD.

Otro aspecto particular, utilizado en el sistema, es el de la generación de diferentes vistas sobre las mismas tablas. Normalmente, las vistas generadas son excluyentes e incorporan un peso o factor de importancia que determina el nivel de confianza de su clase. En este sentido, la regla ejemplo de esta categoría se redefine con el siguiente conjunto de vistas:

```
CREATE VIEW acciones_tot (cod_acc, fre_acc) AS
      SELECT cod_acc FROM acciones
```

```
CREATE VIEW acciones_* (cod_acc, fre_acc) AS
      SELECT pro_acc.cod_acc, acciones_tot.fre_acc
      FROM pro_acc, acciones_tot
      WHERE pro_acc.cod_pro_eia = cod_pro_actual AND
            pro_acc.cod_acc = acciones_tot.cod_acc AND
            pro_acc.cod_acc IN
```

```

SELECT cod_acc_2 FROM acc_acc
      WHERE cod_acc_1 = cod_acc_sel

```

```

CREATE VIEW acciones_x (cod_acc, fre_acc)
SELECT pro_acc.cod_acc, acciones_tot.fre_acc
      FROM pro_acc, acciones_tot
      WHERE pro_acc.cod_pro_eia = cod_pro_actual AND
            pro_acc.cod_acc = acciones_tot.cod_acc AND
            pro_acc.cod_acc NOT IN
            SELECT cod_acc FROM acciones_*

```

```

CREATE VIEW acciones_S (cod_acc, fre_acc)
SELECT cod_acc, fre_acc
      FROM acciones_tot
      WHERE cod_acc IN
            SELECT cod_acc_2 FROM acc_acc
            WHERE cod_acc_1 = cod_acc_sel
            AND cod_acc NOT IN
            SELECT cod_acc FROM acciones_*
            AND cod_acc NOT IN
            SELECT cod_acc FROM acciones_x

```

Estas vistas generan cuatro conjuntos de registros, el primero con todas las acciones, el segundo con las acciones sugeridas por el proyecto evaluado y por la acción activa o en estudio, el tercero con las acciones sugeridas únicamente por el proyecto evaluado y, finalmente, el cuarto con las acciones únicamente sugeridas por la acción activa. Como se puede observar, las hipótesis de partida del segundo conjunto tienen un nivel de confianza superior a los otros.

- 4) La cuarta y última categoría está constituida por reglas de la forma "SI evento consulta ENTONCES acción actualización".

```

IF SELECT      cod_acc, cod_fac_amb, cod_car, cod_ind
      FROM acc_fac_car_ind
THEN do  INSERT INTO evalua
        SET  codigo_eva = codigo_eva_conf,
            evalua.cod_acc = cod_acc_conf,
            evalua.cod_fac_amb = cod_fac_amb_conf,
            evalua.cod_car = cod_car_conf,
            evalua.cod_ind = cod_ind_conf
            evalua.val_con_pro = UNKNOWN
            evalua.val_sin_pro = UNKNOWN
            evalua.cod_fun_tra = UNKNOWN

```

Esta regla detecta el evento de selección y la posterior confirmación de un nuevo cruce de impacto. La acción de la regla registra el correspondiente impacto en la tabla de evaluaciones. Además, se asigna un valor desconocido a los cuantificadores del impacto con y sin proyecto y a la función de transformación del cruce. Como resultado de esta asignación, se lanzarán nuevas reglas encaminadas a la correcta cuantificación de los citados impactos.

## ANEXO 10.- ASPECTOS SEMÁNTICOS DE LAS REGLAS.

Las reglas definidas en el SE programado se fundamentan en una serie de aspectos semánticos indispensables para el correcto funcionamiento del sistema:

- 1) El primer aspecto semántico considerado analiza varias alternativas de activación de las reglas en diferentes momentos.

La alternativa inmediata ejecuta la regla en el momento exacto de la ocurrencia del evento. Otras posibilidades posponen la ejecución de la regla hasta el final del comando o de la transacción. En general, el resultado de la aplicación de las reglas dependerá del momento de su ejecución.

- 2) Otro aspecto semántico considerado analiza las implicaciones de la utilización de un encadenamiento progresivo o regresivo. Por ejemplo, la regla "a" del siguiente ejemplo se encuadra en un contexto de encadenamiento progresivo y la "b" de encadenamiento regresivo.

```
a) IF UPDATE      cod_fac_amb = 1213 FROM evalua
      WHERE        cod_car = 11
      THEN do      UPDATE      evalua.val_con_pro = UNKNOWN,
                    evalua.val_sin_pro = UNKNOWN
                    FROM evalua
                    WHERE evalua.cod_car = 21
```

```
b) IF UPDATE      evalua.val_con_pro = UNKNOWN,
                    evalua.val_sin_pro = UNKNOWN
                    FROM evalua WHERE evalua.cod_car = 21
      THEN do      UPDATE evalua.cod_fac_amb = 1213 FROM evalua
                    WHERE        evalua_cod_car = 11
```

Si se borra algún cruce con la característica 21 de la tabla "evalúa", el encadenamiento regresivo evaluará la regla negativamente. En contrapartida, la primera regla modifica el indicador de los cruces cuya importancia está definida por la característica 11. Ambas aproximaciones, encadenamiento progresivo y regresivo, involucran dos semánticas diferentes.

- 3) Otro aspecto de gran importancia es el orden de aplicación de las reglas. Esta situación se produce cuando se activan dos o más reglas al mismo tiempo. Por ejemplo, si se consideran las siguientes reglas:

```
a) IF    UPDATE    val_con_pro = UNKNOWN,
        val_sin_pro = UNKNOWN
        FROM evalua WHERE cod_acc = 1311
    THEN do UPDATE    val_con_pro = impacto_con_proyecto,
        val_sin_prog = impacto_sin_proyecto
        FROM evalua WHERE cod_acc = 1310
```

```
b) IF    UPDATE    val_con_pro = UNKNOWN,
        val_sin_pro = UNKNOWN
        FROM evalua WHERE cod_ind = 20
    THEN do UPDATE    val_con_pro = 15
        val_sin_pro = 11
        FROM evalua WHERE cod_acc = 1310
```

Ambas reglas afectan a los impactos producidos por la acción 1311 que utilizan el indicador 20 en su evaluación. En este caso, el orden de ejecución de las reglas determinará el estado o actualización de los registros.

Si el sistema no sabe, o no tiene los conocimientos necesarios, para resolver un conflicto o concluir algo, se le presentan al usuario las distintas posibilidades. En este caso, es el usuario el que decide el camino a seguir. En general, la aparición de este tipo de situaciones podría generar nuevos metaconocimientos que se deberían incorporar al sistema.

## **ANEXO 11.- SECUENCIA DE FUNCIONES DEL SUBSISTEMA DE CONTROL.**

1. El SE programado solicita al modulo VB del subsistema de control una petición de ejecución del módulo "Nexpert".
2. El módulo de control VB pasa, al módulo C++, la orden de ejecución del "Nexpert" junto con parte de las conclusiones obtenidas por el SE programado.
3. El módulo de control C++ ejecuta "Nexpert", carga la base de conocimiento y transfiere a una clase del "Nexpert" algunas de las conclusiones del SE programado. La secuencia de funciones necesarias para realizar todas estas tareas es la siguiente:
  - 3.1. NXP\_Control(NXP\_CTRL\_INIT)
  - 3.2. NXP\_LoadKB("base de conocimientos")
  - 3.3. NXP\_GetAtomId("slot\_1", puntero\_1, NXP\_ATYPE\_SLOT)
  - 3.4. NXP\_GetAtomId("slot\_2", puntero\_2, NXP\_ATYPE\_SLOT)
  - 3.5. NXP\_GetAtomId("slot\_n", puntero\_n, NXP\_ATYPE\_SLOT)
  - 3.6. NXP\_Volunteer(objeto, NXP\_DESC\_INT, puntero, NXP\_VSTRAT\_VOLFWRD)
4. Se lanza el motor de inferencias.
  - 4.1. NXP\_Control(NXP\_CTRL\_KNOWCESS)
5. Al finalizar el proceso de inferencia se obtienen las conclusiones del sistema.
  - 5.1. NXP\_GetAtomInfo(0, NXP\_AINFO\_NEXT, 0, NXP\_ATYPE\_OBJECT, NEXP\_DESC\_ATOM, puntero, 0)
  - 5.2. NXP\_GetAtomInfo(0, NXP\_AINFO\_NAME, 0, 0, NXP\_DESC\_STR, buffer, 30)
6. Se cierra el sistema "Nexpert".
  - 6.1. NXP\_Control(NXP\_CTRL\_EXIT)
7. El módulo C++ transfiere las conclusiones obtenidas en el proceso de inferencia al módulo VB.
8. Las conclusiones obtenidas se integran dentro del propio proceso del SE.

## **ANEXO 12.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.**

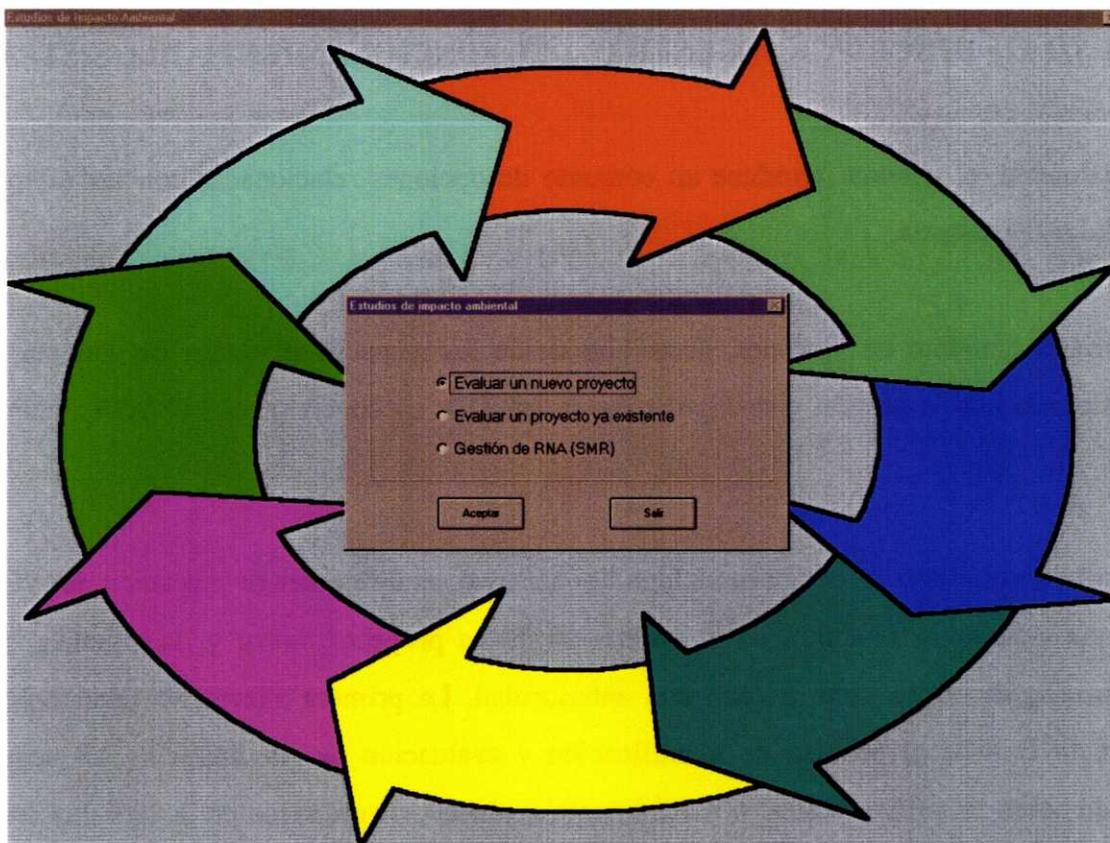
Inicialmente, el sistema introduce un conjunto de opciones relacionadas con los diferentes módulos del sistema.

El primer conjunto de opciones, accesibles desde los respectivos iconos del sistema, está relacionado con la gestión y manipulación de BB.DD, en concreto, con el SGB, SDP y el SEP.

El segundo conjunto de opciones incluye dos alternativas diferentes de ejecución del SE. La primera alternativa se centra en la evaluación de un proyecto nuevo y, la segunda, en la evaluación de un proyecto tratado con anterioridad. La primera alternativa caracteriza un proyecto e inicia el proceso de identificación y evaluación de sus impactos. La segunda trabaja sobre un proyecto total o parcialmente evaluado, centrándose en la reevaluación de los cruces de impacto identificados en sesiones anteriores y en la caracterización y evaluación de nuevos cruces.

La última opción, Gestión de RR.NN.AA (SMR), está relacionado con la generación de conjuntos de entrenamiento de RR.NN.AA, y con la definición, manipulación y entrenamiento de diferentes arquitecturas de RR.NN.AA.

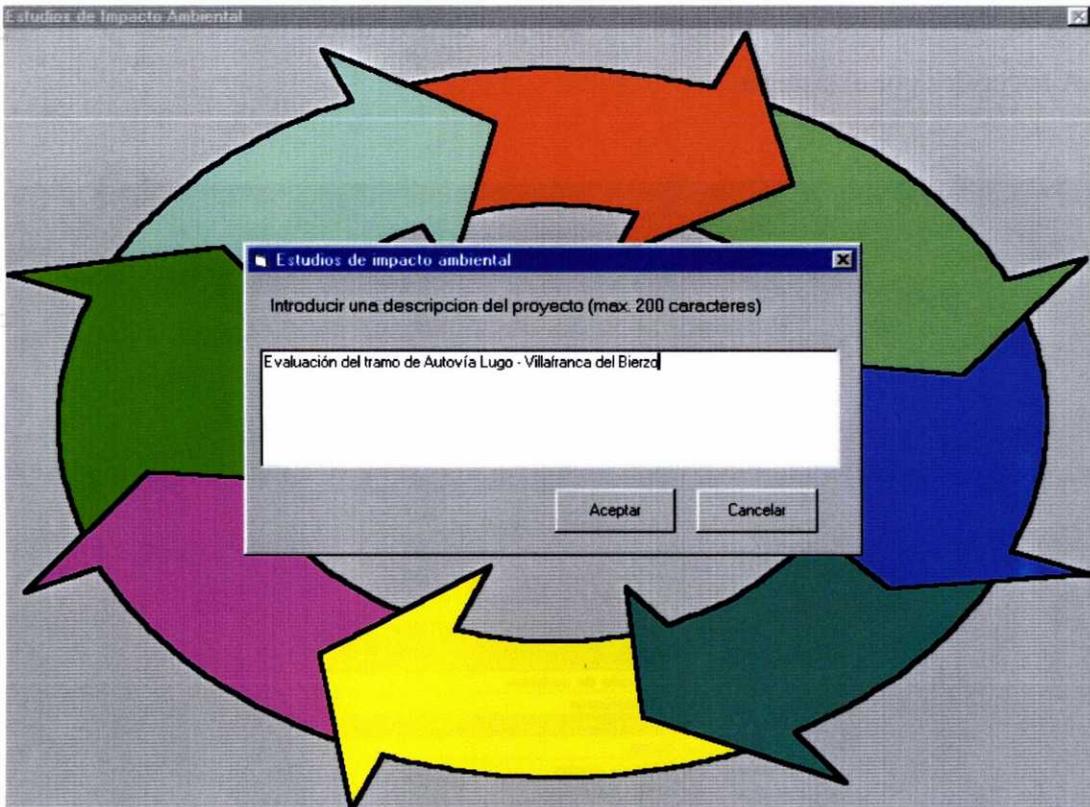
La pantalla principal del SH desarrollado, tal y como se puede ver en la figura A.12.1, incluye los tres conjuntos de opciones expuestos.



*Figura A.12.1.- Pantalla principal del SH.*

El sistema identifica dos formas de lanzar el SE. La primera, evaluar un nuevo proyecto, se encarga de caracterizar la EIA de un proyecto no evaluado por el sistema hasta el momento, además de sugerir y verificar todo un conjunto de hipótesis que permitan identificar, caracterizar y evaluar los diferentes impactos ambientales producidos.

La pantalla de la figura A.12.2. se encarga de la asignación de un nombre o descripción al proyecto nuevo que se quiere evaluar. El sistema asigna un código único a cada proyecto nuevo.



*Figura A.12.2.- Pantalla de identificación del nuevo proyecto a evaluar.*

En este punto, el sistema identifica un conjunto de sectores y su correspondiente desglose en proyectos empresariales y de infraestructura que deben realizar EIA previa a su implantación o desarrollo.

Lo dispuesto en el anexo 2 del punto 2 de la Directiva 85/337 de la CEE, el Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de Junio, el Decreto 442/90 y diferentes apreciaciones de varios expertos en EIA, conforman el conjunto final de proyectos susceptibles de EIA. En un primer momento, se identifica el sector y el proyecto de la nueva EIA.

Posteriormente, el sistema sugiere varios conjuntos de acciones que incluyen una etiqueta semántica que representa el grado de confianza en la acción. Las acciones susceptibles de estudio incluyen una etiqueta "X", "\*" o "S" según estén sugeridas por el proyecto de la EIA, por el proyecto y la acción actualmente en estudio o únicamente por la acción en estudio. La

pantalla de la figura A.12.3 muestra un ejemplo de los diferentes niveles de acciones y FF.AA sugeridos por el sistema.

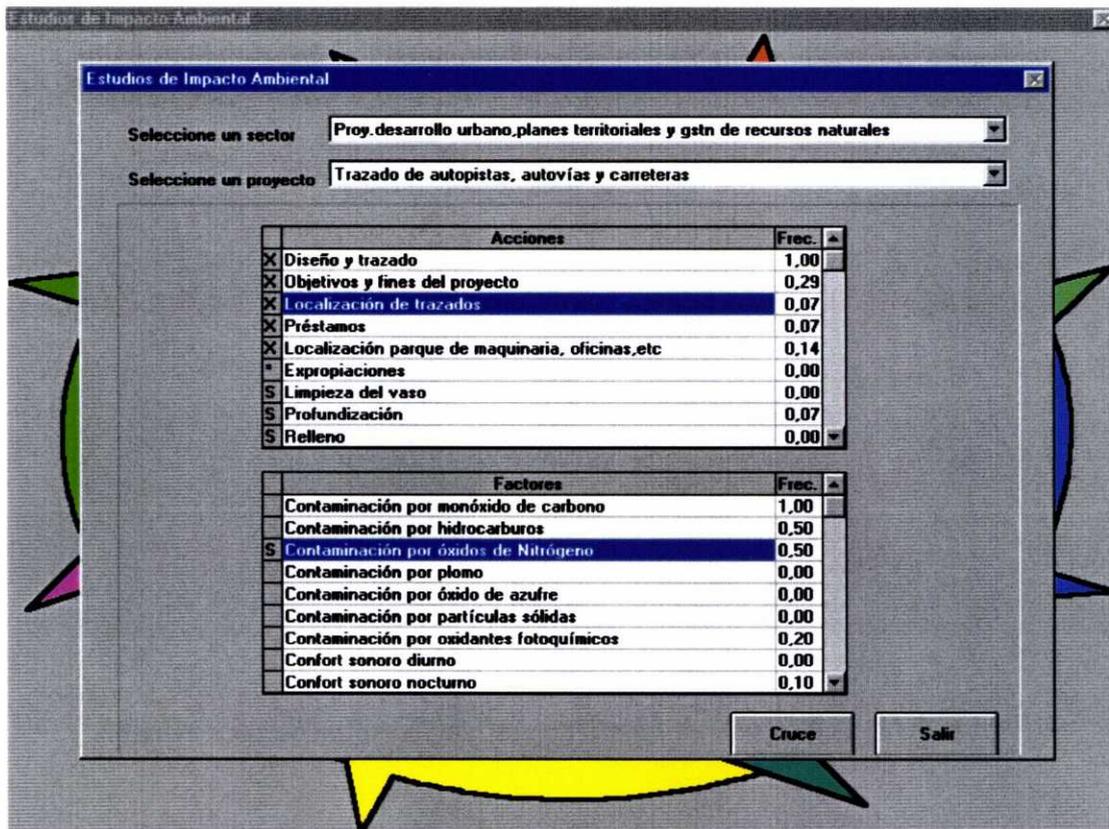


Figura A.12.3.- Pantalla de identificación de cruces.

En este sentido, aquellas acciones etiquetadas con "\*" tendrán un nivel de confianza superior a las etiquetadas con "X" o "S". La interpretación de las etiquetas "X" y "S" representan, desde un punto de vista semántico, dos conceptos ligeramente diferentes. La etiqueta "X" representa acciones únicamente sugeridas por el proyecto de la EIA, mientras que la "S" representa acciones únicamente sugeridas por la acción actualmente en estudio, pero no sugeridas por el proyecto de la EIA. Desde este punto de vista, los expertos en EIA asignan un mayor nivel de confianza a las acciones etiquetadas con "X". La etiqueta "S" representa, normalmente, relaciones de dependencia entre acciones de proyectos. En principio, aquellas acciones que no incluyen ninguna etiqueta se consideran como no susceptibles de estudio. El sistema asigna una segunda etiqueta "S" a aquellos FF.AA sugeridos por la acción actualmente en estudio. Además de las etiquetas semánticas, tanto las acciones como los

FF.AA incluyen, en la tercera columna de la pantalla, su frecuencia de utilización obtenida a partir del histórico de EIA mediante las siguientes ecuaciones.

$$Frec. acción = \frac{N^{\circ} \text{ocurrencias}(acción)}{Max(n^{\circ} \text{ocurrencias de las acciones})}$$

$$Frec. FA = \frac{N^{\circ} \text{ocurrencias}(FA)}{Max(n^{\circ} \text{ocurrencias de los FA})}$$

La activación de un cruce acción-FA desencadena una serie de acciones encaminadas a la caracterización, cuantificación y corrección de su impacto. El sistema sugiere un conjunto de posibles características del cruce incluyendo su signo, intensidad, extensión, momento, duración, reversibilidad y la posibilidad de medidas correctoras. Estas características permiten cuantificar la importancia del impacto producido por la acción en el FA. La pantalla de la figura A.12.4 muestra un ejemplo donde únicamente se sugiere un conjunto inicial de características asociado al cruce formado entre la acción "Localización de trazados" y el FA "Contaminación por Óxidos de Nitrógeno". En general, el sistema sugiere, en este punto, una jerarquía de posibles características.

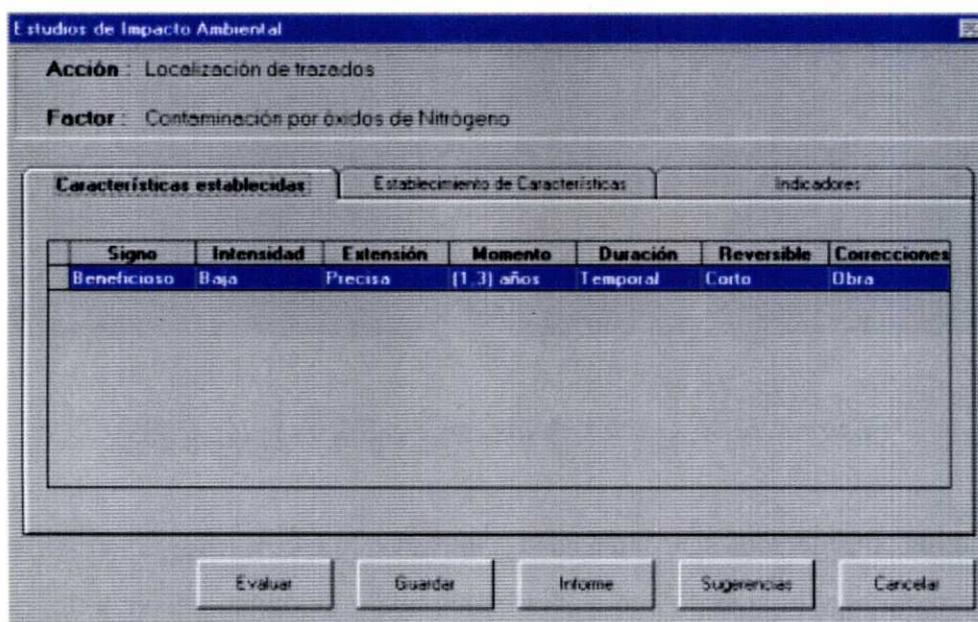
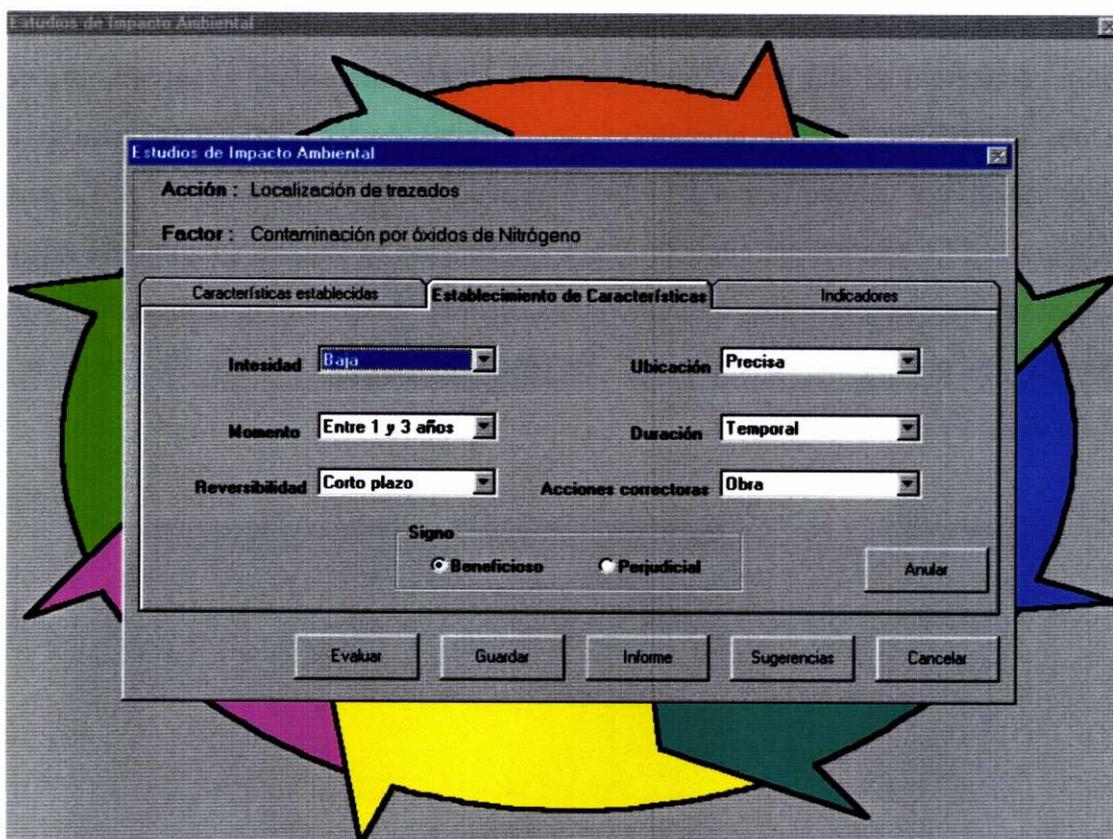


Figura A.12.4.- Pantalla de activación de características.

En este punto, el sistema puede aconsejar la modificación o adaptación de alguno de los parámetros involucrados en la caracterización del cruce activo. Además, se incorpora la posibilidad de que los diferentes parámetros que definen la importancia del cruce se puedan modificar directamente. La aparición de nuevos cruces o parámetros de importancia pasan a formar parte del histórico de EIA. En este sentido, el sistema se nutre de información obtenida a partir de las experiencias derivadas de las EIA previas. La pantalla de la figura A.12.5 gestiona los diferentes parámetros, objeto de estudio en cada momento, que definen la importancia del cruce.



*Figura A.12.5.- Gestión de las características de los cruces.*

Los parámetros considerados son: intensidad, momento, reversibilidad, ubicación, duración, medidas correctoras y el signo. Ante el desconocimiento del signo del impacto, positivo o beneficioso y, negativo o perjudicial, el sistema puede considerar inicialmente el impacto como negativo y posponer la evaluación de su signo a una etapa posterior del proceso de inferencia.

Una vez caracterizado el cruce, el sistema sugiere un conjunto de posibles indicadores de impacto ambiental como relevantes para la cuantificación, en unidades heterogéneas, de la magnitud del impacto. El sistema utiliza la pantalla de la figura A.12.6 para sugerir, entre la lista de posibles indicadores, los relevantes para el cruce a evaluar. Al igual que en el caso de las acciones y FF.AA, se utilizan las etiquetas “S” y “C” para reflejar los indicadores sugeridos. Los expertos en EIA asignan un mayor nivel de confianza en los indicadores etiquetados con “S”.

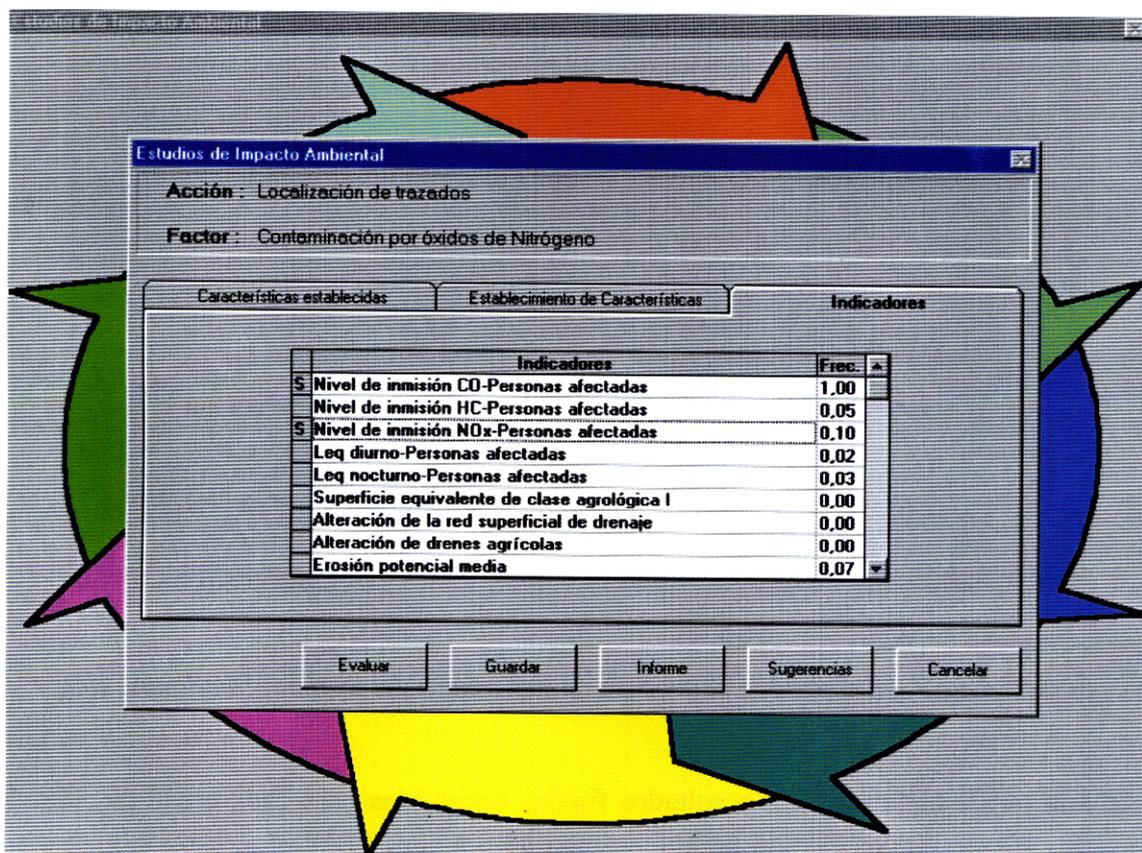
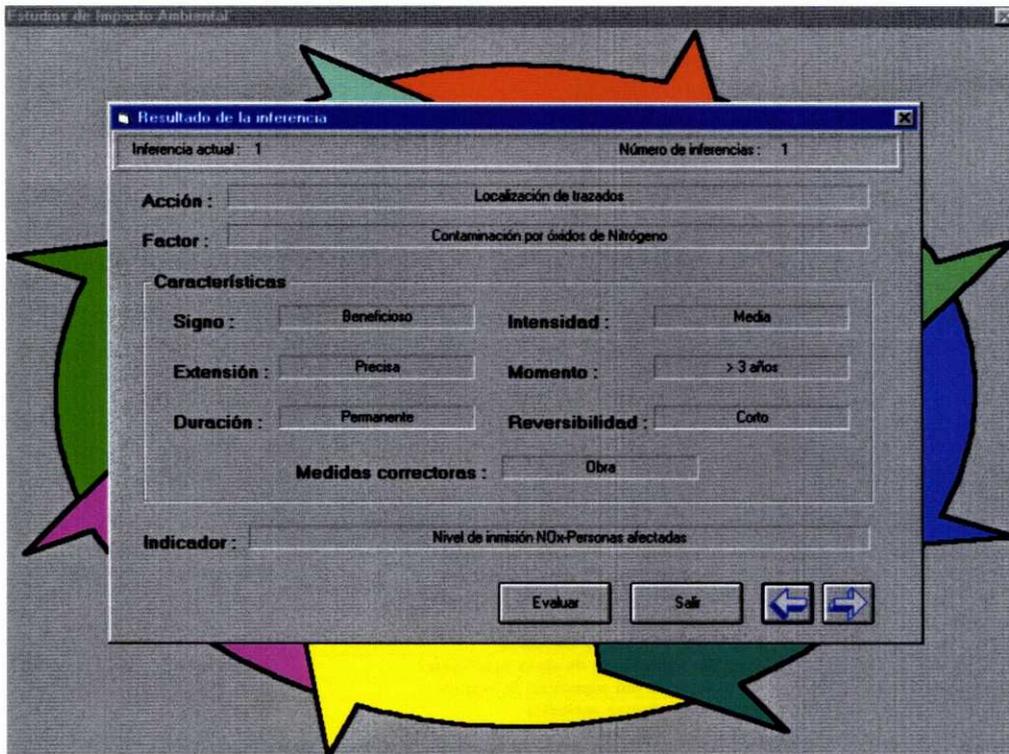


Figura A.12.6.- Gestión de indicadores (impactos en unidades heterogéneas).

En este punto, el SE programado pasa el control al el Sistema Inteligente. Para ello, se asignan los valores correspondientes a las propiedades de los objetos definidos en la base de conocimientos de sistema inteligente, lanza la inferencia y capturando el resultado de la inferencia o evaluación deducida por el motor de inferencia de la herramienta. Este segundo sistema incorpora una pequeña base de conocimientos que permitirá, en un futuro, incorporar

los nuevos conocimientos que puedan surgir dentro del dominio de las EIA. El resultado del proceso de inferencia del sistema inteligente podrá, además de asesorar, aconsejar y, en general, dirigir el correcto desarrollo de las EIA, modificar alguno de los parámetros concluidos por el SE programado. La pantalla de la figura A.12.7 muestra el resultado del proceso de inferencia del sistema inteligente.



*Figura A.12.7.- Resultado del proceso de inferencia del Sistema Inteligente NO.*

El sistema puede almacenar los resultados finales concluidos para cada cruce (acción, FA, signo, extensión, duración, intensidad, momento, reversibilidad, medidas correctoras e indicador).

Otra de las posibilidades del sistema permite la generación de informes específicos para cada cruce relevante. La pantalla de la figura A.12.8 muestra el informe generado para el cruce del ejemplo.

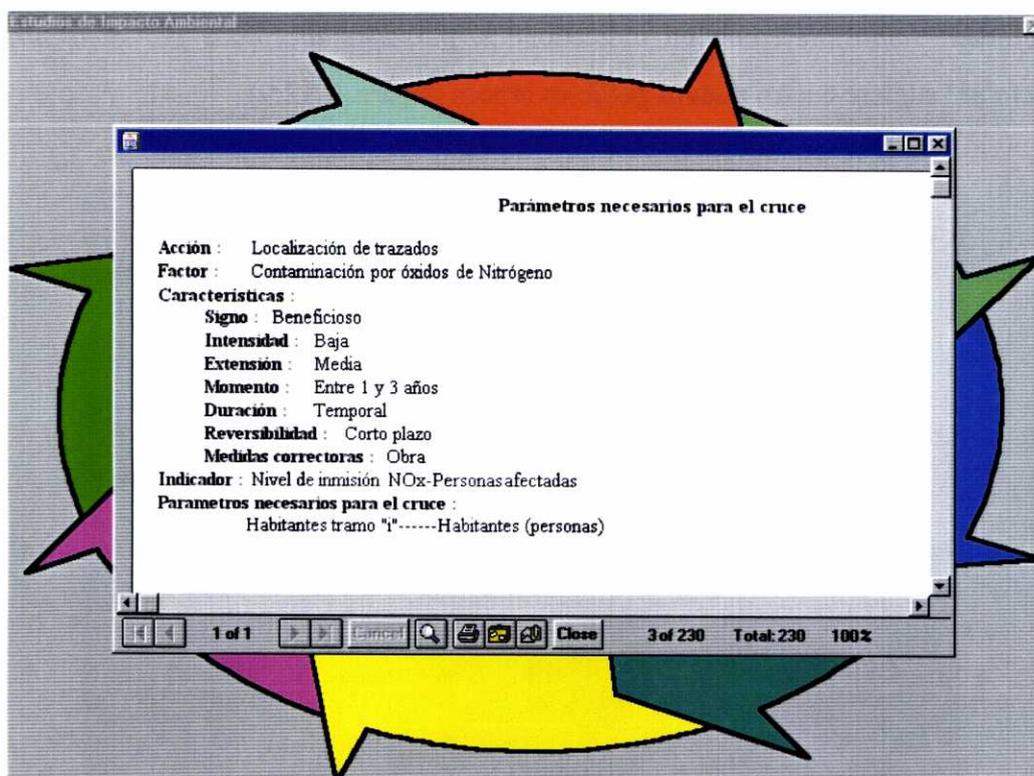


Figura A.12.8.- Generación de informes específicos de cruces.

El informe de cada cruce muestra, además de los diferentes parámetros concluidos hasta el momento, los parámetros que se deben medir, posiblemente "in situ", para poder continuar con la evaluación del impacto asociado a cada cruce. En este punto, el sistema debe generar el conjunto de todos aquellos parámetros medioambientales necesarios para que se pueda continuar con la evaluación. La información referente a cada cruce se puede enviar por correo electrónico, fax o exportarse a diferentes formatos de BB.DD, hojas de cálculo, etc. En general, el sistema utiliza los diferentes servicios de información del "Microsoft Exchange".

El SE programado "Sugiere", a partir de los cruces confirmados total o parcialmente, posibles cruces de impacto a evaluar. Por ejemplo, la confirmación de un cruce entre la acción "Limpieza del Vaso" y el FA "Reasentamientos Humanos", con un signo "Perjudicial", intensidad "Alta", extensión "Media", momento "Más de tres años", posibilidad de medidas correctoras en "Fase de Obra", duración "Permanente",

reversibilidad "Imposible", con un indicador "% personas afectadas por concentraciones perjudiciales" sugiere cuatro nuevos posibles cruces (figura A.12.9).

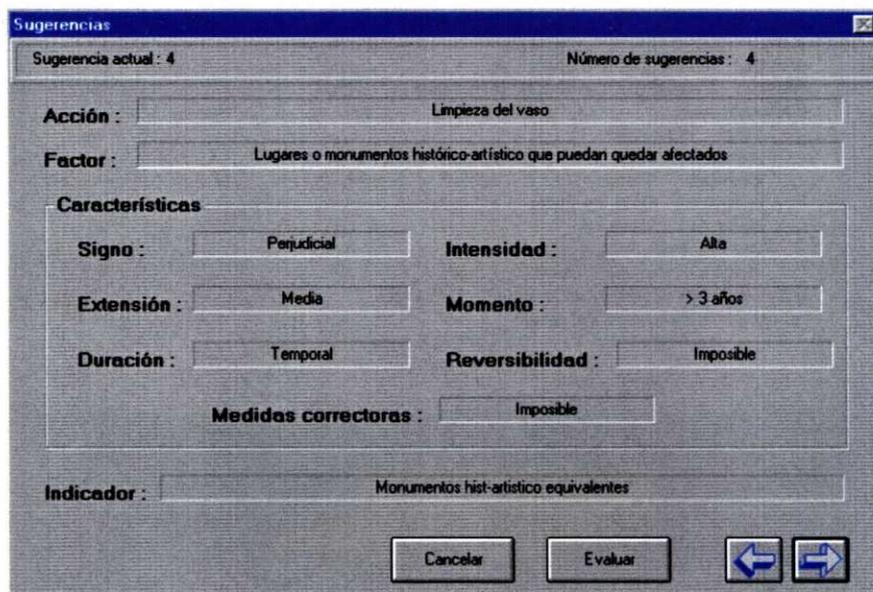


Figura A.12.9.- Cruces de impactos considerados por el sistema.

Las flechas de la pantalla permiten examinar los diferentes cruces sugeridos para su posterior evaluación. En este ejemplo concreto, el sistema sugiere los cruces:

1. Acción "Limpieza del vaso", FA "Accesos Terrestres", Indicador "Variación relativa de la longitud del viario".
2. Acción "Limpieza del vaso", FA "Expropiaciones", Indicador "Población en contra del proyecto".
3. Acción "Limpieza del vaso", FA "Expropiaciones", Indicador "% personas afectadas por concentraciones perjudiciales".
4. Acción "Limpieza del vaso", FA "Lugares o monumentos histórico-artísticos que puedan quedar afectados". Indicadores "Monumentos histórico-artísticos equivalentes".

En general, el sistema puede incorporar nuevas acciones, FF.AA e indicadores en los cruces sugeridos. En el ejemplo, se puede ver como el sistema considera dos posibles indicadores de impacto para el cruce entre la acción "*Limpieza del vaso*" y el FA "*Expropiaciones*"; esto es, "*Población en contra del proyecto*" y "*% personas afectadas por concentraciones perjudiciales*". En este punto, el sistema podría solicitar información adicional que resolviese dicho conflicto o, en último caso, dejar al usuario la posibilidad de seleccionar el indicador más adecuado. La elaboración de las restricciones del dominio de las EIA que permiten obtener los cruces a sugerir en cada situación se han obtenido a partir de minuciosas entrevistas con los expertos en EIA.

Cualquiera de estos cruces se puede "*Evaluar*" asignando sus valores a los objetos de la base de conocimientos de sistema inteligente y lanzando su proceso de inferencia. La inclusión de este sistema permitirá aplicar, a los cruces identificados por el SE programado, nuevos conocimientos del dominio de las EIA que pueda aparecer en el futuro. Como resultado, el sistema inteligente podrá aconsejar la adecuación de alguno de los parámetros involucrados en los cruces de la EIA y definir las líneas generales a seguir.

Posteriormente, se hace necesaria la introducción, de un conjunto de parámetros no disponibles "in situ", cuya obtención implica, en algunos casos, el paso de al menos varios días. Los parámetros requeridos están en función de las hipótesis de impacto establecidas en la presesión de trabajo.

Una vez obtenidos los parámetros medioambientales requeridos, se podrá continuar con la nueva sesión de trabajo, que será la encargada de la cuantificación de cada uno de los impactos identificados en la presesión. En este sentido, se deberá identificar, tal y como se puede apreciar en la pantalla de la figura A.12.10, el proyecto de EIA específico que se desea evaluar.

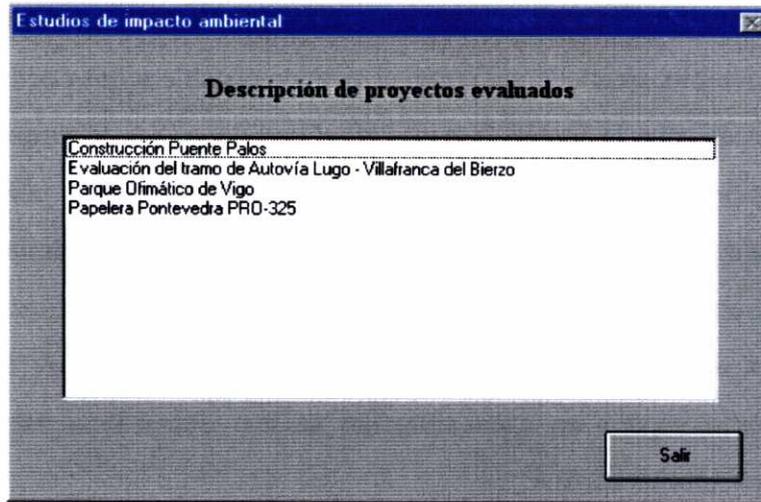


Figura A.12.10.- Selección proyectos evaluados parcialmente.

Una vez seleccionado un proyecto específico, que requiera la cuantificación del impacto ambiental de todos o alguno de sus cruces de impacto identificados en la presesión de trabajo, se deberán valorar los impactos en unidades homogéneas y, por tanto, comparables entre sí. La pantalla de la figura A.12.11 muestra, tras seleccionar un proyecto específico, el correspondiente conjunto de cruces identificados como relevantes.

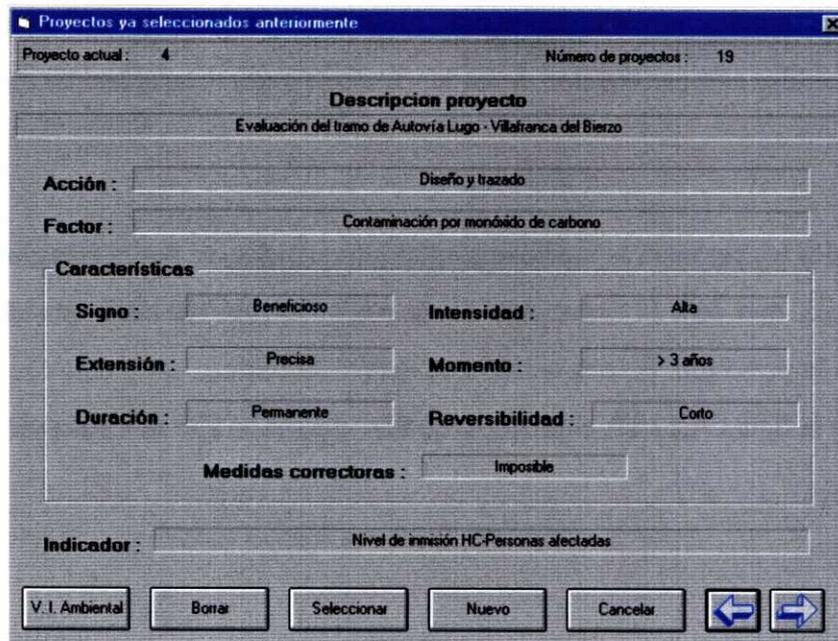


Figura A.12.11.- Selección de cruces a evaluar.

Una vez seleccionado el cruce a evaluar, el sistema deberá valorar su impacto ambiental. La pantalla de la figura A.12.12 muestra el diálogo de valoración de impactos. En dicha pantalla, se aprecian los parámetros definitorios del cruce identificados en la presesión. Entre ellos, la acción desencadenada por el proyecto, el FA afectado, el indicador de impacto relevante y las características fundamentales.

Otro de los parámetros involucrados en la cuantificación del impacto es el de la magnitud del efecto, que depende, entre otros, del valor del impacto y de la función de transformación definida como relevante. Además, la valoración de los impactos con y sin proyecto dependerá, directamente, del indicador asociado al cruce y de los valores reales, medidos "in situ", de los parámetros que componen el correspondiente indicador. Nuevamente, la experiencia juega un papel muy importante en la selección del indicador, efectuada en la presesión de trajo, y de la función de transformación.

The screenshot shows a software window titled "Evaluación del tramo de Autovía Lugo - Villafranca del Bierzo". The window contains a form with the following fields and buttons:

- Características:**
  - Acción:** Diseño y trazado
  - Factor Ambiental:** Contaminación por monóxido de carbono
  - Formula del Indicador:**  $S(1 \cdot 4)^2$
- Signo:** Beneficioso
- Extensión:** Precisa
- Duración:** Permanente
- Intensidad:** Alta
- Momento:** > 3 años
- Reversibilidad:** Corto
- Correctoras:** Imposible

Below these fields, there are several input fields and buttons:

- Importancia del Efecto:** 16.000
- I.Norm.:** 0,346
- Magnitud del efecto:**
  - Valor con proyecto:** 0,026
  - Valor sin Proyecto:** 0,011
- Función de Transformación:** 9
- Valor Impacto Ambiental:** 1,453

On the right side of the form, there are three buttons: "Valor con Proyecto", "Valor sin Proyecto", and "F. de Transformación". At the bottom of the window, there are six buttons: "V. I. Ambiental", "Guardar", "Eliminar", "Informe", "Correctoras", and "Salir".

Figura A.12.12.- Evaluación de impactos (cruces).

En este punto, se dispone de la acción y el FA que define cada cruce, la ecuación del indicador de impacto, una referencia a los parámetros medioambientales involucrados en dicho indicador y, finalmente, un conjunto de etiquetas semánticas que concluyen la importancia del efecto.

Como base para calcular la magnitud de los diferentes efectos de un proyecto, se deberá valorar el impacto para ambas situaciones (con y sin proyecto). La medición de los parámetros involucrados en el cálculo sin proyecto no supone, normalmente, grandes problemas. En contrapartida, la obtención de los parámetros suponiendo el proyecto implantado supone, en la mayoría de los casos, la necesidad de utilizar técnicas de simulación y, en general, profundos estudios, que permitan cuantificar correctamente dichos parámetros. Es obvia, la dificultad que presenta la estimación de parámetros medioambientales concretos derivados de la implantación de un proyecto empresarial, aún no desarrollado. La figura A.12.13 muestra el protocolo de cálculo del efecto del cruce ejemplo visto hasta el momento.

Evaluación del tramo de Autovía Lugo - Villafranca del Bierzo

Fórmula:  Validar Fórmula

Parámetros Sumatorios

Parámetro:

Unidades:

Introduzca en esta cuadrícula valores para los parámetros

parametros	num. parametro	valor param.
parametro1	2	6500

Guardar Valores Parámetros

Calcular Fórmula Resultado

Guardar Salir

Figura A.12.13.- Protocolo para el cálculo del efecto (con o sin proyecto).

En este ejemplo, se observa que el indicador está formado por un sumatorio de dos parámetros, dividido por el parámetro de referencia 2 (Total habitantes). La nomenclatura de los indicadores,

definida para el sistema desarrollado, está formado por ecuaciones que se rigen por los siguientes criterios:

- La precedencia de operadores es, en primer lugar, el producto y la división y, en segundo, la suma y la resta.
- La precedencia de los paréntesis es, del más interno, al exterior.
- La palabra reservada *S* indica sumatorio. Por ejemplo:  $S(1*4)$  indica el sumatorio, un número no determinado de veces, del producto de los parámetros 1 y 4. En general, es el usuario el que determina el índice del sumatorio.
- Un identificador perteneciente al conjunto de los números naturales representa el código de un parámetro medioambiental; mientras que un identificador perteneciente al conjunto de los reales, encerrado entre comillas, representa una constante.

La pantalla de la figura A.12.14 muestra el protocolo de entrada del sumatorio asociado al indicadores de impacto del ejemplo.

Parámetros

Sumatorios

Fórmula:

Seleccione un sumatorio

sumatorios	sumatorio
sumatorio1	S(1*4)

Número de elementos

Parámetro:

Unidades:

Introduzca en esta cuadrícula los valores para el sumatorio :

	1	4
elem. 1	5200	0.03
elem. 2	1300	0.01

Resultado

Figura A.12.14.- Protocolo para la entrada de sumatorios.

Como resultado, se obtiene la magnitud del efecto (figura A.12.15).

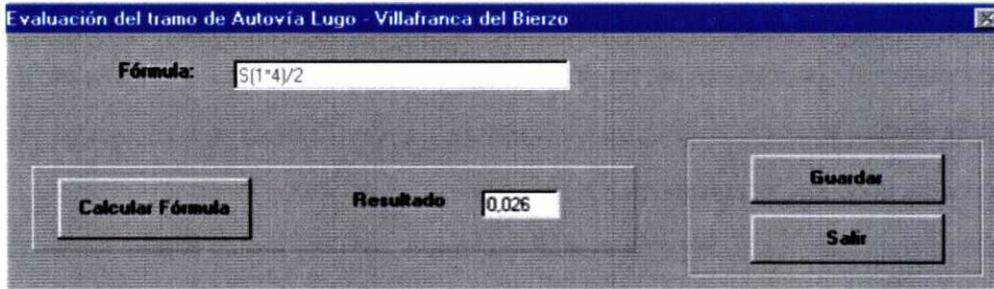


Figura A.12.15.- Magnitud del efecto con y sin proyecto.

Una vez caracterizado el efecto, el sistema sugiere un conjunto de posibles funciones de transformación como relevantes para la cuantificación de la magnitud del efecto en unidades homogéneas. El sistema utiliza la pantalla de la figura A.12.16 para sugerir las funciones de transformación relevantes. Al igual que en el resto del sistema, se utilizan las etiquetas “S” para reflejar las funciones de transformación relevantes para el cruce activo. Los expertos en EIA asignan un mayor nivel de confianza a las funciones de transformación etiquetados con “S”.

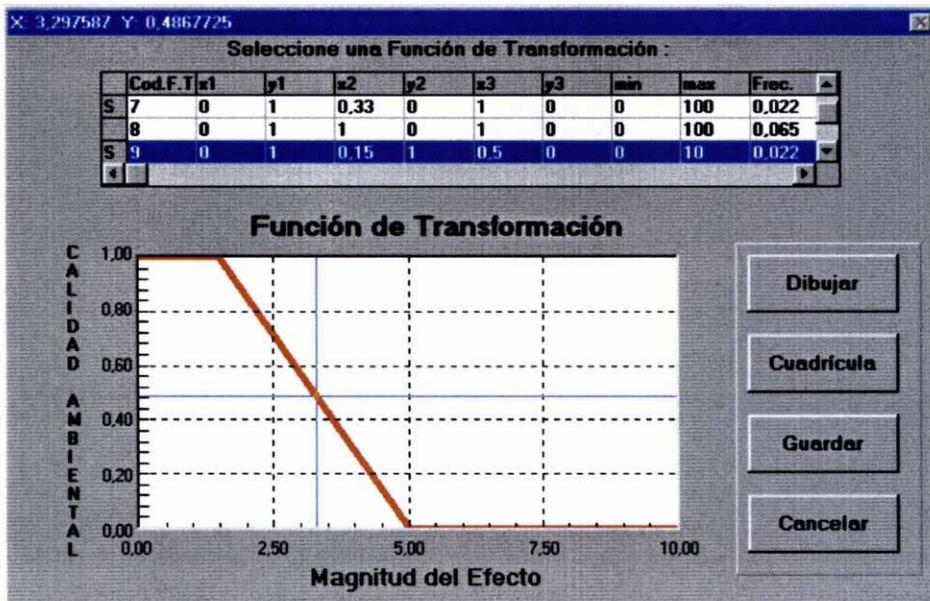


Figura A.12.16.- Gestión de Funciones de Transformación.

Además de la etiqueta semántica, se incluye, en la última columna de la función, su frecuencia de utilización. Se ha de tener en cuenta el valor mínimo y máximo de la magnitud del efecto, eje de coordenadas, considerado por la función de transformación.

Las funciones de transformación definen la relación entre la magnitud de un FA y la calidad ambiental. La aplicación de la función de transformación permite homogeneizar la magnitud del efecto. Esto es, la función de transformación obtiene un índice de calidad ambiental, comprendido entre 0 y 1, a partir de la magnitud del efecto. El sistema incluye un cursor que permite visualizar los índices de calidad ambiental obtenidos a partir de diferentes magnitudes del efecto.

Como parte del informe final de EIA, el sistema emite, para cada cruce relevante, un informe de resultados (figura A.12.17).

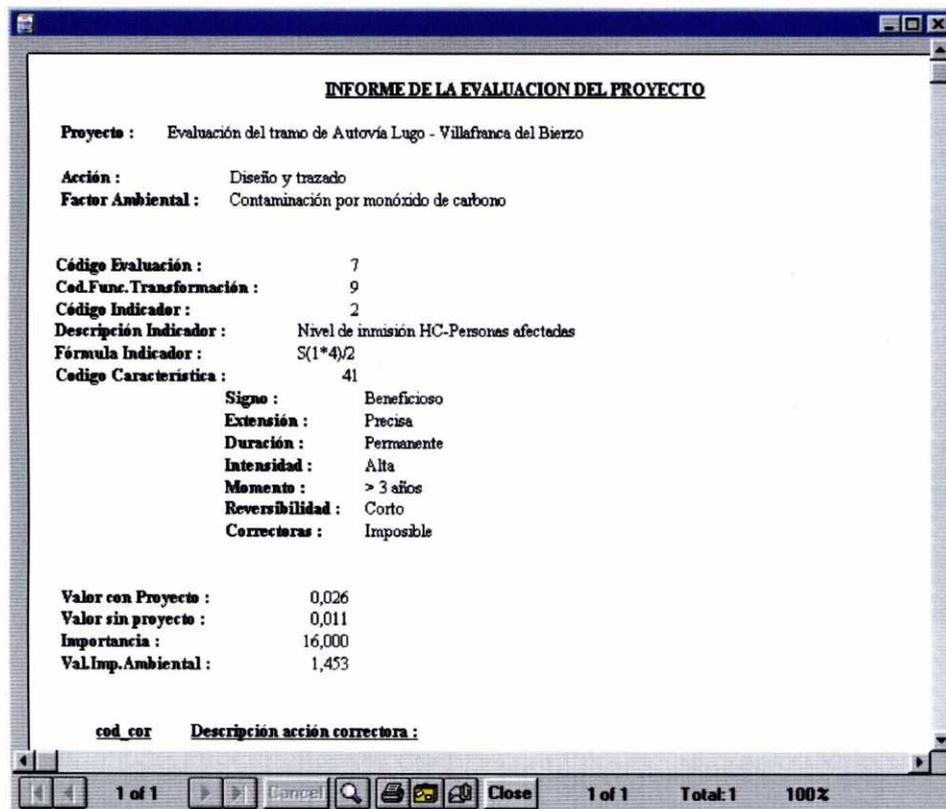


Figura A.12.17.- Informe de resultados (cruces relevantes).

Finalmente, la magnitud del efecto ponderada con un factor de importancia de la magnitud, la importancia ponderada con su correspondiente factor y, todo ello, ponderado con el peso de importancia asociado al FA involucrado, definirá, el valor del impacto ambiental.

En este punto, el sistema incorpora la posibilidad de definir las medidas correctoras más adecuadas que permitan reducir los efectos ambientales que, por sus características, producen un fuerte impacto, y, o, alguno de sus parámetros esté por encima del límite establecido por la legislación vigente en medio ambiente. El sistema asocia un conjunto de valores umbrales a cada uno de los parámetros e indicadores. Cuando se detecta la necesidad de introducir medidas correctoras el sistema emite una alarma e indica qué posibles medidas se pueden adoptar (figura A.12.18).

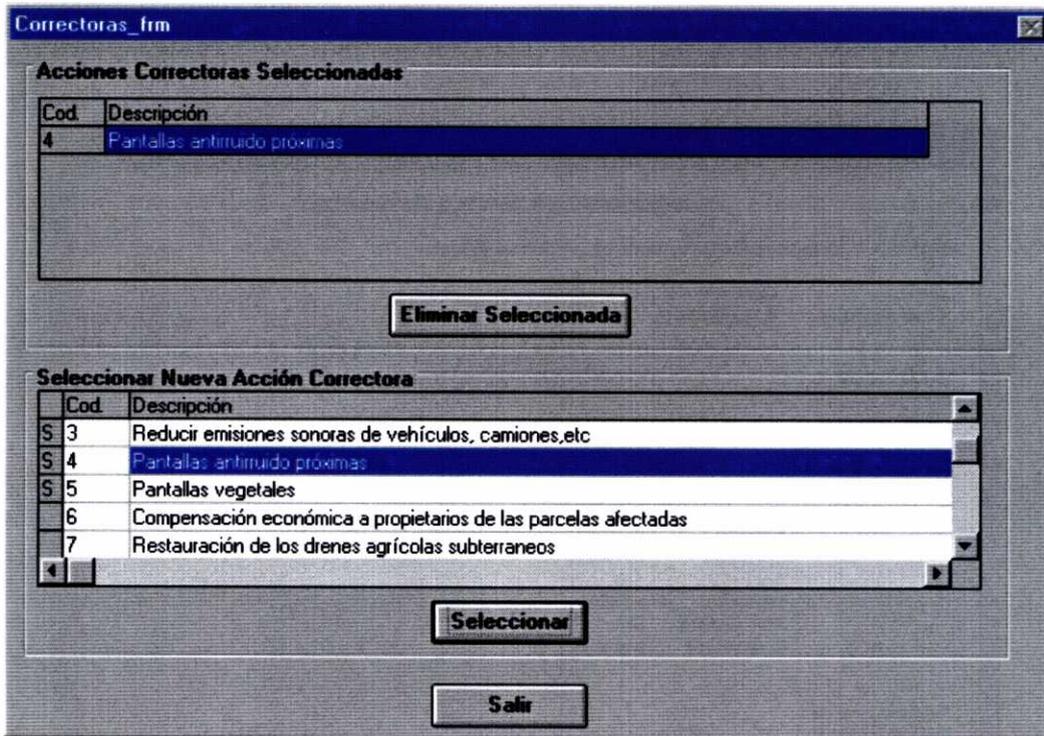


Figura A.12.18.- Gestión de alarmas (medidas correctoras).

La incorporación de medidas correctoras establece una nueva configuración en la caracterización del cruce. Una vez establecidas las mejoras, se repetirá el proceso de caracterización de los

indicadores. En general, las acciones causantes de impacto se mantienen, aunque se disminuya el valor de los impactos producidos.

El conjunto de cruces evaluados y sus parámetros característicos constituyen el informe de EIA inicial. Esta información se puede utilizar como base para la elaboración de documentos específicos de los impactos producidos por el proyecto en el entorno (impactos agrupados por acciones, FF.AA, etc.). Dichos informes constituyen una valiosa fuente de información para la toma de decisión sobre el emplazamiento óptimo de proyectos empresariales, la necesidad de adopción de medidas correctoras, etc.

### ANEXO 13.- GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE CONJUNTOS DE ENTRENAMIENTO.

La asignación directa de campos de una BD a los EE.PP de las RR.NN.AA es una tarea relativamente sencilla. Por el contrario, si se desea generar un conjunto de entrenamiento que considere, por ejemplo, como entradas los parámetros; acción causante de impacto, FA afectado, signo o carácter del efecto, grado de incidencia sobre el FA, área de influencia del impacto en el entorno considerado, el tiempo que transcurre entre la acción y el efecto, tiempo que permanecerá el efecto, la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el efecto y la posibilidad de tomar medidas para compensar los efectos y, como salida deseada, el indicador que permita cuantificar el efecto, se deberá definir la siguiente sentencia relacional:

```
SELECT acc_fac_car_ind.cod_acc AS cod_accion,
acciones.nom_acc AS accion,
acc_fac_car_ind.cod_fac_amb AS cod_factor,
factores.nom_fac_amb AS factor,
caracteristicas.sig AS cod_signo,
signo.nom_signo AS signo,
caracteristicas.int AS cod_intensidad,
intensidad.nom_intensidad AS intensidad,
caracteristicas.ext AS cod_extension,
extension.nom_extension AS extension,
caracteristicas.mom AS cod_momento,
momento.nom_momento AS momento,
caracteristicas.cor AS cod_correctoras,
correctoras.des_cor AS correctoras,
caracteristicas.dur AS cod_duracion,
duracion.nom_duracion AS duracion,
caracteristicas.rev AS cod_reversibilidad,
reversibilidad.nom_reversibilidad AS reversibilidad,
acc_fac_car_ind.cod_ind AS cod_indicador,
indicadores.des_ind AS indicador
FROM acc_fac_car_ind, acciones, factores, caracteristicas,
signo, intensidad, extension, momento, correctoras,
duracion, reversibilidad, indicadores
WHERE acc_fac_car_ind.cod_acc = acciones.cod_acc AND
acc_fac_car_ind.cod_fac_amb = factores.cod_fac_amb AND
acc_fac_car_ind.cod_car = caracteristicas.cod_car AND
caracteristicas.sig = signo.cod_signo AND
```

```

caracteristicas.int = intensidad.cod_intensidad AND
caracteristicas.ext = extension.cod_extension AND
caracteristicas.mom = momento.cod_momento AND
caracteristicas.cor = correctoras.cod_cor AND
caracteristicas.dur = duracion.cod_duracion AND
caracteristicas.rev = reversibilidad.cod_reversibilidad
AND acc_fac_car_ind.cod_ind = indicadores.cod_ind;

```

Básicamente, la sentencia relacional realiza una operación “JOIN” entre las tablas *acc\_fac\_car\_ind*, *acciones*, *factores*, *caracteristicas*, *signo*, *intensidad*, *extension*, *momento*, *correctoras*, *duración*, *reversibilidad* e forma *indicadores* de la BD de EIA desarrollada en el presente trabajo. Posteriormente, se hace una proyección sobre los campos relevantes del conjunto de entrenamiento.

Las líneas en rojo muestran los parámetros utilizados como entrada a la RNA y, en verde, los parámetros deseados en la salida. Además, se obtienen las descripciones, representadas por las líneas azules, de los parámetros involucrados en el conjunto de entrenamiento. De esta forma, el SMR manipulará conceptos o descripciones en lugar de simples códigos.

De esta forma, el SMR automatiza el proceso de generación de conjuntos de entrenamiento que estarán actualizados en todo momento. Esto es, siempre reflejarán la situación actual de la BD. Además, el SMR podrá incorporar diferentes procedimientos de preprocesado mediante los operadores lógicos y relacionales del lenguaje de consultas de la BD.

En otro ejemplo, ligeramente más complejo, se podrían considerar como entradas los parámetros característicos de un cruce; la acción causante de impacto, FA afectado, signo o carácter del efecto, grado de incidencia sobre el FA, área de influencia del impacto en el entorno considerado, el tiempo que transcurre entre la acción y el efecto, tiempo que permanecerá el efecto, la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales una vez producido el efecto, la posibilidad de tomar medidas para compensar los efectos y el indicador de cuantificación del efecto y, como salida deseada, otro posible cruce de impacto.

En este segundo ejemplo, se deberá definir la siguiente sentencia relacional:

```
SELECT  acc_fac_car_ind_2.cod_acc_a AS cod_accion_a,
acciones_a.nom_acc AS accion_a,
acc_fac_car_ind_2.cod_fac_amb_a AS cod_factor_a,
factores_a.nom_fac_amb AS factor_a,
caracteristicas_a.sig AS cod_signo_a,
signo_a.nom_signo AS signo_a,
caracteristicas_a.int AS cod_intensidad_a,
intensidad_a.nom_intensidad AS intensidad_a,
caracteristicas_a.ext AS cod_extension_a,
extension_a.nom_extension AS extension_a,
caracteristicas_a.mom AS cod_momento_a,
momento_a.nom_momento AS momento_a,
caracteristicas_a.cor AS cod_correctoras_a,
correctoras_a.des_cor AS correctoras_a,
caracteristicas_a.dur AS cod_duracion_a,
duracion_a.nom_duracion AS duracion_a,
caracteristicas_a.rev AS cod_reversibilidad_a,
reversibilidad_a.nom_reversibilidad AS
reversibilidad_a,
acc_fac_car_ind_2.cod_ind_a AS cod_indicador_a,
indicadores_a.des_ind AS indicador_a,
acc_fac_car_ind_2.cod_acc_b AS cod_accion_b,
acciones_b.nom_acc AS accion_b,
acc_fac_car_ind_2.cod_fac_amb_b AS cod_factor_b,
factores_b.nom_fac_amb AS factor_b,
caracteristicas_b.sig AS cod_signo_b,
signo_b.nom_signo AS signo_b,
caracteristicas_b.int AS cod_intensidad_b,
intensidad_b.nom_intensidad AS intensidad_b,
caracteristicas_b.ext AS cod_extension_b,
extension_b.nom_extension AS extension_b,
caracteristicas_b.mom AS cod_momento_b,
momento_b.nom_momento AS momento_b,
caracteristicas_b.cor AS cod_correctoras_b,
correctoras_b.des_cor AS correctoras_b,
caracteristicas_b.dur AS cod_duracion_b,
duracion_b.nom_duracion AS duracion_b,
caracteristicas_b.rev AS cod_reversibilidad_b,
reversibilidad_b.nom_reversibilidad AS
reversibilidad_b,
acc_fac_car_ind_2.cod_ind_b AS cod_indicador_b,
indicadores_b.des_ind AS indicador_b
FROM  acc_fac_car_ind_2,
acciones AS acciones_a,
acciones AS acciones_b,
```

factores **AS** factores\_a,  
 factores **AS** factores\_b,  
 características **AS** características\_a,  
 características **AS** características\_b,  
 signo **AS** signo\_a,  
 signo **AS** signo\_b,  
 intensidad **AS** intensidad\_a,  
 intensidad **AS** intensidad\_b,  
 extension **AS** extension\_a,  
 extension **AS** extension\_b,  
 momento **AS** momento\_a,  
 momento **AS** momento\_b,  
 correctoras **AS** correctoras\_a,  
 correctoras **AS** correctoras\_b,  
 duracion **AS** duracion\_a,  
 duracion **AS** duracion\_b,  
 reversibilidad **AS** reversibilidad\_a,  
 reversibilidad **AS** reversibilidad\_b,  
 indicadores **AS** indicadores\_a,  
 indicadores **AS** indicadores\_b

**WHERE**

acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_acc\_a = acciones\_a.cod\_acc **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_acc\_b = acciones\_b.cod\_acc **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_fac\_amb\_a =  
 factores\_a.cod\_fac\_amb **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_fac\_amb\_b =  
 factores\_b.cod\_fac\_amb **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_car\_a =  
 características\_a.cod\_car **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_car\_b =  
 características\_b.cod\_car **AND**  
 características\_a.sig = signo\_a.cod\_signo **AND**  
 características\_b.sig = signo\_b.cod\_signo **AND**  
 características\_a.int = intensidad\_a.cod\_intensidad **AND**  
 características\_b.int = intensidad\_b.cod\_intensidad **AND**  
 características\_a.ext = extension\_a.cod\_extension **AND**  
 características\_b.ext = extension\_b.cod\_extension **AND**  
 características\_a.mom = momento\_a.cod\_momento **AND**  
 características\_b.mom = momento\_b.cod\_momento **AND**  
 características\_a.cor = correctoras\_a.cod\_cor **AND**  
 características\_b.cor = correctoras\_b.cod\_cor **AND**  
 características\_a.dur = duracion\_a.cod\_duracion **AND**  
 características\_b.dur = duracion\_b.cod\_duracion **AND**  
 características\_a.rev =  
 reversibilidad\_a.cod\_reversibilidad **AND**  
 características\_b.rev =  
 reversibilidad\_b.cod\_reversibilidad **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_ind\_a = indicadores\_a.cod\_ind **AND**  
 acc\_fac\_car\_ind\_2.cod\_ind\_b = indicadores\_b.cod\_ind;

Al igual que en el primer ejemplo, la sentencia relacional realiza una operación "JOIN" entre las tablas *acc\_fac\_car\_ind\_2*, *acciones*, *factores*, *características*, *signo*, *intensidad*, *extensión*, *momento*, *correctoras*, *duración*, *reversibilidad*, *indicadores* y varios sinónimos de, entre otras, las tablas *acciones*, *factores*, *características*, *signo*, *intensidad*, *extensión*, *momento*, *correctoras*, *duración*, *reversibilidad e indicadores*. Posteriormente, se hace una proyección sobre los campos relevantes del conjunto de entrenamiento. En este segundo ejemplo, se ha utilizado, además de la BD de EIA, la misma nomenclatura de colores que en el primer ejemplo.

De esta forma, dentro de un contexto de entrenamiento supervisado, el SMR compondrá la información de las capas de entrada y de salida utilizando, para ello, tanto la asignación directa de campos de la BD como la definición de sentencias relacionales. En el caso de un entrenamiento supervisado el proceso de generación de conjuntos de entrenamiento es similar; esto es, desaparece de la sentencia relacional la salida deseada.

## ANEXO 14.- BASE DE DATOS DEL DOMINIO CONEXIONISTA.

Para la modelización de las características generales de una RNA, entidad *RNA\_Red*, se necesitan, entre otros, los siguientes atributos:

- *CodRed* Código de la RNA.
- *DescRed* Descripción general de la RNA.
- *Tabla* Tabla o consluta utilizada para componer el conjunto de entrenamiento.
- *Aprendizaje* Tasa de Aprendizaje.
- *Momentum* Momento.
- *Error* Error Cuadrático Medio.
- *Epoch* Frecuencia de actualización de los pesos.
- *Tolerancia* Máximo error permitido en el entrenamiento.
- *Factiv* Función de Activación utilizada.
- *NumMuestras* Número de Patrones del Conjunto de Entrenamiento utilizado.
- *MaxMuestras* Máximo número de Patrones a considerar en el entrenamiento.
- *MaxCiclos* Máximo número de ciclos a considerar en el entrenamiento  
Un ciclo es equivalente a un grupo de *MaxMuestras*.
- *NumCampos* Número de Campos de los Patrones.
- *NumNiveles* Número de Capas de la RNA (incluidas la de entrada y salida).
- *NumPesos* Número de Pesos.
- *NumUnmbrales* Número de Umbrales.
- *Fcreacion* Fecha de creación de la RNA.
- *Fmodificacion* Fecha de última modificación.
- *Entrenada* Si ha sido o no entrenada.
- *Método* Método de aprendizaje utilizado.

Aunque esta primera aproximación podría incorporar todo tipo de variantes, entre las que destaca, la posibilidad de diversificar los modelos de RR.NN.AA, funciones de activación, reglas y métodos de aprendizaje, etc., se considera oportuno el mantener la actual situación

de dicha entidad para evitar, en la medida de lo posible, centrar únicamente el presente trabajo en este amplio campo. Eso sí, el desarrollo propuesto deberá facilitar la incorporación modular de todos aquellos aspectos relacionados con los sistemas conexionistas que puedan ser de interés para los futuros desarrollos. En general, la generalización de la entidad pasaría por su diversificación en diferentes entidades (reglas de aprendizaje, funciones de activación, etc.). En la aproximación utilizada, algunas de estas entidades se codificarán en un único campo a la hora de la implementación física. Además se podrían incorporar atributos relacionados con la BD asociada a las tablas o consultas utilizadas en la generación de los conjuntos de entrenamiento, dirección de servidores remotos de BB.DD, por ejemplo, mediante la correspondiente dirección IP, etc.

La figura A.14.1 muestra la entidad, *RNA\_Red*, con los atributos descritos anteriormente.



El diagrama muestra una entidad rectangular con un encabezado que dice 'RNA\_Red' y un sub-encabezado que dice 'CodRed'. Debajo de esto, se listan los siguientes atributos:

CodRed
DescRed
Tabla
Aprendizaje
Momentum
Error
Tolerancia
Epoch
FActiv
NumMuestras
MaxMuestras
MaxCiclos
NumCampos
NumNiveles
NumPesos
NumUmbrales
FCreacion
FModificacion
Entrenada
Metodo

*Figura A.14.1.- Entidad RNA\_Red*

La entidad *RNA\_Red* se transforma en la tabla de la figura A.14.2.

RNA_Red : Tabla			
Nombre del campo	Tipo de datos		Descripción
CodRed	Númérico	Código de red	
DescRed	Texto	Descripción	
Tabla	Texto	Tabla con muestras	
Aprendizaje	Númérico	Factor de aprendizaje	
Momentum	Númérico		
Error	Númérico	Total error cuadrático medio	
Tolerancia	Númérico	Máximo error permitido en entrenamiento	
Epoch	Númérico	Frecuencia del cambio de pesos en entrenamiento	
FActiv	Númérico	Función de activación (0->sigm, 1->tanh, 2->lineal)	
NumMuestras	Númérico	Nº de muestras total	
MaxMuestras	Númérico	Máximo de muestras a considerar en entrenamiento	
MaxCiclos	Númérico	Máximo de ciclos a considerar en entrenamiento (ciclo = grupo de MaxMuestras)	
NumCampos	Númérico	Nº de campos por muestra	
NumNiveles	Númérico	Nº de niveles de la red (Incluidos E y S)	
NumPesos	Númérico	Nº de pesos en tabla de pesos	
NumUmbralas	Númérico	Nº de umbrales en tabla de umbrales	
FCreacion	Texto	Fecha de creación de la red	
FModificacion	Texto	Fecha de última modificación de la red	
Entrenada	Númérico	Si / no la red ha sido entrenada	
Metodo	Númérico	Método backprop	

Figura A.14.2.- Tabla RNA\_Red

Otra entidad que se debe considerar es la encargada de caracterizar los parámetros o campos utilizados en los conjuntos de entrenamiento. En este sentido, se define la entidad *RNA\_Campo*, que incorpora los siguientes atributos:

- *NomCampo* Nombre del campo de la tabla o consulta utilizada.
- *Tipo* Tipo de campo (Entrada, Salida o Ninguna).
- *MinVal* Valor mínimo del Campo para normalización.
- *MaxVal* Valor máximo del Campo para normalización.
- *Descripción* Nombre del campo de la tabla o consulta que describe al campo *NonCampo*. Esta descripción incorpora una descripción de las ocurrencias.
- *Secuencia* Orden de asignación de los campos a los EE.PP de entrada y salida.

La figura A.14.3 refleja la entidad *RNA\_Campo*.



Figura A.14.3.- Entidad RNA\_Campo.

Se aprecia una relación de 1 a N entre la entidad RNA\_Red y RNA\_Campo que refleja los campos utilizados en la fase de aprendizaje de la RNA. Como resultado, la implementación de las correspondientes tablas incluirá la clave de la tabla RNA\_Red en la tabla RNA\_Campo. Además, la clave primaria de la nueva tabla estará compuesta por la citada clave foránea y por la secuencia del campo. Según esto, se obtiene el esquema de la figura A.14.4.

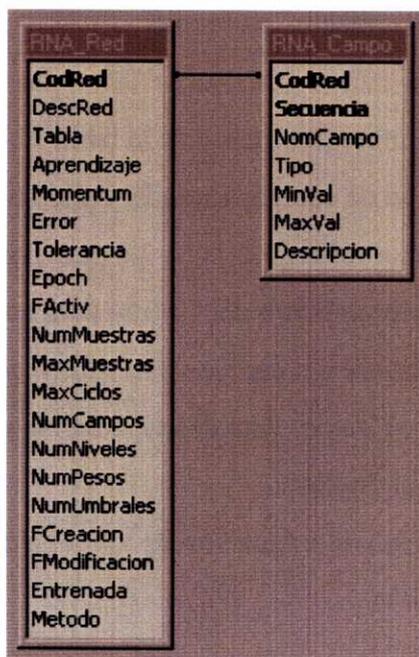


Figura A.14.4.- Modelización RNA-Campos

El paso al modelo relacional define la tabla de las figuras A.14.5.

RNA_Campo : Tabla			
	Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
	CodRed	Numérico	Código de red
	Secuencia	Numérico	Nº de orden
	NomCampo	Texto	Nombre del Campo
	Tipo	Texto	Tipo de campo: (E)ntrada o (S)alida o (N)o interviene
	MinVal	Numérico	Mínimo valor para normalización
	MaxVal	Numérico	Máximo valor para normalización
	Descripcion	Texto	Campo con el se opera al evaluar

Figura A.14.5- Tabla RNA\_Campo

Otra entidad, susceptible de modelización, será la asociada a los niveles o capas de la RNA. La entidad *RNA\_Nivel* será la encargada de reflejar las capas de la RNA. Además, se deberá incluir, como característica fundamental, el número de EE.PP por capa o nivel. Además, se aprecia una relación de 1 a N entre *RNA\_Red* y *RNA\_Nivel*. Como resultado, se obtiene el modelo de la figura A.14.6.

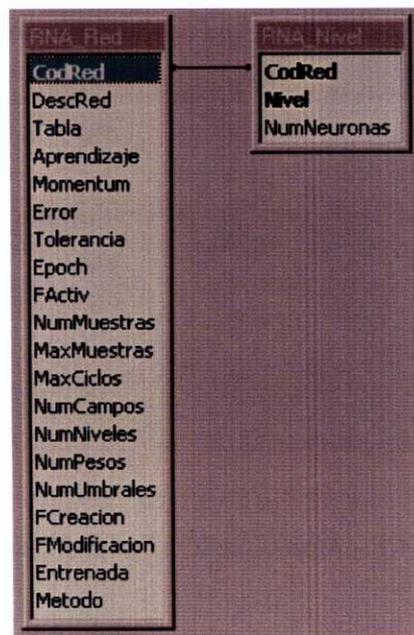


Figura A.14.6.- Modelización RNA-Capas

El paso al modelo relacional define la tabla de la figura A.14.7.

RNA_Nivel : Tabla			
	Nombre del campo	Tipo de datos	
▶	CodRed	Numérico	Código de la red
▶	Nivel	Numérico	Capa de la red
	NumNeuronas	Numérico	Número de EP de la Capa

Figura A.14.7.- Tabla RNA\_Nivel

Finalmente, se deberán modelizar, tal y como se observa en la figura A.14.8, las entidades asociadas a los pesos y umbrales de la RNA.

La entidad de pesos, *RNA\_Peso*, deberá incluir la referencia a los EE.PP afectados y el correspondiente valor del peso y, la entidad de umbrales *RNA\_Umbra*, reflejará los valores de los diferentes umbrales referenciando, en todo momento, al EP afectado. En ambos casos, se deberá incluir la capa de la RNA que soporta el peso o umbral.

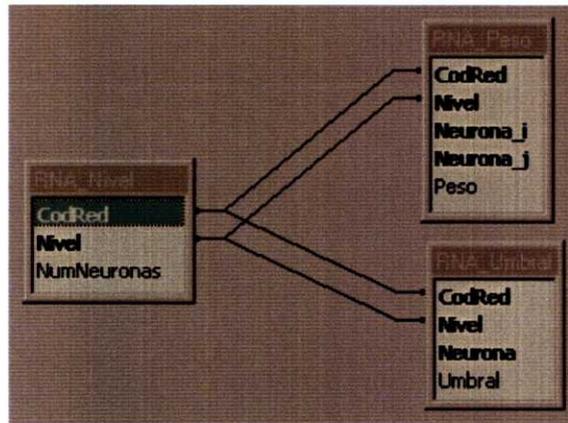


Figura A.14.8.- Modelización Pesos-Nivel-Umbrales

Se puede observar una relación de 1 a N entre *RNA\_Nivel* y *RNA\_Peso* y, otra, entre *RNA\_Nivel* y *RNA\_Umbra*.

Las figuras A.14.9 y A.14.10 muestran las tablas *RNA\_Peso* y *RNA\_Umbra* obtenidas.

RNA_Peso : Tabla			
	Nombre del campo	Tipo de datos	
	CodRed	Numérico	Código de la red
	Nivel	Numérico	Nivel (inferior)
	Neurona_i	Numérico	Neurona en nivel inferior
	Neurona_j	Numérico	Neurona en nivel superior
	Peso	Numérico	Peso i -> j

Figura A.14.9.- Tabla RNA\_Peso

RNA_Umbral : Tabla			
	Nombre del campo	Tipo de datos	
	CodRed	Numérico	Código de la red
	Nivel	Numérico	Capa de la red
	Neurona	Numérico	EP afectado
	Umbral	Numérico	Valor del Umbral

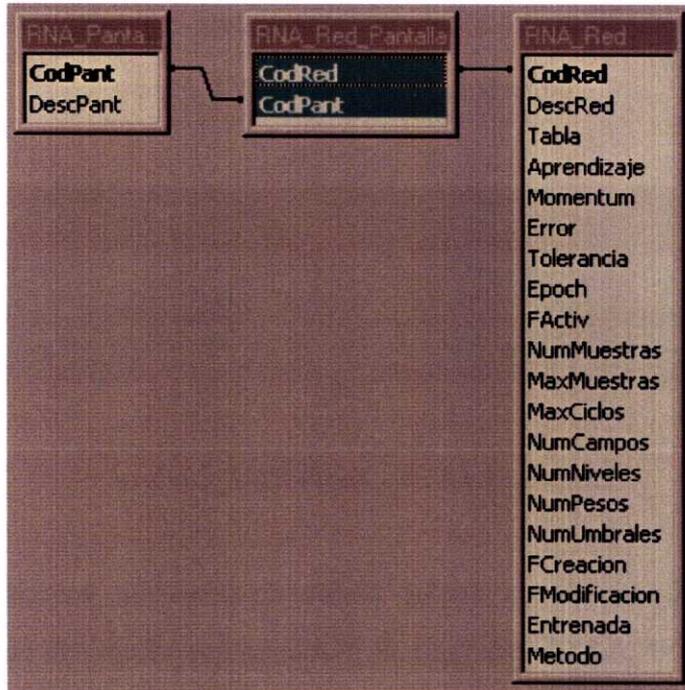
Figura A.14.10.- Tabla RNA\_Umbral.

En este punto, se dispone de un núcleo básico de propósito general para la gestión y manipulación de RR.NN.AA. Ahora bien, el problema que se aprecia en este punto es el de la reutilización de las diferentes RR.NN.AA, ya entrenadas, en cualquier aplicación que se pretenda desarrollar.

En el caso concreto de las EIA, se buscará la integración del SMR en el SH final. Como consecuencia de esta necesidad, se deberá disponer de algún sistema que permita la integración de las diferentes RR.NN.AA en cualquier aplicación final. En todo momento, se considerará la capacidad de generalización de la aproximación propuesta a cualquier tipo de aplicación.

Para incrementar la potencialidad de la integración de RR.NN.AA con otras tecnologías se incluirá una aproximación basada en la asignación de RR.NN.AA a pantallas a formularios de la aplicación final. Por lo tanto, se deberá definir una relación, del tipo  $M$  a  $N$ , entre las RR.NN.AA incluidas en el SMR y las diferentes pantallas de la aplicación. Esta aproximación conlleva la inclusión, en la BD del SMR, de una nueva entidad de pantallas. Dicha entidad, denominada *RNA\_Pantalla*, incluirá una breve descripción de la pantalla junto con el correspondiente identificador de pantalla. En general, se puede asignar un

conjunto de RR.NN.AA a una pantalla y viceversa. Por lo tanto, se observa una relación, del tipo *M a N*, denominada *RNA\_Red\_Pantalla*, entre la entidad de RR.NN.AA y de pantallas. La figura A.14.11 refleja la relación entre las RR.NN.AA y las pantallas de las aplicaciones.



*Figura A.14.11.- Modelización Pantallas-RR.NN.AA*

En principio, únicamente se han considerado códigos de pantalla del SH de EIA desarrollado. La incorporación del sistema en un entorno con múltiples aplicaciones únicamente requerirá la inclusión, en la BD, de una entidad de aplicación.

Posteriormente, cada aplicación tendría que llamar al módulo desarrollado pasándole como parámetros el código de aplicación y de la pantalla para, de esta forma, hacerle accesible las correspondientes RR.NN.AA.

La figura A.14.12 muestra el modelo completo de la BD utilizada por el SMR.

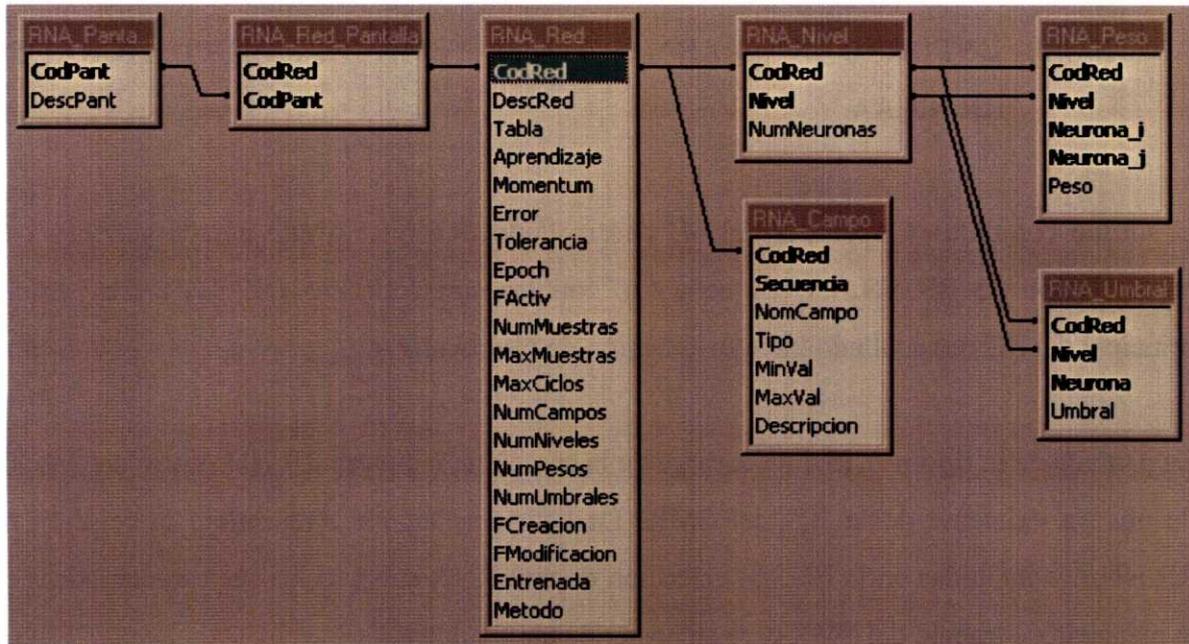


Figura A.14.12.- Modelo Relacional Completo (SMR).

## ANEXO 15.- ENTORNO DE TRABAJO DEL SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE RR.NN.AA.

El último conjunto de opciones del SH desarrollado está relacionado con la generación y manipulación de RR.NN.AA, en concreto, con las características del SMR. La pantalla principal del SH desarrollado incluye la opción de *Gestión de RNA*.

La pantalla de la figura A.15.1 se encarga de la creación de nuevas RR.NN.AA o la selección de una ya existente de la BD del SMR. La lista desplegable *Red* refleja la relación de RR.NN.AA incluidas en la BD. La selección de una RNA carga todas sus características en la memoria de trabajo del SMR para su posterior manipulación.

**Red**

Acc, Fact, Car. Ind (A) => Acc, Fact, Car. Ind (B) (CODIFICADOS) Nueva

**Parámetros**

Descripción: Acc, Fact, Car. Ind (A) => Acc, Fact, Car. Ind (B) (CODIFICADOS)

Método: Estándar Activación: Tanh Niveles: 3

F.Creación: 03/06/1998 N° Muestras: 211

F.Modificación: 08/06/1998 Max.Muestras: 211

Aprendizaje: 0,5000 Epoch: 1

Momentum: 0,0100 Max.Ciclos: 10000

Error: 0,01930 ¿Entrenada?: Si

Nivel	Neuronas
1	10
2	10
3	10

**Campos** Asociaciones

Tabla o consulta: QRY\_acc\_fac\_car\_ind\_2

Campo	Tipo	Mínimo	Máximo	Descripción
cod_accion_a	Entrada	1.201,00	3.601,00	accion_a
cod_factor_a	Entrada	1.101,00	4.201,00	factor_a
cod_signo_a	Entrada	-1,00	1,00	signo_a
cod_intensidad_a	Entrada	1,00	3,00	intensidad_a

Entrenar Eyaluar Borrar Guardar Restaurar Volver

Figura A.15.1.- Pantalla de Definición y Manipulación de RR.NN.AA.

En general, en este punto el SMR gestiona y manipula todos los aspectos relacionados con la arquitectura, método de aprendizaje, regla de activación, tasa de aprendizaje, momento, error del último entrenamiento, número de muestras, fechas de creación y modificación, etc.

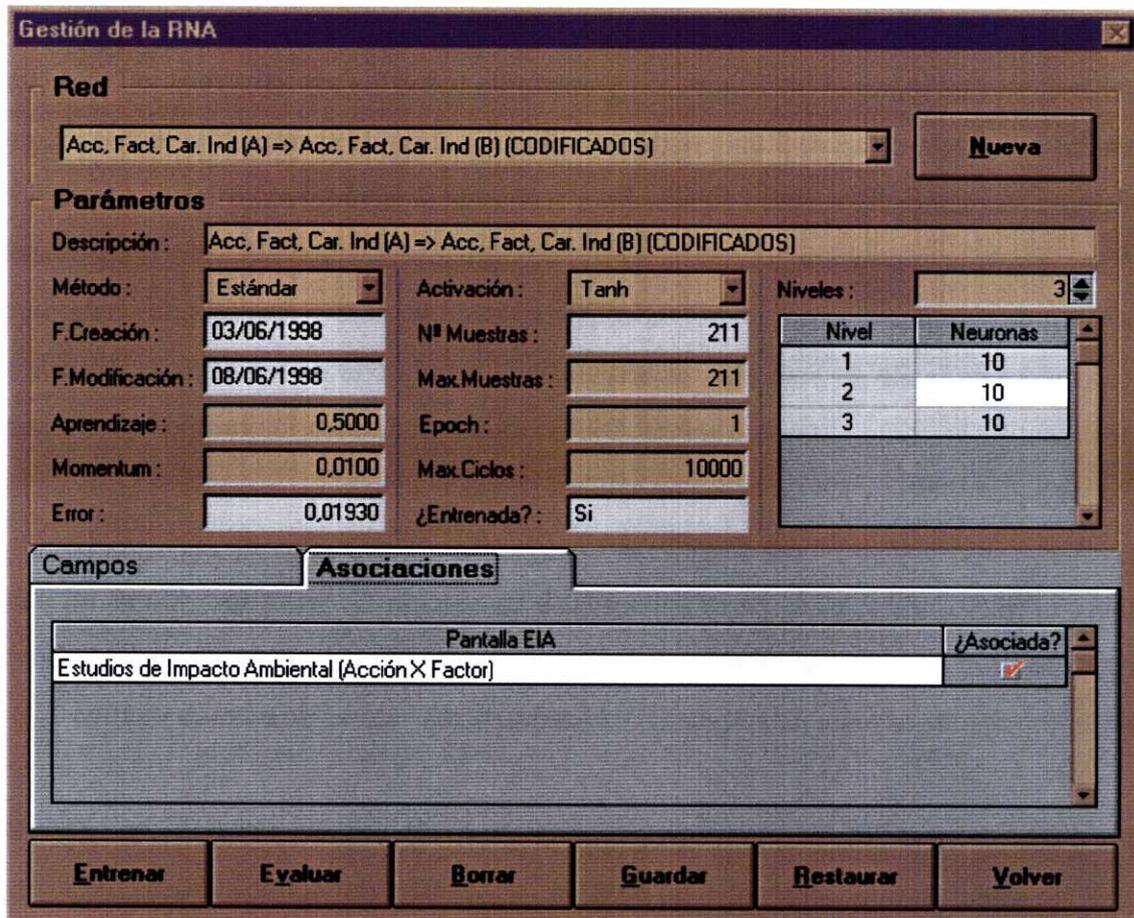
La sección de *Campos* se encarga de la identificación de la tabla o consulta utilizada para el entrenamiento de la RNA. Para ello, el SMR asigna a cada uno de los campos una etiqueta que los identifique como *entrada* o *salida*. Dichas etiquetas definen los campos que formarán los patrones de entrada y los deseados de salida.

Además, el SMR indica, en la parte izquierda de la sección *Campos*, los valores mínimo y máximo de cada uno de los campos. Estos valores se utilizarán en la normalización, que estará en función de la regla de activación utilizada, de los valores de entrada y salida.

Otro aspecto de gran interés, que incrementa el grado de utilidad del SMR y confiere al sistema un carácter muy amigable, es el de la utilización de campos descriptivos de las variables utilizadas, algunas de las cuales suelen estar codificadas. En este sentido, el SMR asigna a cada uno de los campos de entrada y salida de la RNA un campo descriptivo. El usuario final trabajará con los campos descriptivos en lugar de códigos.

Otra de las posibilidades del SMR gestiona la reutilización de las diferentes RR.NN.AA, ya entrenadas, en cualquier aplicación que se pretenda desarrollar, por ejemplo en el SH de EIA propuesto.

La sección de *Asociaciones* de la figura A.15.2 gestiona la asignación de RR.NN.AA a pantallas a de la aplicación final. Para ello, se asigna la RNA activa a cualquiera de las pantallas localizadas en la BD del SMR.



*Figura A.15.2.- Sistema de asignación de RR.NN.AA a pantallas.*

Una vez definidas las características de la RNA, del proceso de aprendizaje y del conjunto de entrenamiento se procede, finalmente, con el aprendizaje. El SMR visualiza el error del proceso utilizando tanto una representación gráfica como basada en texto.

En todo momento, se puede visualizar el error de cada ciclo de aprendizaje mediante el posicionamiento del cursor en la correspondiente zona de la gráfica de error.

La figura A.15.3 muestra el entorno de aprendizaje del SMR.

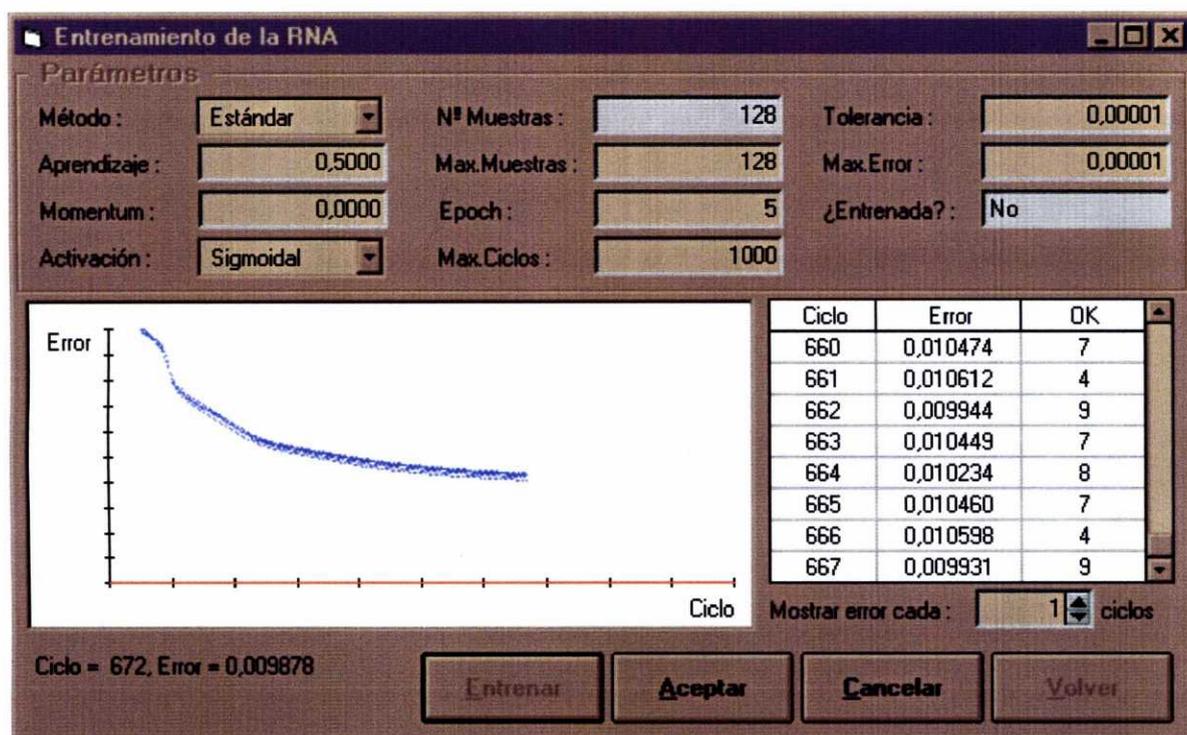


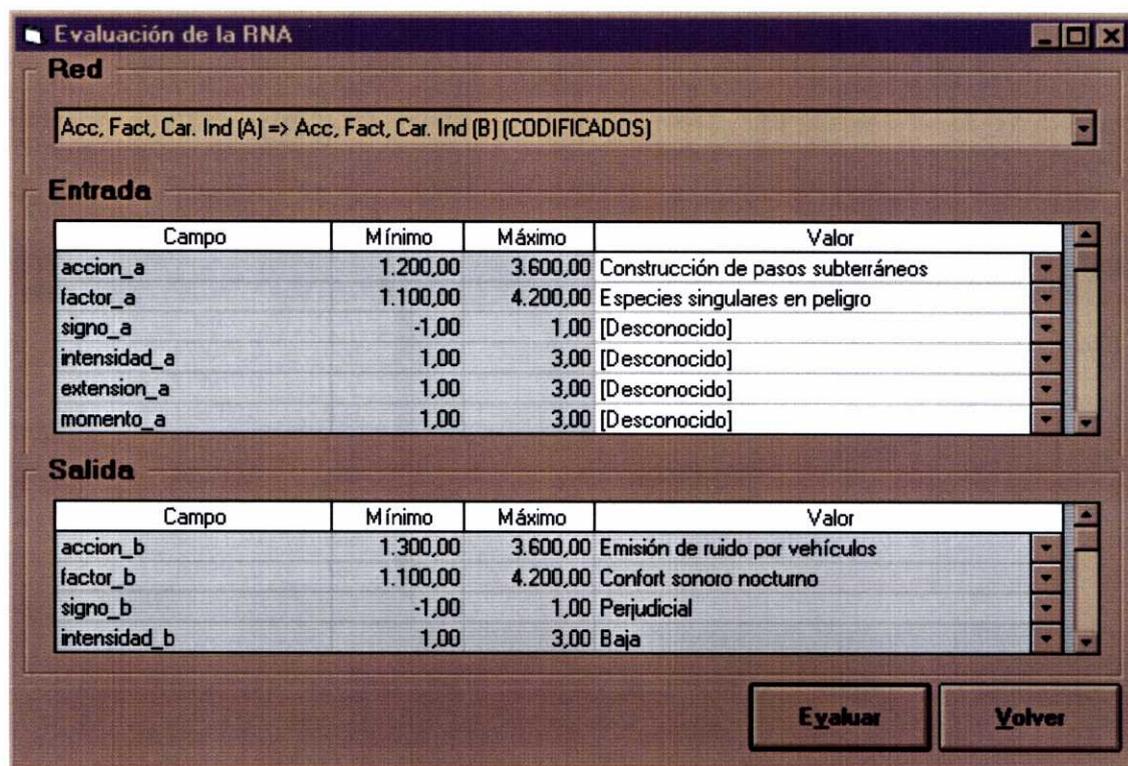
Figura A.15.3.- Entorno de aprendizaje del SMR.

En general, la arquitectura del SMR gestiona grandes cantidades de RR.NN.AA realizando, entre otras tareas, el reajuste de los parámetros de las RR.NN.AA y su reaprendizaje.

Una vez finalizada la fase de aprendizaje, el SMR realiza un test de las RR.NN.AA. La pantalla de la figura A.15.4 muestra dicho entorno de test.

La parte superior de la pantalla gestiona la entrada de datos a la RNA y la inferior los resultados obtenidos.

Nuevamente, el SMR transforma las entradas y salidas de la RNA de su formato codificado a sus correspondientes etiquetas semánticas. Además, el SMR incorpora la posibilidad de utilizar el código "Desconocido" como entrada de algunas de las variables de la RNA.



*Figura A.15.4.- Módulo de test de las RR.NN.AA.*

Como base de la fase de ejecución del ciclo de vida de las RR.NN.AA, el SMR debe disponer una forma que permita a las aplicaciones y, más concretamente, a sus diferentes pantallas, acceder a las RR.NN.AA relevantes en cada caso. En este sentido, se pueden incluir botones o teclas de función que seleccionen las RR.NN.AA relevantes para cada pantalla y, por tanto, independicen el módulo conexionista y sus RR.NN.AA resultantes de las potenciales aplicaciones cliente.

Por ejemplo, si como resultado de una EIA, se concluye entre uno de sus muchos cruces el formado por la acción “Desbroce y despeje”, el FA “Vegetación natural de medio valor conservacional”, un signo perjudicial, intensidad alta, extensión generalizada, momento superior a tres años, medidas correctoras desconocidas, duración permanente, reversibilidad imposible y, finalmente, un indicador de impacto desconocido, entonces, la RNA de cruces concluirá, tomando como patrón de entrada el cruce identificado, un nuevo cruce. En este sentido, el SH se convierte en un perfecto asesor y guía de los expertos en EIA. La figura A.15.5 muestra el resultado final sin evaluar del cruce visto anteriormente.

**Estudios de Impacto Ambiental**

**Acción :** Desbroce y despeje

**Factor :** Vegetación natural de medio valor conservacional

Características establecidas      Establecimiento de Características      Indicadores

Signo	Intensidad	Extensión	Momento	Duración	Reversible	Correcciones
Perjudicial	Alta	Media	> 3 años	Permanente	Imposible	Obra

Evaluar RNA      Evaluar      Guardar      Informe      Sugerencias      Cancelar

*Figura A.15.5.- Caracterización parcial de un cruce de impacto ambiental.*

Como se puede apreciar, la pantalla de la figura A.15.5 incluye un botón para evaluar RR.NN.AA. Tal y como se puede observar en la figura A.15.6, la consideración del cruce visto anteriormente por el SMR concluye el siguiente nuevo cruce:

- Acción. “Desbroce y Despeje”
- Factor Ambiental. “Especies Vegetales protegidas”
- Signo. “Perjudicial”
- Intensidad. “Alta”
- Extensión. “Generalizada”
- Momento. “Superior a tres años”
- Medidas Correctoras. “Desconocidas”
- Duración. “Permanente”
- Reversibilidad. “Imposible”
- Indicador. “Superficie de vegetación equivalente”

**Evaluación de la RNA**

**Red**

Acc, Fact, Car. Ind (A) => Acc, Fact, Car. Ind (B) (CODIFICADOS)

**Entrada**

Campo	Mínimo	Máximo	Valor
accion_a	1.200,00	3.600,00	Desbroce y despeje
factor_a	1.100,00	4.200,00	Vegetación natural de medio valor conservacion
signo_a	-1,00	1,00	Perjudicial
intensidad_a	1,00	3,00	Alta
extension_a	1,00	3,00	Generalizada
momento_a	1,00	3,00	Más de 3 años

**Salida**

Campo	Mínimo	Máximo	Valor
accion_b	1.300,00	3.600,00	Desbroce y despeje
factor_b	1.100,00	4.200,00	Especies vegetales protegidas
signo_b	-1,00	1,00	Perjudicial
intensidad_b	1,00	3,00	Alta

**Evaluar** **Volver**

*Figura A.15.6.- Gestión del SMR de la fase de ejecución de las RR.NN.AA.*

En general, el acceso al módulo de ejecución desde cualquier pantalla de una aplicación trae consigo la ejecución de diferentes posibles RR.NN.AA. En el ejemplo visto, el SMR considera dos posibles RR.NN.AA, una específica, para identificar indicadores y, otra general, para identificar cruces de impacto.

UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
Servicio de Bibliotecas



1700759562