



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE INFORMÁTICA
SISTEMAS INFORMÁTICOS
CURSO 2008/2009

SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL



Vicente Cruz Mínguez
Enrique Gallego Martín
Luis González de Paula

Dirigido por:

Luis Garmendia Salvador

*Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial
Facultad de Informática - Universidad Complutense de Madrid*



Codirigido por:

Alfonso Garmendia Salvador

Instituto Agroforestal Mediterráneo

ETS del Medio Rural y Enología - Universidad Politécnica de Valencia



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Autorización

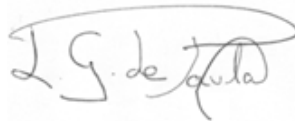
Se autoriza a la Universidad Complutense de Madrid a utilizar y difundir con fines académicos, no comerciales, el contenido de este documento de texto, así como del contenido del CD complementario que adjuntamos con él mismo.



Vicente Cruz Mínguez



Enrique Gallego Martín



Luis González de Paula

Dirigidos por:

Luis Garmendia Salvador.
Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial.
Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid.

Codirigidos por:

Alfonso Garmendia Salvador.
Instituto Agroforestal Mediterráneo.
ETS del Medio Rural y Enología. Universidad Politécnica de Valencia.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los colaboradores que han participado desinteresadamente en el desarrollo de este proyecto:

Adela Salvador Alcaide.

*Departamento de Matemática e Informática Aplicadas a la Ingeniería Civil.
ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.*

Alfonso Garmendia Salvador.

*Instituto Agroforestal Mediterráneo.
ETS del Medio Rural y Enología. Universidad Politécnica de Valencia.*

Luis Garmendia Salvador.

*Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial.
Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid.*

Índice

Idea inicial.....	5
Resumen y objetivos.....	6
Conceptos teóricos	7
Evaluación de Impacto Ambiental	7
Introducción.....	7
Terminología del proceso EIA.	8
Concepto de Impacto Ambiental.....	10
Concepto de Evaluación de Impacto Ambiental.....	19
Marco legal.....	21
Metodología del proceso EIA.....	23
Medidas protectoras, correctoras y compensatorias.....	36
Lógica borrosa	39
Introducción.....	39
Justificación de la fuzzy logic.....	39
Ternas lógicas.....	40
Relaciones borrosas.....	43
Lógicas borrosas.....	44
Operadores de implicación.....	45
Desarrollo del sistema	48
Análisis	48
Definición del sistema	48
Metodología	49
Adquisición del conocimiento	51
Diseño.....	52
Identificación y especificación de las partes del sistema	52
Casos de uso	54
Documentación complementaria	56
Implementación.....	63
Modelo	64
XML	70
Lógica difusa.....	75
GUI	84
Reportes	91
Instrucciones de ejecución	94
Pruebas	96
Licencia de distribución, modificación y uso.....	111
Conclusiones	122
Problemas abiertos y posibles ampliaciones.....	123
Bibliografía y páginas Web de referencia.....	124
Apéndice.....	125
Guía de uso EIA09.....	126

Idea inicial

En los últimos años, debido al aumento de los problemas ambientales, el medio ambiente cobra especial reconocimiento e importancia, por lo que se hace indispensable incorporar el elemento medioambiental como factor de garantía del progreso. Ha cobrado gran relevancia el concepto de desarrollo sostenible: el crecimiento económico y la protección ambiental son aspectos complementarios; sin una protección adecuada del medio ambiente, el crecimiento se vería menoscabado y sin crecimiento, fracasa la protección ambiental.

En este sentido, la evaluación de impacto ambiental (EIA) constituye una de las herramientas de protección ambiental que fortalece la toma de decisiones a nivel de políticas, planes, programas y proyectos, ya que incorpora variables que tradicionalmente no han sido consideradas durante su planificación, diseño o implementación.

El Instituto Agroforestal Mediterráneo de la ETS del Medio Rural y Enología de la Universidad Politécnica de Valencia, por medio de Alfonso Garmendia Salvador, ha mostrado durante los últimos años gran interés por esta temática, solicitando colaboración para la realización de herramientas para tal efecto. De tales ideas, nace el presente proyecto.

El Departamento de Matemática e Informática Aplicadas a la Ingeniería Civil de la ETSI Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, con Adela Salvador Alcaide a la cabeza, también se ha interesado por la temática, aportando un estudio amplio sobre las técnicas y metodologías que se emplean en la EIA.

El proyecto realizado trata de facilitar la tarea de evaluar el impacto que sobre el medio ambiente causa una determinada actividad u obra. Para ello se ha realizado una aplicación software destinada a técnicos especializados y estudiantes, bajo una interface amigable, determinando un modelo a seguir práctico e intuitivo.

Además, el software se apoya en técnicas de lógica borrosa (fuzzy logic) para aumentar la potencia a la hora de estimar conceptos de gran subjetividad, útil para el personal técnico carente de experiencia.

Resumen y objetivos

El objeto del proyecto consiste en la realización de un software para realizar un estudio del impacto que ocasionará la puesta en marcha de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente. A partir de este estudio se intentará predecir y evaluar las consecuencias que la ejecución de dichas actividades pueda ocasionar en el entorno en el que se localiza.

El proyecto se basa en un entorno gráfico amigable que, previo análisis de las ventajas e inconvenientes de cada una de las opciones existentes, facilita la recopilación y análisis de los datos necesarios para definir los trazados de las diferentes alternativas del proyecto.

Se pretende que la identificación y evaluación de los impactos sirva para escoger de manera óptima la alternativa de realización coherente y asumible de cara al medio ambiente.

Además, se facilita la presentación de los datos del proceso y conclusiones obtenidas mediante la generación de informes detallados del proyecto en estudio.

Palabras clave: *evaluación impacto ambiental; EIA; impacto ambiental; efecto ambiental; acción de realización; factor ambiental; valoración de impacto; xfuzzy; lógica borrosa.*

Summary & objectives

The aim of this project is the execution of software to carry out a study about the impact that will occur with the starting up of a project, work or activity on the environment. Taking this study as a starting point we will try to predict and evaluate the consequences that the execution of these activities will cause in the environment in which it is located.

The project is based in a friendly graphic environment which, thanks to a previous analyse of the advantages and the disadvantages of every current option, makes easier the recompilation and analyse of the necessary data to define the drawings of the different alternatives of the project.

The identification and evaluation of the impacts is expected to be used for choosing the right alternative for the environment.

Besides, the data presentation of the process and the achieved conclusions are provided through different detailed essays of the project under study.

Keywords: *environmental impact assessment; EIA; environmental impact; environmental effect; action execution; environmental factor; impact assessment; xfuzzy; fuzzy logic.*

Conceptos teóricos

Evaluación Impacto Ambiental

Introducción.

En la década de los años 70, debido al agravamiento de los problemas ambientales, el medio ambiente cobra amplio reconocimiento y surge la necesidad de incorporar la variable ambiental como factor de garantía del progreso. Nace también el concepto de desarrollo sostenible, que tiene la finalidad de incorporar las variables ambientales en una concepción global y postular que no puede haber progreso sólido y estable si no existe una preocupación de la sociedad en su conjunto por la conservación ambiental. El crecimiento económico y la protección ambiental son aspectos complementarios; sin una protección adecuada del medio ambiente, el crecimiento se vería menoscabado y sin crecimiento, fracasa la protección ambiental.

En este sentido, la evaluación de impacto ambiental (EIA) constituye una de las herramientas de protección ambiental que fortalece la toma de decisiones a nivel de políticas, planes, programas y proyectos, ya que incorpora variables que tradicionalmente no han sido consideradas durante su planificación, diseño o implementación. La evaluación de impacto ambiental, en el contexto actual, se entiende como un proceso de análisis que anticipa los futuros impactos ambientales negativos y positivos de acciones humanas permitiendo seleccionar las alternativas que, cumpliendo con los objetivos propuestos, maximicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados. La experiencia de diversos países permite su aplicación no sólo para grandes proyectos de inversión, sino también a actividades de desarrollo que involucren planes y programas de ordenamiento territorial, políticas y alternativas de acción, entre otras, que requieren de una variedad de proyectos individuales, evitando de esta forma los efectos acumulativos a nivel regional.

La Constitución Española, en su artículo 45, establece el derecho de todos los españoles a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona y, en paralelo, el deber también general de su conservación.

Se considera como un impacto ambiental la alteración de la calidad del medio ambiente producida por una actividad humana. Los problemas de escala y de incertidumbre van a estar presentes a la hora de determinar los efectos y los impactos ambientales que se producen debidos a una actividad concreta, sobre todo en el caso de los secundarios o los que se manifiestan a medio o largo plazo.

En la mayoría de los casos es difícil predecir cual será el comportamiento de un determinado ecosistema en ausencia de alteraciones, por lo que la diferencia entre éste y la situación que se produce debida a una actuación también es difícil de determinar. Una de las formas de "demostrar" que una determinada acción está relacionada con unos efectos o impactos ambientales es mediante un tratamiento estadístico de las variables ambientales, de forma que se mide su variabilidad natural a lo largo del tiempo y se analiza la probabilidad de que lo que observamos sea debido al azar (y por lo tanto consecuencia de su evolución natural). Cuando no es debido al azar (o la probabilidad de que lo sea es muy pequeña) se entiende que es debido entonces a las variaciones que se han producido en el medio.

El fin de una evaluación de impacto ambiental es identificar, predecir, valorar, prevenir o corregir y comunicar los efectos y los impactos ambientales producidos por una obra, discriminando entre las distintas alternativas. La selección de los factores ambientales y de las acciones de la obra conducen a identificar los posibles impactos ambientales y para evaluar estos se tienen los indicadores. Para poder agregar es preciso utilizar las funciones de transformación, que son, en si mismas, ya conjuntos

borrosos, y con las que se pueden utilizar todas las técnicas de agregación de la lógica difusa.

Terminología del proceso EIA.

Con el fin de introducir al lector en la terminología, a continuación se da una breve definición de los términos más necesarios y empleados en la mayoría de los procesos de impacto ambiental.

Medio Ambiente

Es el conjunto de factores físicos, químicos, biológicos, sociales, culturales, estéticos y económicos capaces de causar efectos entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia.

Medio físico o natural

Sistema constituido por los elementos y proceso del ambiente natural tal como encontramos en la actualidad y sus relaciones con la población.

Se proyecta en tres subsistemas:

- Medio Inerte o Medio Físico propiamente dicho: Aire, Tierra y Agua.
- Medio Biótico: Flora y Fauna.
- Medio Perceptual: Unidades de paisaje (cuencas visuales, valles y vistas).

Medio Socio-económico

Sistema constituido por las estructuras y condiciones sociales, histórico culturales y económicas en general, de las comunidades humanas o de la población de un área determinada.

Factores ambientales

Son los distintos componentes del Medio Ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en nuestro planeta. Pueden ser modificados por las acciones humanas, en ocasiones, provocando grandes alteraciones que pueden ocasionar graves problemas generalmente difíciles de valorar.

Los organismos competentes de la CEE consideran estos factores ambientales:

- El hombre, la flora y la fauna.
- El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje.
- Las interacciones entre los anteriores.
- Los bienes materiales y el patrimonio cultural.

Impacto ambiental

La alteración, modificación o cambio en el ambiente, o en alguno de sus componentes de cierta magnitud y complejidad o producido por los efectos de la acción o actividad humana. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, o una disposición administrativo-jurídica con implicaciones ambientales.

Debe quedar explícito, sin embargo, que el término impacto no implica negatividad, ya que éste puede ser tanto positivo como negativo.

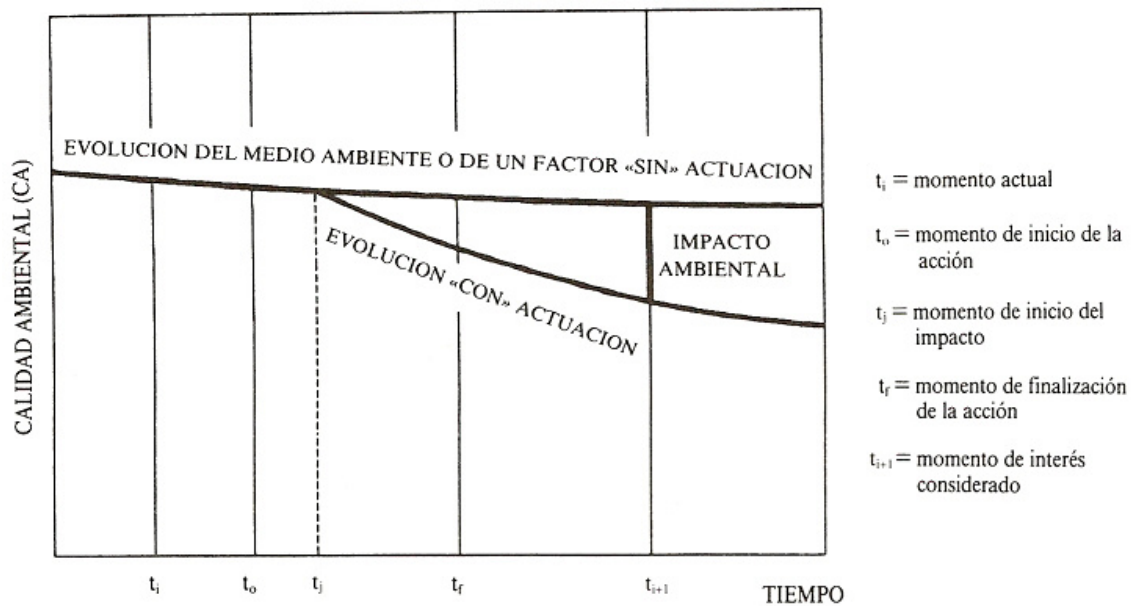


Figura 1: Representación gráfica del concepto de impacto ambiental

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Es un procedimiento jurídico-técnico-administrativo que tiene por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado; así como la prevención, corrección y valoración de los mismos. Todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes.

Otra definición la considera como el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad, causa sobre el medio ambiente.

Así pues, la EIA es un proceso que tiene dos objetivos generales. Por un lado establece el procedimiento jurídico-administrativo para la aprobación, modificación o rechazo de un Proyecto o actividad, por parte de la Administración. Por el otro, trata de elaborar un análisis encaminado a predecir las alteraciones que el Proyecto o actividad puede producir en la salud humana y Medio Ambiente.

Estudio del Impacto Ambiental (EsIA)

Se puede definir como el estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que incorporado en el procedimiento de la EIA, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. Es un documento técnico que debe presentar el titular del proyecto y sobre la base del cual se produce la Declaración o Estimación de Impacto Ambiental.

Se trata de presentar la realidad objetiva, para conocer en qué medida repercutirá sobre el entorno la puesta en marcha de un proyecto, obra o actividad y con ello, la magnitud de la presión que dicho entorno deberá soportar.

Valoración del Impacto Ambiental (VIA)

Forma parte de la última fase del EIA y consiste en transformar los impactos, medidos en unidades heterogéneas, a unidades homogéneas de impacto ambiental, de forma que permita comparar varias alternativas diferentes de un mismo proyecto y también de proyectos distintos.

Indicador de Impacto Ambiental

Factor ambiental cuyo cambio proporciona la medida de la magnitud del impacto, al menos en su aspecto cualitativo y también, si es posible en el cuantitativo.

Importancia de un Impacto

Valoración que nos da una especie de ponderación del impacto. Expresa la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental.

Concepto de Impacto Ambiental.

El término de impacto se aplica a la alteración que introduce una actividad humana en el entorno; este último concepto identifica la parte del medio ambiente afectada por la actividad, o más ampliamente, que interacciona con ella. No se suele aplicar el término impacto a las alteraciones ambientales producidas por fenómenos naturales, como los daños causados por una tormenta. Por tanto el impacto ambiental se origina en una acción humana y se manifiesta según tres facetas sucesivas:

- La modificación de alguno de los factores ambientales o del conjunto del sistema ambiental.
- La modificación del valor del factor alterado o del conjunto del sistema ambiental.
- La interpretación o significado ambiental de dichas modificaciones, y en último término, para la salud y el bienestar humano. Esta tercera faceta está íntimamente relacionada con la anterior ya que el significado ambiental de la modificación del valor no puede desligarse del significado ambiental del valor de que se parte.

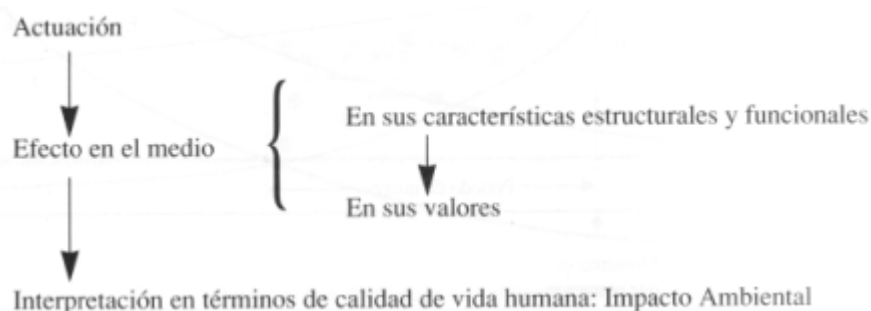


Figura 2: El impacto se asocia con la alteración del medio

Siempre que hay una actividad humana se producen impactos, pero muchos de ellos, frecuentemente la mayor parte, son despreciables; para que un impacto sea digno de atención debe ser significativo, afirmación respaldada por el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental que alude a esta idea cuando señala que los estudios de impacto ambiental deben de identificar los efectos notables, los capaces de producir repercusiones apreciables en los factores ambientales.

El impacto puede ser actual y ocasionado por una actividad en funcionamiento, o potencial, y referirse en este último caso, al riesgo de impacto de una actividad en

marcha o a los impactos que se derivarían de una acción en proyecto, en caso de ser ejecutado.

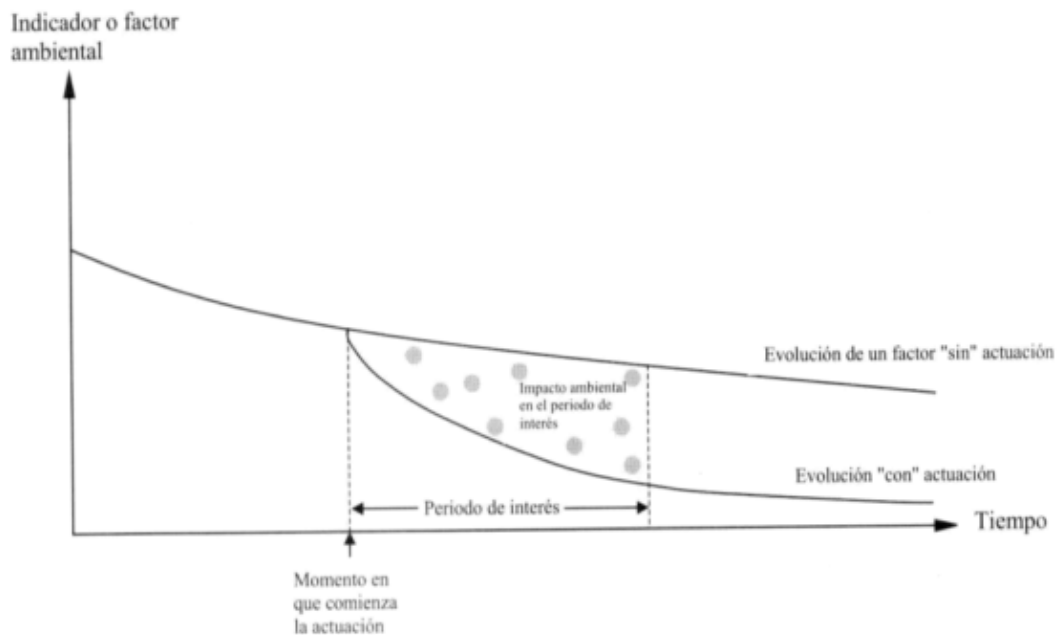


Figura 3: Representación del impacto como diferencia de evolución del factor

El impacto se puede considerar como la diferencia de evolución del entorno 'con' y 'sin' acción humana. La alteración se mide por la diferencia entra la evolución en el tiempo que tendría el entorno, o alguno de los factores que lo constituyen, en ausencia de la actividad causante, y la que tiene en presencia de ésta.

La asociación del impacto a la evolución temporal del entorno, le hace variable en el tiempo de diferentes formas según su naturaleza: desde los impactos que se automagnifican, hasta los que desaparecen con el tiempo, gracias a las propiedades reversibles que les proporciona la homeostasia de los ecosistemas.

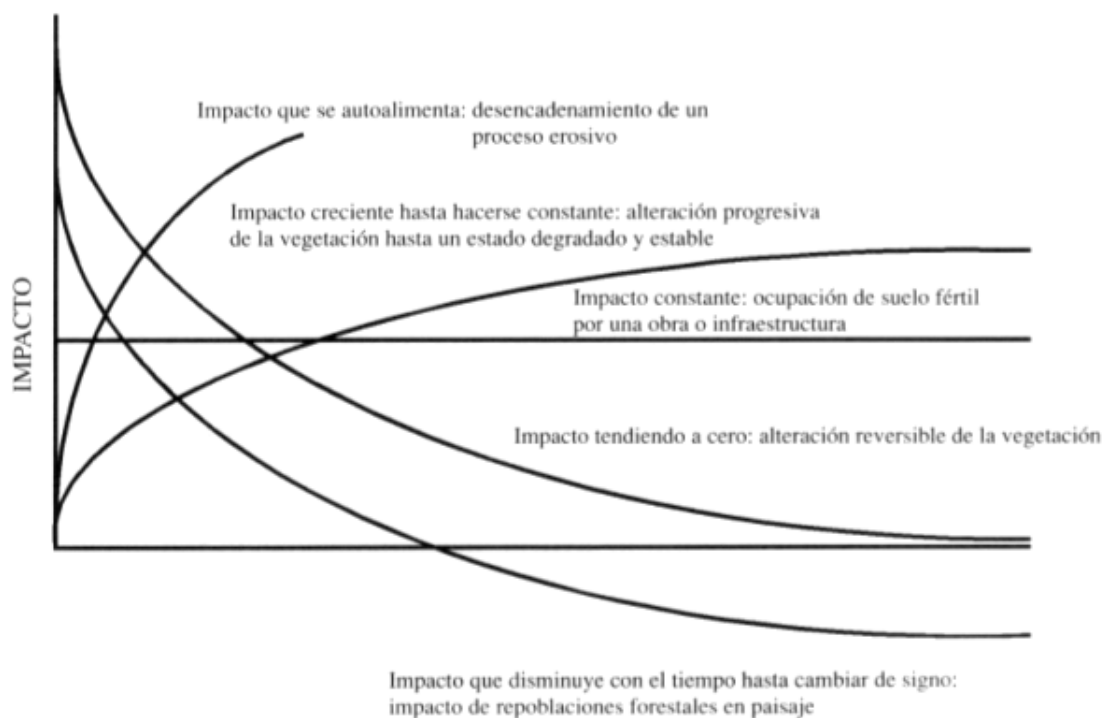


Figura 4: El impacto varía en el tiempo según su naturaleza

El impacto puede referirse al sistema ambiental en conjunto o a alguna de sus componentes, de tal modo que se puede hablar de impacto total y de impactos específicos derivados de una actividad actual o en proyecto. Asimismo el impacto de una actividad es el resultado de un cúmulo de acciones distintas que producen otras tantas alteraciones sobre un mismo factor, las cuales no siempre son agregables, por lo que también se puede hablar del impacto del conjunto de una actividad o sólo de alguna de las partes o procesos que la forman.

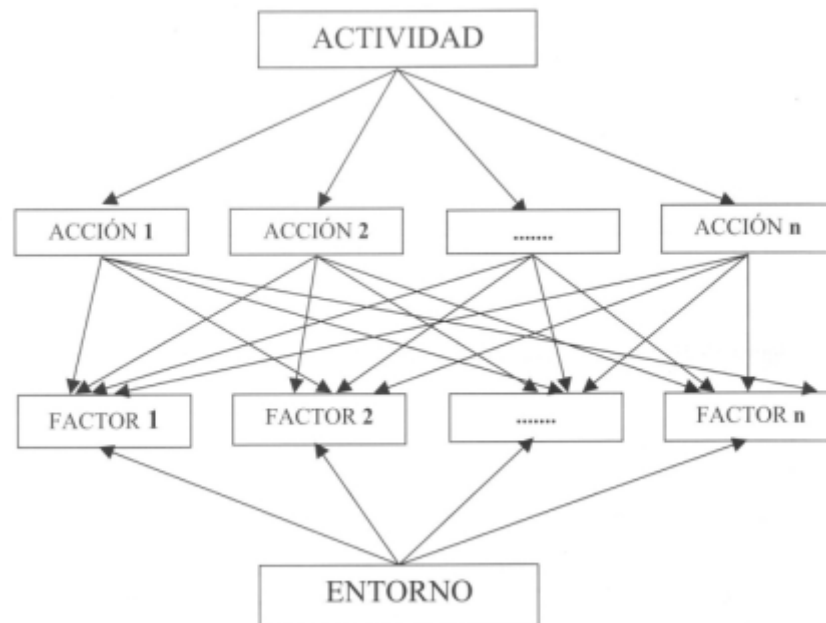


Figura 5: Representación de una actividad como sistema de acciones y factores

Para entender el concepto de impacto ambiental, resulta útil distinguir lo que es la alteración en sí de un factor -efecto-, de la interpretación de dicha alteración en términos ambientales y, en última instancia, de salud y bienestar humano; este significado ambiental es lo que define más propiamente el impacto ambiental. Un ejemplo de fácil comprensión puede estar en el significado de cortar un árbol: si se corta un olmo de una olmeda el impacto se absorbe fácilmente por el ecosistema, éste utiliza su homeostasia para contrarrestar el efecto y al poco tiempo habrá cubierto el hueco con otro árbol o con el crecimiento de los vecinos, pero si el olmo cortado es uno milenario de un lugar emblemático, el impacto será importante y probablemente percibido como inaceptable por la comunidad. Este ejemplo es trasladable a cualquier factor, si bien la relación entre la magnitud del factor alterado, o del indicador con que se mida, es muy diferente de unos factores a otros.

Tras lo comentado anteriormente, aparece un nuevo elemento que justifica el carácter cambiante del impacto ambiental en el tiempo y en el espacio; en efecto, el significado ambiental de una alteración varía en el tiempo porque varía la propia alteración, pero también porque la percepción social lo hace; en la medida en que se progresa en el nivel de renta, aumenta la exigencia social de calidad ambiental y la curva de valor se desplaza en el sentido de dicha exigencia. Por otro lado, la percepción es diferente para situaciones y culturas distintas. Esto tiene grandes repercusiones en la valoración de los impactos y en la prioridad con que se debe intervenir para prevenirlos o evitarlos.

La acción humana responsable del impacto, el entorno afectado por ella y el conjunto formado por ambos elementos, tienen carácter de sistema, de tal manera que el impacto ambiental total no debe ser entendido como una serie de modificaciones

aisladas producidas sobre los correspondientes factores, si no como una o varias cadenas, frecuentemente entrelazadas, de relaciones causa-efecto. De ahí el interés de los grafos de relación causa-efecto para identificar y entender los impactos de una actividad.

La expresión de los problemas/impactos en forma de árbol refleja muy bien las complejas interacciones ambientales que se derivan de la ejecución de un proyecto. La confección del grafo se facilita cuando se fija la manifestación del impacto, y a partir de ella, se progresa hacia la izquierda para identificar las relaciones hacia atrás como una cadena de causas y hacia delante como una cadena de efectos. La idea se puede asimilar a un árbol cuyo tronco sería la manifestación del impacto, las raíces representarían la cadena de relaciones causales y las ramas la cadena de efectos derivados.

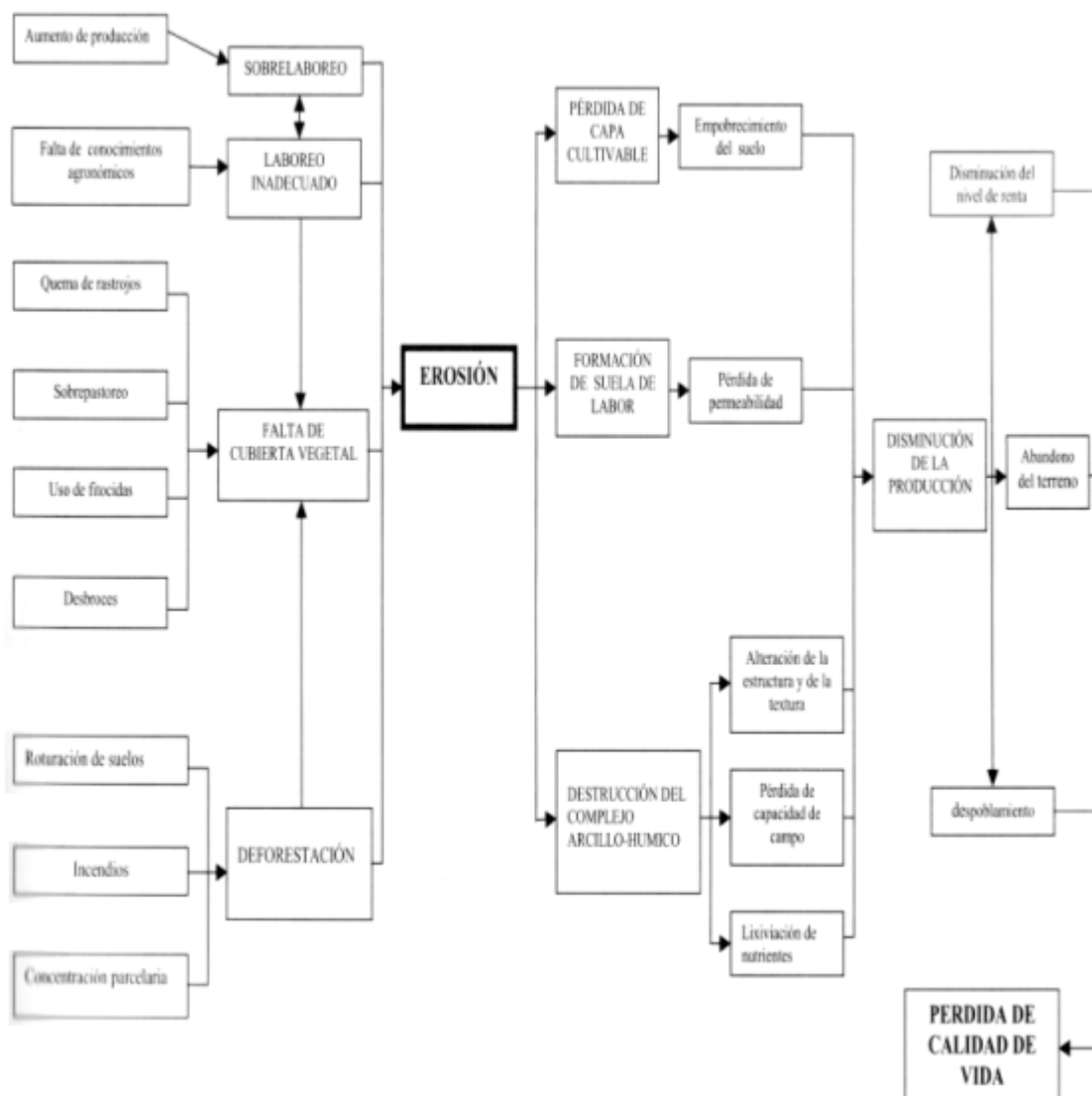


Figura 6: Ejemplo de grafo causa-efecto para el diagnóstico de impactos

Clases de impactos

Las interacciones entre el tipo y localización de las actividades causantes del impacto y las funciones del entorno en que se ubican, sugiere una interesante clasificación de los mismos basada en la naturaleza de tales interacciones. Organiza los impactos en tres grandes bloques: los que derivan de la extracción de recursos

naturales y materias primas, los que se producen por ocupación y transformación del espacio, y los que resultan de la emisión de efluentes. A éstos se añaden los denominados impactos de la pasividad, consecuencia del abandono de actividades tradicionales por parte del hombre o de la no intervención, y los impactos positivos producidos cuando la acción humana se integra cuidadosamente en el medio. Asimismo, hay que añadir los derivados de la presencia del proyecto conjunto.

- Impactos de sobreexplotación.

Estos efectos se asocian a aquellas actividades que utilizan recursos ambientales y no respetan los criterios de sostenibilidad que se describieron; por lo tanto se pueden, ordenar así:

- Sobreexplotación de recursos naturales renovables; se producen cuando se extraen del medio o a un ecosistema bienes o servicios por encima de las tasas de renovación en los correspondientes ciclos.
- Extracción de recursos naturales no renovables que se consumen cuando se utilizan a un ritmo tal que:
 - Se agotan antes que aparezca un sucedáneo.
 - No permite la adaptación del medio a las modificaciones que introduce la explotación.
 - No permite una gestión racional de la explotación, es decir, un control sobre las acciones aparejadas a tal explotación.
- Utilización de recursos no renovables que no se consumen cuando se utilizan por encima de una cierta intensidad de uso.

- Impactos de ocupación/transformación del espacio y/o cambio en los usos del suelo.

Estos impactos se generan cuando existe una discordancia entre la vocación de los ecosistemas, y del territorio en general, con la naturaleza y localización de las actividades humanas; suelen ser de carácter irreversible y, al venir denunciados externamente por la presencia de elementos o transformaciones físicas, muy evidentes.

- Impactos de contaminación.

Este impacto se produce según un fenómeno complejo que se engloba bajo el nombre de contaminación y que implica, primero, la emisión de materiales o energía por una actividad, luego, su dispersión y transformación en el vector soporte, de aquí resultan unos niveles de inmisión y, por fin, unas consecuencias sobre el hombre, los ecosistemas, la biocenosis o los bienes materiales; el responsable directo del impacto es el nivel de inmisión y su manifestación los efectos citados.

- Impacto derivado del declive o ausencia de actividad.

Este tipo de impacto se refiere a los que surgen por declive o ausencia de la intervención humana; se distinguen dos tipos:

- Subexplotación de recursos o ecosistemas; el impacto surge por defecto de actividad, es decir por falta de gestión y cuidado que requiere la explotación de los recursos que tradicionalmente se viene haciendo.
- Impacto de la pasividad; se aplica esta idea a la falta de intervención ante situaciones que propician impactos ambientales o ante

degradaciones, provocadas por fenómenos naturales o por situaciones artificiales, que se autoalimentan si no se interviene.

- Impactos positivos.

La gestión ambiental ha de contemplar la posibilidad de generar impactos positivos, que se ha de considerar como uno de los principales criterios de calidad de la obra civil; se traduce en prestigio y eficacia productiva.

Naturaleza y atributos del impacto ambiental

Un impacto ambiental viene identificado por el efecto de una acción simple de una actividad sobre un factor ambiental y ambos elementos, acción y factor, deben quedar explícitos en la definición que se haga de él. En una situación y momento dado, la esencia de un impacto ambiental queda determinado por dos elementos: su signo y su valor. Ambos elementos, junto a otros dos, tiempo y espacio, que se añaden después y a los que completan el diagnóstico del impacto, determinan la oportunidad de intervenir sobre un impacto actual o potencial y la prioridad con que debe hacerse.

- Signo.

Se refiere al carácter benéfico (positivo) o perjudicial (negativo) del impacto. En ocasiones, el conocimiento de que se dispone no permite asegurar el carácter positivo o negativo del efecto, entonces se atribuye un signo aspa: X.

- Valor.

Mide la gravedad del impacto cuando es negativo y al grado de bondad cuando es positivo; en uno y otro caso, el valor se refiere a la cantidad, calidad, grado y forma en que un factor ambiental es alterado y al significado ambiental de dicha alteración. Se puede concretar en términos de magnitud y de incidencia de la alteración:

- Magnitud; representa la cantidad y calidad del factor modificado, en términos relativos al marco de referencia adoptado.
- Incidencia; se refiere a la severidad: grado y forma, de la alteración, la cual viene definida por la intensidad y por una serie de atributos de tipo cualitativo que caracterizan dicha alteración, y que son los siguientes:
 - Intensidad; grado de incidencia de la alteración.
 - Extensión (escala); área de influencia del efecto en relación con el total del entorno considerado.
 - Momento; lapso de tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del efecto.
 - Inmediatez; dependencia directa de una acción o indirecta a través de un efecto.
 - Persistencia; tiempo de permanencia del efecto.
 - Continuidad; manifestación de forma constante en el tiempo.
 - Periodicidad; manifestación de forma cíclica o recurrente en el tiempo.
 - Regularidad; manifestación de forma regular, predecible, por tanto, o impredecible.

- Acumulación; incremento continuo de la gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera.
- Sinergia; reforzamiento de efectos simples, se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples produce un efecto superior a su suma simple.
- Reversibilidad; posibilidad de ser asimilado por el medio, de tal manera que éste, por sí solo, es capaz de recuperar las condiciones iniciales una vez producido el efecto.
- Recuperabilidad; posibilidad de recuperación mediante intervención externa.

Una actividad, en general, producirá impactos sobre diferentes factores, el valor definido se refiere a cada uno de ellos. El valor total de un proyecto en su conjunto (sistema proyecto) sobre el conjunto del entorno afectado (sistemas ambiental), se obtendrá por agregación de los impactos parciales producidos sobre cada factor ambiental alterado, agregación que debe incluir la importancia de dichos factores, es decir, su contribución a la calidad ambiental del entorno.

Como modelo de valoración de los impactos parciales o simples se puede utilizar el producto de los valores estandarizados de magnitud e incidencia y para el cálculo del impacto total, la suma ponderada.

Valor de un impacto simple: $V_i = M \times I$

Valor de un impacto total: $V_t = \sum V_i \times P_i$

donde:

M: Valor estandarizado de la magnitud.

I: Valor estandarizado de la incidencia.

P: Peso o coeficiente de ponderación del factor alterado.

- Lugar.

La identificación geográfica del área de extensión en la que se manifiesta el efecto, resulta obvia para los impactos de ocupación sin más que superponer un plano conteniendo los elementos físicos de la actividad sobre los planos que representen los factores ambientales; se facilita la tarea y se gana en rigor cuando se integra y sintetiza la información sectorial sobre un plano de unidades ambientales y éstas se valoran e interpretan en términos de su comportamiento para la actividad. Los impactos de sobreexplotación se pueden representar a través del área ocupada por el recurso o recursos explotados sometida a la alteración. Los impactos de contaminación, por fin, se localizan representando las cargas de inmisión esperadas por zonas y señalando sobre ellas los puntos donde se alcanzan niveles críticos.

- Tiempo: la evolución temporal.

Toda modificación de los elementos o de los procesos evoluciona hacia un nuevo equilibrio que paulatinamente, si no se ha superado la homeostasia del sistema, se va acercando al equilibrio inicial.

- Los impactos de un proyecto o actividad en marcha deben entenderse como una cadena de relaciones complejas que se van sucediendo en el tiempo.
- Un impacto simple, determinado por una relación simple acción-factor, se manifiesta en, y a partir de, un momento dado, y evoluciona con el tiempo, en sentido positivo o negativo.

- El impacto de una actividad o actuación humana está muy vinculado al ritmo al que se desarrolla. En términos generales un ritmo lento produce menos impactos.

En suma, los conceptos determinantes básicos de un impacto ambiental son la acción que lo causa, el factor alterado, el signo, el valor, el lugar donde se ubica y el momento en que se produce y su evolución. A estos habría que añadir el resto de los elementos que definen el diagnóstico de un impacto y el peso o importancia relativa del factor alterado, es decir, su contribución a la calidad ambiental en el ámbito geográfico de trabajo.

Indicadores de impacto

Desde el punto de vista de la valoración hay dos clases de factores ambientales, una de ellas divisible, a su vez, en otras dos:

- Cuantitativos; son medibles, ya que se dispone de una unidad de medida, de tal manera que las situaciones son cuantificables en una métrica convencional.
- Cualitativos; son aquellos para los que no se dispone de una unidad de medida y hay que recurrir a sistemas nos convencionales de valoración. De éstos podemos distinguir dos tipos:
 - Aquellos para los que se dispone de criterios objetivos de valoración, de tal manera que se puede conseguir una estimación relativamente objetiva aplicando tales criterios.
 - Aquellos de carácter subjetivo, de tal manera que el máximo nivel de cuantificación que se puede conseguir es el denominado 'intersubjetividad', que corresponde a la estimación que de él hacen una serie de jueces o miembros de un panel de expertos en el que están representados los grupos de interés de la población afectada por el impacto.

Para el primer tipo se suelen utilizar escalas de proporcionalidad que arrojan valores proporcionales, mientras para la valoración del resto se suele recurrir a escalas de orden en las que los valores representan jerarquías no proporcionales.

Frecuentemente el valor de un impacto no viene bien representado por la diferencia de valor del factor alterado, sino por otro tipo de índices o expresiones a los que se denomina indicadores; por tal se entiende la expresión a través de la cual se mide; el concepto del indicador admite dos formas genéricas de aproximación:

- Directa, aplicable a los casos en el que el factor alterado es directamente cuantificable y el impacto viene representado por la alteración del propio factor.
- Indirecta, cuando el impacto no viene representado por la variación directa de un factor ambiental, si no, indirectamente, por índices medibles que expresan el efecto y permiten estimarlo de forma cuantificada.

Diagnóstico de impacto ambiental

Diagnosticar un impacto significa conocerlo e interpretarlo en todos sus términos; sólo después de un diagnóstico certero podrá plantearse con solidez la posibilidad, oportunidad y premura de la intervención sobre un impacto, así como los instrumentos -preventivos, correctores, curativos o potenciativos- más adecuados para su tratamiento.

La interpretación de un impacto exige atender a todos los aspectos implicados en el proceso de degradación (o de mejora, en su caso) y expresarlos de tal forma que

sean fácilmente entendidos por las personas implicadas, particularmente aquellos de quienes depende la decisión de intervenir. La mejor forma de representarlos consiste en elaborar diagramas en los que se dispongan los aspectos significativos del diagnóstico, completados con un plano donde se localicen los de carácter espacial y una memoria explicativa.



Figura 7: Elementos del diagnóstico de un impacto ambiental

Los más importantes elementos del diagnóstico se describen a continuación:

- La manifestación o síntoma en que se expresa el efecto sobre el medio.
- Las causas o cadenas de causas que originan el impacto.
- Los efectos o cadenas de efectos, es decir, las repercusiones en las personas, en la biocenosis, en el espacio o en las actividades de los síntomas detectados.
- Los agentes implicados tanto en las causas como en los efectos; por agente se entiende las personas físicas o jurídicas implicadas en el impacto, tanto si es a través de las causas como de los efectos; habrá por tanto agentes causales, por acción u omisión, y agentes receptores.
- La localización, es decir la identificación del espacio donde residen las causas y donde se manifiesta los efectos, incluido el que se adopta como central.
- La gravedad del impacto para los de signo negativo y el grado de bondad para los positivos viene representada por el valor.
- La evolución o tendencia en el tiempo hacia su agravamiento o resolución.
- La sensibilidad de los agentes implicados, de la administración y de la población en general, y la consiguiente disposición a intervenir.
- La percepción del problema por parte de la población de la población afectada, es decir, la sensibilidad ante el impacto, y la disposición a presionar y participar en la solución al problema.

- La relación directa o indirecta con otros impactos, incluyendo los posibles efectos de sinergia.
- Las posibilidades de intervención sobre causas, efectos, manifestación, agentes, población, etc. y de carácter preventivo, curativo o compensatorio.
- La oportunidad de la intervención, en la idea de que en ocasiones la situación podría no estar 'madura', o que la intervención pudiera originar otros problemas peores que el que se desea resolver.
- La urgencia o prioridad con que se debe intervenir.
- El nivel de responsabilidad o administrativo más adecuado para su resolución y control, siempre de acuerdo con el principio de subsidiariedad, que indica cómo los problemas deben tratarse al nivel de responsabilidad más bajo posible, y sólo deben intervenir el nivel superior cuando no lo haga el inferior.
- Los objetivos a cubrir en su tratamiento preventivo o correctivo, dentro del principio de mejora continua y progresiva, es decir según la espiral de mejora que marca uno de los principios básicos de gestión ambiental: la gestión debe plantearse objetivos concretos, limitados y alcanzables y, una vez conseguidos, plantearse otros más ambiciosos, para ir así mejorando poco a poco.

De forma complementaria, y secundaria, la gestión ambiental requiere elaborar también el diagnóstico de las oportunidades que se presentan para la resolución del impacto, particularmente las de carácter tecnológico, pero también las que ofrece el mercado, y cuantas puedan surgir.

Por último indicar que un impacto ambiental, incluso si es positivo, además de los conceptos que definen su diagnóstico, es multidimensional: siempre tiene una dimensión económica, financiera, social, técnica, estética, cultural o de percepción, institucional, etc. Y las medidas que se adopten en relación con él, habrán de tener en cuenta todas sus dimensiones, las cuales pueden ser asumidas, a su vez, como criterios de evaluación de las diferentes opciones que se adopten para resolverlo.

Concepto de Evaluación de Impacto Ambiental.

La Evaluación de Impacto Ambiental es, ante todo y como su propio nombre indica, una valoración de los impactos que se producen sobre el medio ambiente por un determinado proyecto. Ésta nunca puede ser objetiva, ya que tiene siempre connotaciones subjetivas debido a que la referencia es la calidad ambiental, un concepto subjetivo. La Ciencia, o una visión puramente objetiva del ambiente, aunque puede proporcionar las herramientas necesarias para justificar un argumento, no sirve para realizar la valoración en sí, ya que los factores éticos se escapan del ámbito científico y por lo tanto, no pueden considerarse objetivos, aunque no por ello deban de ser arbitrarios.

Una de las primeras evaluaciones que va a tener cualquier proyecto o actividad humana, siempre va a ser una valoración económica: una actividad se considera rentable si los beneficios superan los costes de la misma. El término 'evaluación' tiene un significado economicista que hay que tener en cuenta para conocer la filosofía con la que se diseñó el procedimiento de evaluación de impacto ambiental. Darle un valor a los elementos ambientales, significa incluirlos dentro de los procesos de toma de decisiones, de los que de otra forma se verán excluidos. Este valor puede ser monetario o de otro tipo, pero tiene que ser comparable, al menos con otras alternativas o actuaciones posibles para poder influir en los análisis de costes-beneficios y en definitiva, en la toma de decisiones.

La correcta evaluación de un determinado impacto ambiental pasa necesariamente por una valoración del elemento ambiental afectado, del efecto

producido en dicho elemento ambiental y del efecto que tiene este cambio sobre la calidad ambiental. La valoración, tanto del elemento ambiental como de la calidad ambiental, no puede ser objetiva, mientras que la determinación del efecto ambiental producido es posiblemente el único parámetro puramente objetivo con el que se cuenta para la valoración. De la misma manera que en un trabajo científico, hay que determinar los objetivos que se persiguen al inicio del mismo para diseñarlos correctamente, en una valoración ambiental es necesario fijar los criterios valorativos que se van a utilizar y las razones de esta elección.

La elección de los elementos del ambiente y la escala a la que serán estudiados, tanto espacial como temporal, será uno de los primeros juicios de valor que habrá que realizar y justificar de forma razonada. De la misma manera habrá que definir que se considera un impacto ambiental y en que términos se determina la calidad ambiental de cada elemento y/o del conjunto del ambiente.

En todo el proceso de evaluación de impacto ambiental se persigue un objetivo claro: valorar adecuadamente las acciones sobre el entorno de forma que puedan encuadrarse dentro del proceso de toma de decisiones y poder decidir si la realización de un proyecto determinado es o no aceptable desde un punto de vista ambiental. Para cumplir este objetivo es importante no caer en la arbitrariedad y justificar estas valoraciones a partir de principios éticos generales y con un consenso lo más amplio posible, para lo que son necesarias tanto la participación como la información pública.

Otra cuestión importante a la hora de realizar una valoración ambiental es la forma de tratar la incertidumbre inherente a cualquier proceso ambiental. Ésta no es evitable, por lo que es necesario integrarla de alguna manera dentro del proceso de valoración. Normalmente no es posible esperar a tener toda la información necesaria para realizar una valoración adecuada, ya que esto puede llevar mucho tiempo y se paralizaría la toma de decisiones. Se trata de utilizar la información disponible para obtener las conclusiones posibles, lo que siempre será mejor que no realizar ninguna valoración. La incertidumbre no se debe ocultar, tiene que ser patente hasta qué punto las valoraciones que se hacen están basadas en supuestos o en datos incompletos, de forma que se puedan afrontar los problemas derivados de esta incertidumbre y realizar el seguimiento necesario para evitar sorpresas.

La incertidumbre que afecta a una evaluación de impacto ambiental puede ser:

- Falta de conocimientos científicos sobre la estructura o función de elementos del ecosistema, de los efectos que pueden producir determinadas acciones sobre éstos, y ausencia de modelos predictivos.
- Sobre la importancia de cada uno de los elementos ambientales.
- Sobre los criterios valorativos que se deben utilizar.
- Sobre cuáles son las alternativas técnicamente viables que se deben analizar.

La incertidumbre puede aparecer en muchos momentos a lo largo de la Evaluación de Impacto Ambiental y sobre todo al realizar el estudio el Estudio de impacto ambiental. Para resolverla o al menos para reducirla existen metodologías basadas en la consulta a expertos sobre la materia o en la participación pública.

Criterios de valoración

Uno de los primeros criterios que se utilizan para valorar un proyecto, tal y como se ha comentado, es su viabilidad económica a corto plazo. Dentro de la viabilidad económica de un proyecto hay que tener en cuenta si favorece a todo el mundo por igual o si por el contrario, el proyecto es rentable para un sector de la población,

mientras perjudica a otro sector. Estas valoraciones económicas pueden traducirse muchas veces en valoraciones ambientales, aunque existen valores ambientales que no se pueden traducir en dinero y esto ha llevado en muchos casos a no considerarlos importantes.

En la evaluación de impacto ambiental es necesario resaltar el valor de estos elementos de forma que se tengan en cuenta en la valoración de diferentes alternativas y en la toma de decisiones. Cualquier valoración que se realice, siempre estará basada en unos principios éticos, que se utilizan de referencia y según cuáles sean, los resultados pueden ser muy diferentes. Por lo tanto, siempre será necesario indicar qué principios se están utilizando al hacer una valoración. Estos principios se pueden separar en dos grupos:

- Principios éticos sociales o de dignidad, que son los que deben de regir las relaciones entre los seres humanos de forma que todos puedan vivir dignamente.
- Principios éticos ambientales o de supervivencia de la especie humana, que son los que deben regir las relaciones entre el ser humano y el medio en el que vive.

Principios éticos sociales

- Principio de equidad; se basa en que todos los seres humanos tienen los mismos derechos fundamentales y, por tanto, no es lícito que nadie realice acciones que puedan perjudicar a otro ser humano, o si lo hace, deberá compensarle de alguna forma.
- Principio de responsabilidad; aquel que produce un daño a otra persona o a la sociedad en su conjunto, deberá compensar los daños que produce.
- Principio de prevención; la mejor forma de prevenir los problemas ambientales es abordarlos, poniendo los medios para evitar que lleguen a ocurrir.
- Principio de cautela; aparece para poder hacer operativo el principio de responsabilidad y aplicando el principio de equidad, estableciendo que debe ser el promotor de la actividad el que demuestre que ésta no va a producir daños al ambiente y se compromete a poner los medios necesarios para no producirlos.
- Principios de información y participación públicas; benefician al proceso de evaluación porque permite que cualquier persona o entidad afectada por el proyecto, pueda expresar su opiniones de forma que éstas sean tenidas en cuenta.

Principios éticos ambientales

- Conservación de la diversidad; la extinción de una especie, incluso a escala local, se considera como algo indeseable, debido a que se pierde una de las posibles vías de flujo de materia, energía e información en el ecosistema.
- Sostenibilidad y desarrollo sostenible; se basa en la aplicación del criterio de equidad entre las generaciones actuales y las futuras de forma que el desarrollo actual no comprometa el desarrollo y la calidad de vida de las generaciones futuras.

Marco legal.

La evaluación de impacto ambiental está regulada por una legislación específica que indica los tipos de proyectos que deben someterse a ella, el contenido de los estudios de impacto ambiental y el procedimiento administrativo a través del que se aplica. Esta legislación es completada por otra de carácter sectorial para controlar las actividades que regula.

Legislación específica

Existen dos importantes directivas de la Unión Europea (85/337/CEE y 97/11/CEE) para los Estados miembros que establecen que antes de autorizar la realización de un proyecto que pueda tener un importante efecto en el medio ambiente, tiene que ser sometido a un proceso de autorización de su desarrollo y a una evaluación de los efectos que pudiera tener el mismo.

Así mismo, cada Estado miembro puede establecer su procedimiento para hacer cumplir los requisitos de todas las directivas, incluida la que se refiere a la prevención y el control integrado de la contaminación.

Existe también una relación de proyectos que están contenidos en el Anexo I que siempre tienen que ser sometidos al proceso de evaluación. También hay otra relación de proyectos en el Anexo II para los cuales cada Estado debe decidir si deben ser evaluados, bien caso por caso o estableciendo unos umbrales, siempre aplicando los criterios que se enumeran en el Anexo III.

En el Real Decreto Legislativo 1302/1996 se constituye la transposición al Derecho español de la directiva 85/337. En su anexo, añade más proyectos al Anexo I de la directiva comunitaria como son puertos deportivos, grandes presas, primeras repoblaciones que llevan riesgos de grandes transformaciones ecológicas negativas, extracción a cielo abierto de varios minerales y aeropuertos de uso particular. Sin embargo, no añade nada nuevo al Anexo II, aspecto criticado en varios círculos técnicos y jurídicos nacionales y comunitarios.

En el Real Decreto Legislativo 1131/1988 se aprueba el Reglamento para la ejecución de la EIA y desarrolla varios aspectos como la definición de las actividades sometidas a EIA, introduce una fase previa destinada a definir el contenido y alcance de la EIA incorporando opiniones de personas y entes interesados, establece el procedimiento administrativo y en su anexo, concreta el significado de los conceptos técnicos de la EIA.

Legislación sectorial nacional

Hay una serie de Reales Decretos, Leyes y Órdenes Ministeriales que establecen distintas normas a seguir en la realización de un proyecto. De ellos destacan los siguientes:

El decreto 2414/1961 establece la concesión de la licencia a una evaluación de las repercusiones sobre el medio ambiente y a la especificación de medidas correctoras que se utilizarán.

El decreto 833/1975 limita las emisiones contaminantes, proporcionando criterios de calidad del aire e introduce la declaración de zonas de atmósfera contaminada y situaciones de emergencia.

La Ley 15/1980 regula el estudio, evaluación, seguimiento y control del impacto ecológico de las actividades que tienen que ver con la energía nuclear.

La ley de Costas 22/1988 establece en su artículo 42.2 que cuando las actividades de un proyecto pudieran conllevar una alteración grave del dominio público marítimo-terrestre, se requerirá una previa evaluación de sus efectos sobre el mismo. La evaluación comprenderá el estudio de la incidencia de las actividades proyectadas sobre tal dominio, tanto durante su ejecución como durante su explotación debiendo incluir las medidas correctoras necesarias si fuera el caso.

La Ley de Carreteras 20/1988 establece que los proyectos de autopistas y autovías que supongan un nuevo trazado y las nuevas carreteras deberán incluir la correspondiente EIA.

La Ley 4/1989 de Conservación de Espacios Naturales amplía la lista de actividades sometidas a EIA contenidas en el Anexo I del decreto 1302/86 incluyendo transformaciones de uso del suelo que impliquen transformación de la cubierta vegetal arbustiva y supongan riesgo potencial para infraestructuras de interés general de la nación.

Legislación específica de las comunidades autónomas

Cada comunidad autónoma ha promulgado su propia normativa en materia de EIA, pero suelen coincidir en dos aspectos: incrementan de manera notable la lista de actividades que se someten a EIA y diferencian niveles de exigencia en el estudio del impacto ambiental y en el procedimiento administrativo, en función de la conflictividad de dichas actividades.

Esta normativa nunca podrá ser menos restrictiva que la normativa estatal.

Metodología del proceso EIA.

Para realizar una evaluación de impacto ambiental se pueden utilizar diferentes metodologías. Algunos métodos son generales, otros muy específicos, pero de todos ellos pueden traerse técnicas, que con variaciones, pueden ser útiles para la evaluación. La mayor parte de estos métodos se elaboran para trabajos concretos, por lo que, en ocasiones, no es sencillo su uso tal y como fueron creados, pero adaptándolos a cada caso concreto, pueden llegar a ser muy útiles.

Desde su inicio, todo proyecto pasa por una serie de fases: generación de la idea, estudios de viabilidad (técnica, económica, social), anteproyecto, proyecto de ingeniería, construcción explotación y desmantelamiento (abandono), más o menos explícitas pero siempre presentes, a lo largo de las cuales se va profundizando en la idea hasta su total concreción en el proyecto de ingeniería; la integración ambiental del proyecto exige ir incorporando sensibilidad y criterios ambientales desde el comienzo del proceso.

La secuencia de fases expuesta configura lo que se puede denominar estructura vertical del proyecto, a ella se añade otra: la estructura horizontal, aplicable a cada fase, que viene definida por la secuencia cíclica: diagnóstico, objetivos, generación de alternativas, evaluación de alternativas y selección de una de ellas para pasar a la fase siguiente.

El profesional que realiza el estudio de impacto ambiental, puede formar parte, desde el principio, del equipo de proyectistas que va a desarrollar el proyecto, o bien ser requerido para que aporte sus conocimientos y criterios en fases determinadas del proceso. En todo caso, debe contar con metodologías y técnicas, además de

conocimientos, para ayudar a la generación de alternativas, para evaluar las que se le presenten y para realizar el estudio de impacto ambiental cuando se sitúe ante un proyecto más o menos elaborado.

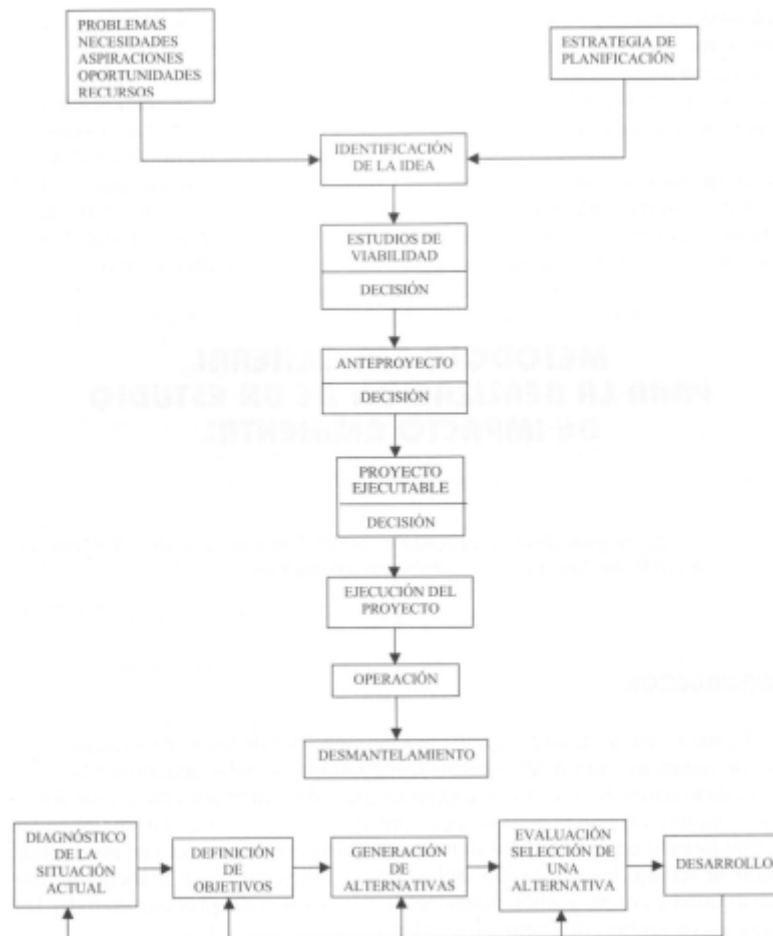


Figura 8: Estructura vertical y horizontal del proyecto

Estructura, contenido y alcance de un estudio de impacto ambiental

El Reglamento de EIA señala un contenido para los estudios de impacto ambiental que define la estructura del estudio y señala las pautas para la elaboración de la metodología; es el siguiente:

- Descripción del proyecto y sus acciones.
- Examen de alternativas técnicamente viables y justificación de la solución adoptada.
- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves.
- Identificación y valoración de impactos, tanto en la solución propuesta como en sus alternativas.
- Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental.
- Documento de síntesis.

En cuanto a los factores ambientales a considerar, al espacio geográfico en el que se deben analizar, al grado de profundidad con que dichos factores deben ser

tratados y a la secuencia temporal en que se van a desarrollar las distintas fases del trabajo en relación con el proceso sustantivo y con el procedimiento de EIA.

Como marco de referencia, el estudio adoptará las exigencias del Reglamento, el cual señala que debe comprender, al menos, la estimación de los efectos sobre la población humana, la fauna, la flora, la vegetación, la gea, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada. Asimismo, debe comprender la estimación de la incidencia que el proyecto, obra o actividad tiene sobre los elementos que componen el Patrimonio Histórico español, sobre las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y la de cualquiera otra incidencia ambiental derivada de su ejecución.

Es importante orientar el contenido concreto hacia los aspectos realmente importantes, como consecuencia de las consultas a los entes y personas interesados, en los planes previos, y lo que genere o pueda generar conflictividad social.

Identificación de impactos

Este es el punto de partida del redactor del estudio de impacto ambiental, cuya primera fase es la identificación de impactos; su desarrollo pasa por una serie de tareas cuya realización implica:

- Conocer el proyecto y sus alternativas.
- Conocer el medio en el que va a desarrollarse; su entorno.
- Determinar las interacciones (relaciones recíprocas) entre ambos.

De acuerdo con esto, la identificación de impactos se desarrolla en la metodología según dos líneas paralelas, una que analiza el proyecto y que desemboca en la identificación de las acciones de éste susceptibles de producir impactos significativos y otra que analiza el entorno afectado para identificar los factores del medio que presumiblemente serán alterados por aquellas acciones; ambas líneas confluyen en una tarea destinada específicamente a la identificación de efectos potenciales mediante la búsqueda de relaciones causa-efecto entre las acciones y los factores, utilizando para ello técnicas adecuadas.

- Análisis del proyecto y sus acciones.

Esta tarea consiste en estudiar los elementos y procesos del proyecto objeto de evaluación que pueden desencadenar impactos, contando para ello con la información señalada y teniendo en cuenta los elementos de reflexión sobre integración ambiental. Debe atender al contexto en el que se inscribe en términos de:

- La legislación ambiental que le afecta (limitan las alternativas del proyecto).
- La relación con los planes existentes, directrices y políticas.
- La localización geográfica del proyecto en relación con su entorno territorial.
- La coherencia, en tipo, escala, diseño y materiales, de los elementos físicos que lo forman.
- La relación del proyecto, en términos de oportunidades y efectos, con las infraestructuras.

- Estimación de las actividades inducidas que, a su vez, desencadenarán nuevos impactos.

- Análisis de las alternativas.

El examen de las alternativas consideradas por el profesional adquiere su mejor argumento en la idea de integración. Puede ser más o menos informal, intuitivo o empírico, o bien adoptar un modelo de evaluación formal, que es lo más común. En este último caso, los datos con los que opera la evolución pueden ser los de tipo cualitativo de que se dispone en las primeras fases del estudio o bien los cuantificados que resultan de la realización de un estudio de impacto ambiental completo a cada una de las alternativas. Las conclusiones que se extraigan de esta evaluación informarán directamente la declaración de impacto ambiental.

Lo más común es que el examen se haga al principio del proceso, considerando:

- Los objetivos del proyecto, para enjuiciar si pueden conseguirse con otros planteamientos distintos más adaptados al medio.
- Las alternativas tácticas del proyecto, para ver en qué medida se han considerado las más adaptadas al medio.
- Los efectos del proyecto sobre su entorno se enjuician para detectar la posible existencia de enfoques y alternativas menos agresivas.

- Identificación de acciones del proyecto susceptibles de producir impactos.

Se entiende por acción a la parte activa que interviene en la relación causa-efecto que define un impacto ambiental. Tales causas pueden residir en todas las fases del desarrollo del proyecto y en todas las partes y elementos que lo forman; a todos ellos debe atender esta tarea. Para formalizarla se suele desagregar el proyecto en forma de árbol con varios niveles, el último de los cuales (las hojas) representará acciones simples causa directa de impacto. Se suele utilizar tres niveles:

- Primer nivel: fases. Se refiere a las que forman la estructura vertical del proyecto: estudios previos, construcción, explotación/funcionamiento y desmantelamiento.
- Segundo nivel: elementos. Identifican partes homogéneas del proyecto o procesos de distinto carácter.
- Tercer nivel: acciones concretas. Una acción se refiere a una causa simple, concreta, directa, bien definida y localizada de impacto.

Las acciones que se identifiquen deben ser concretas y:

- Relevantes: han de ajustarse a la realidad del proyecto y ser capaces de desencadenar efectos notables.
- Excluyentes/independientes: para evitar solapamientos que puedan dar lugar a duplicaciones en la contabilidad de los impactos.
- Fácilmente identificables: susceptibles de una definición nítida y de una identificación fácil sobre planos o diagramas de proceso.
- Localizables: atribuibles a una zona o punto concreto del espacio en que se ubica el proyecto.

- Cuantificables: en la medida de lo posible, deben ser medibles en magnitudes físicas.

Además las acciones deben quedar descritas en términos de:

- Magnitud: superficie y volumen ocupados.
- Localización espacial.
- Flujo: caudal de vertidos, emisiones de vehículos, etc.
- Momento en que se produce la acción y plazo temporal en que opera.

Para la confección del árbol de acciones conviene ayudarse por diversos medios:

- Cuestionarios generales o específicos para diversos tipos de proyectos.
- Consulta a paneles de expertos.
- Entrevistas en profundidad con personas y agentes de distintos intereses y sensibilidad ante el proyecto.
- Escenarios comparados.
- Matrices genéricas preexistentes de relación causa-efecto (matriz de Leopold).
- Grafos genéricos de relación causa-efecto.
- Modelos de flujo genéricos.

- Identificación de los factores del medio susceptibles de recibir impactos.

Por factores del medio susceptibles de recibir impactos se entienden los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por el proyecto de forma significativa. Nos referiremos a ellos con la calificación de relevantes.

La complejidad del entorno y su carácter de sistema, aconseja disponer los factores relevantes en forma de árbol con varios niveles, el último de los cuales (hojas) representará subfactores muy simples y concretos. Se recomienda disponer de cuatro niveles:

- Primer nivel: subsistemas.
- Segundo nivel: medios, que es la división subsecuente a los subsistemas.
- Tercer nivel: factores, que corresponden a los conceptos más importantes y básicos en la evaluación.
- Cuarto nivel: subfactores o división de los factores en conceptos de muy nítida definición y muy concretos.

Como en el caso de las acciones, los factores que se identifiquen como relevantes deben resumir condiciones de:

- Relevancia: ser portadores de información importante sobre estado y funcionamiento del medio.
- Exclusión, tal que no existan solapamientos ni redundancias entre ellos que puedan dar lugar a repeticiones en la identificación de los impactos.
- Fácil identificación.

- Localización: atribuibles a puntos o zonas concretas del entorno.
- Medibles: cuantificables en la medida de lo posible.

Conviene aportar, si es posible, información sobre los conceptos que determinan directamente la significación del impacto que reciben y su aceptabilidad:

- Tasas de renovación para los recursos naturales renovables que va a utilizar la actividad proyectada.
- Ritmos de consumo que pudieran permitir una gestión correcta y una adaptación de medio a los cambios que introduce el proyecto.
- Intensidad de uso a la que podría ser utilizado un recurso sin que provocase degradaciones permanente teniendo en cuenta las limitaciones previsibles para la gestión del recurso y el control de su aprovechamiento.
- Vocación natural de uso y aprovechamiento del recurso.
- Limitaciones al uso que imponen los procesos y riesgos activos existentes en el territorio.
- Capacidad de dispersión de la atmósfera para los contaminantes potenciales.
- Capacidad de autodepuración de los cursos y masas de agua para los vertidos previsibles de la actividad proyectada.
- Protección natural de los acuíferos subterráneos a la contaminación frente a los vertidos previsibles.
- Capacidad del suelo para procesar los residuos previsibles.

La identificación de factores relevantes y su organización en forma de árbol se facilita progresando por aproximaciones sucesivas, y haciendo uso de los mismos instrumentos que se citaban para detectar las acciones del proyecto causa de impacto.

Es necesaria la estimación de la importancia relativa de cada uno de estos factores, expresada en términos de pesos o coeficientes de ponderación, que representan la contribución relativa de cada factor a la calidad ambiental del ámbito de referencia considerado, y son independientes del proyecto sometido a evaluación.

Comúnmente se suele dar una relación genérica de los factores ambientales para utilizar como lista de referencia a partir de la cual se confeccionará el árbol adecuado para el caso. Dicha idea es la empleada por el software desarrollado, con especial apoyo en el método Delphi: con el fin de acotar los resultados y dar el mayor sentido posible a los valores dados, los pesos se atribuyen repartiendo 1000 puntos entre los factores de cada nivel o asignando otras puntuaciones las cuales se ajustan a suma 1000.

- Inciso: Método Delphi.

El método Delphi es una técnica de consulta de expertos. Es un método general que es conveniente utilizar cuando la información científica de la que se dispone no es suficiente, bien porque se pretenda implantar una nueva tecnología para la que no se existan datos históricos, bien porque con los datos objetivos con los que se cuenta no se tenga un conocimiento suficiente.

La consulta a expertos tiene la ventaja de la tranquilidad que produce tener una información más contrastada que si únicamente se consultara a una persona, y siempre es más difícil que un grupo pueda olvidar algo que pudiera ser importante. Los inconvenientes que tiene pueden ser disminuidos aplicando el método convenientemente.

La filosofía del método Delphi es lograr las mayores ventajas de usar un método basado en la consulta a expertos y minimizar sus inconvenientes. Por ello, se proponen unas pautas para conseguir evitar que el grupo sea vulnerable a alguno de sus individuos o para que se alcance una buena previsión.

Partiremos de la siguiente terminología:

- Panel de expertos: conjunto de expertos que forman el grupo.
- Moderador: persona responsable del equipo técnico que recoge las repuestas y prepara los cuestionarios.
- Cuestionario: documento que se envía a los expertos. Está formado por las cuestiones y los resultados de las anteriores circulaciones.
- Circulación: es la forma en que se van presentando los sucesivos cuestionarios.

Se considera en primer lugar al equipo técnico. Éste elige al grupo de expertos de forma que haya participantes de distintas procedencias y con diferentes intereses. Confecciona un primer cuestionario que es sometido a los expertos para que respondan. El equipo técnico analiza las respuestas, las valora y confecciona un segundo cuestionario. La valoración de las respuestas y el segundo cuestionario son enviados de nuevo al grupo de expertos para que emita una nueva opinión. En esta segunda ronda se permite variar de opinión. El proceso se repite hasta alcanzar el consenso deseado.

Una característica fundamental del método es el anonimato, ya que ningún experto conoce la identidad del resto con lo que se evita la confrontación directa. La información que se presenta a los expertos debe ser lo más completa posible, pues no sólo se realiza un estudio estadístico sino que se completa con todos los argumentos y opiniones.

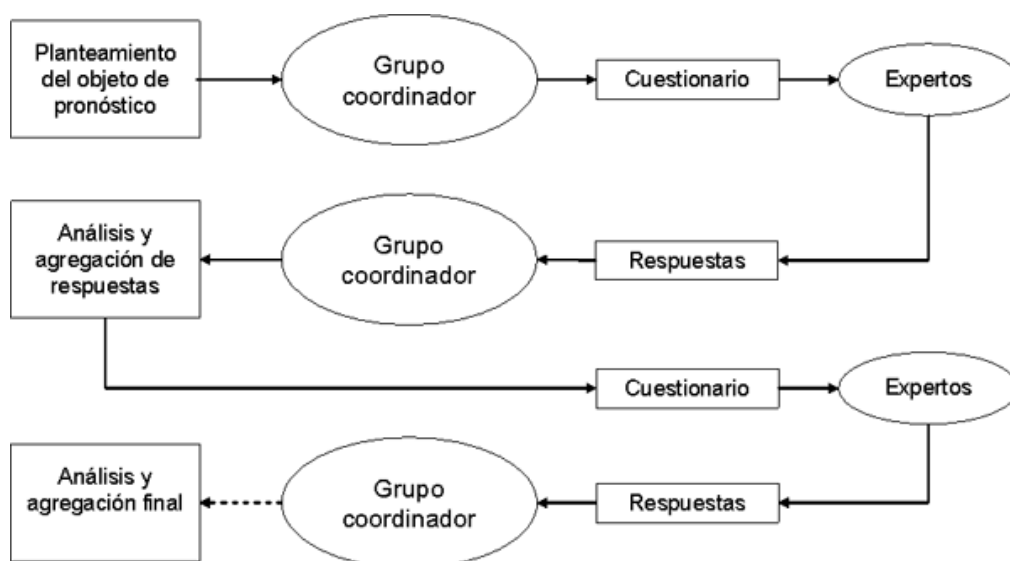


Figura 9: Diagrama de fases del método Delphi

- Relaciones proyecto-entorno: identificación de impactos.

Esta fase consiste en identificar las relaciones causa-efecto entre las acciones y los factores señalados como relevantes en tareas anteriores. Cada relación causa-efecto identifica un impacto potencial cuya significación habrá que estimar después. Estas relaciones no son simples sino que frecuentemente hay una cadena de efectos primarios, secundarios, inducidos, etc. que arrancan en la acción y terminan en los seres vivos, en los bienes naturales y, en suma, en el hombre; de ahí el interés de los modelos basados en redes para identificar e interpretar los impactos.

Existen numerosas técnicas para descubrir relaciones causa-efecto; tal es el caso de los cuestionarios generales o específicos, los escenarios comparados, es decir, observación de las situaciones donde se ha realizado una experiencia similar a la que se evalúa, las entrevistas en profundidad con expertos en el proyecto/actividad y en el entorno, la consulta a paneles de expertos, representativos del conjunto de los grupos de interés social afectados por el proyecto.

En nuestro caso, nos ceñiremos a la utilización de matrices de relación causa-efecto, técnica de referencia empleada por el software desarrollado, para la identificación de impactos.

Podemos considerar las matrices de relación causa-efecto como cuadros de doble entrada en una de las cuales se disponen las acciones del proyecto causa de impacto y en la otra los elementos o factores ambientales relevantes receptores de los efectos, ambas entradas identificadas en tareas anteriores. En la matriz se señalan las casillas donde se puede producir una interacción, las cuales identifican impactos potenciales, cuya significación habrá que averiguar después. La primera y más conocida de estas matrices es la de Leopold.

Otros mecanismos empleados en la identificación de impactos son los siguientes:

- Matrices sucesivas o escalonadas.
 - Matrices cruzadas o de acción recíproca.
 - Grafos o redes de relación causa-efecto.
 - Técnicas de superposición.
 - Simulación cualitativa de interacciones.
- Inciso: Matriz de Leopold.

La primera y más conocida de las matrices de causa-efecto es la Matriz de Leopold que fue desarrollada en 1971. Se compone de un listado de acciones de proyecto y de otro listado de elementos ambientales (factores). Cada elemento ambiental corresponde a una fila y cada acción a una columna que se relacionan mediante una matriz, que corresponden a las posibles interacciones. Es una matriz causa-efecto donde cada causa o acción del proyecto se relaciona con el elemento o factor ambiental sobre el que actúa, produciendo un efecto o impacto ambiental.

Si se supone que hay interacción, se señala con una línea diagonal, indicando en la parte superior la magnitud (M) de la alteración del factor ambiental con un signo más (+) o menos (-) según sea el impacto beneficioso o

adverso, y en la parte inferior la importancia (I) de la alteración, ambas expresadas numéricamente y valoradas entre 1 y 10, calificando de 10 la máxima interacción posible y con 1 la mínima.

Esta matriz puede contraerse o extenderse, pueden añadirse más acciones y más elementos ambientales, o puede hacerse el estudio eliminando previamente aquellas acciones que no produzcan impactos o aquellos elementos no afectados. Los impactos pueden agruparse por aquellas acciones que más afecten o bien por aquellas que afecten menos que la media, y lo mismo con los elementos ambientales. También puede usarse para identificar los impactos según se produzcan en la fase de construcción, de explotación o de abandono.

La matriz es un buen modelo para identificar los impactos porque proporciona más información que las listas de revisión o los diagramas de redes y es una forma clara y resumida de identificar los impactos y presentar los resultados, pero resulta difícil sólo con ella seleccionar la mejor alternativa. Otro inconveniente es que todos los factores ambientales se están ponderando con igual peso al ser calificados con un máximo de 10 porque lo que tampoco es útil para obtener el impacto global.

Factor	Fase de construcción					Fase de funcionamiento				Fase de construcción	Impacto final	
	Acciones				Total	Acciones			Total	Total efectos permanentes	I	M
	A ₁	A ₂	A ₃	A _n		A ₁	A ₃	A _n				
F ₁												
F ₂												
F _i												
F _n												
Total												

Figura 10: Modelo de matriz de Leopold

- Cribado de impactos.

Las técnicas descritas representan relaciones que potencialmente pueden construir un impacto, pero la estimación de éstos como significativos o despreciables, o como beneficiosos o perjudiciales, debe ser objeto de reflexión sobre la realidad del proyecto que se evalúa y sobre la forma en que será gestionado en la fase de explotación.

Este razonamiento indica que no todos los impactos deben estudiarse con la misma intensidad, sino que conviene centrarse sobre los impactos clave; por ello, antes de pasar a la fase de valoración, se hace un cribado de ellos

para seleccionar los que, en principio y con la información de que se dispone en este momento de desarrollo del estudio, se estima significativos y para diferenciarlos según el tratamiento que se les dará en el resto del estudio. La siguiente clasificación permite una buena economía de los medios y clarifica la evaluación:

- Significativos: impactos clave que deber ser objeto de una atención especial.
- Despreciables: impactos que no se van a considerar en la valoración.

Esta tarea de cribado y clasificación supone un primer nivel de valoración de los impactos.

Valoración de impactos

Valorar implica medir primero aquello que se desea valorar y traducir luego esa medida a un valor; para medir hay que contar con una unidad de medida y con un método que permita hacer comparables las medidas obtenidas por diferentes personas y en diferentes momentos; la valoración requiere disponer de unos baremos o niveles de referencia contrastados.

De acuerdo con todo lo anterior, la valoración de impactos implica:

- Concretar el concepto de valor de un impacto ambiental.
- Utilizar expertos y técnicas para identificar indicadores de impacto primero y medirlos después.
- Establecer un procedimiento para interpretar los efectos y traducirlos a unas mismas unidades de medida que permitan jerarquizarlos de forma consistente.
- Establecer un sistema de agregación de los impactos para totalizar el impacto.

El valor de un impacto dependerá de la cantidad y calidad del factor afectado, de la importancia o contribución de éste a la calidad de vida en el ámbito de referencia, del grado de incidencia o severidad de la afección y características del efecto expresadas por una serie de atributos que lo describen.

Dependiendo del contenido y alcance del estudio de impacto ambiental a realizar, puede decirse, en términos esquemáticos, que la valoración admite, tres niveles de aproximación, los cuales corresponden a otros tantos caminos alternativos en la metodología que se describe.

- Simple enjuiciamiento.

Interpretación de cada impacto identificado en los términos que señala una terminología concreta, siempre que sea significativa y de fácil comprensión por personas no iniciadas en la evaluación de impactos ambientales. Este enjuiciamiento ha de ser fruto de un atento proceso de reflexión a partir del conocimiento acumulado que comporta el trabajo realizado hasta esta fase.

- Valoración cualitativa.

Consiste en situar cada impacto identificado en un rango de alguna escala de puntuación cuyo tamaño depende del grado de confianza de que se

disponga; así valorar en una escala de tres rangos, es más fácil que hacerlo en una de cinco, que permiten matizar un poco más. La valoración puede ser:

- Simple, cuando cada impacto viene representado por un único valor.
- Compuesta por dos valores correspondientes a los dos conceptos que, de acuerdo con lo expresado más arriba, sintetizan el valor del impacto: la magnitud o calidad y cantidad del factor alterado y la incidencia o severidad o forma de la alteración.

En ambos casos la agregación de los impactos sobre los distintos factores para obtener el valor del impacto total, requiere ponderar los factores y hacer luego la suma ponderada.

▪ **Valoración cuantitativa.**

Es la que requiere más información, conocimiento y criterio del equipo evaluador. El método que aquí se expone se formaliza a través de varias tareas bien marcadas:

- Determinar un índice de incidencia para cada impacto estandarizado entre 0 y 1.
- Determinar la magnitud, lo que implica:
 - Determinar la magnitud en unidades distintas, heterogéneas, inconmensurables, para cada impacto.
 - Estandarizar el valor de la magnitud entre 0 y 1, o lo que es lo mismo, transposición de esos valores a unidades homogéneas, comparables, adimensionales, de impacto ambiental. Esta operación requiere incorporar la percepción social para valorar el impacto.
- Calcular el valor de cada impacto a partir de la magnitud y la incidencia antes determinadas.
- Agregar los impactos parciales para totalizar valores correspondientes a niveles intermedios y general de los árboles de acciones o de factores.

▪ **Caracterización de los impactos: índice de incidencia.**

Consiste en describir los impactos identificados y considerados significativos o notables, según una serie de atributos:

- **Signo:** positivo o negativo, se refiere a la consideración de benéfico o perjudicial que merece el efecto a la comunidad técnico-científica y a la población en general.
- **Inmediatez:** directo o indirecto. Efecto directo o primario es el que tiene repercusión inmediata en algún factor ambiental, mientras el indirecto o secundario es el que deriva de un efecto primario.
- **Acumulación:** simple o acumulativo. Efecto simple es el que se manifiesta en un solo componente ambiental y no induce efectos secundarios, ni acumulativos, ni sinérgicos. Efecto acumulativo es el que incrementa progresivamente su gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera.
- **Sinergia:** sinérgico o no sinérgico. Efecto sinérgico significa reforzamiento de efectos simples, se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples supone un efecto mayor que su suma simple.

- Momento en que se produce: corto, medio o largo plazo. Efecto a corto, medio o largo plazo es el que se manifiesta en un ciclo anual, antes de cinco años o en un período mayor respectivamente.
- Persistencia: temporal o permanente. Efecto permanente, supone una alteración de duración indefinida, mientras el temporal permanece un tiempo determinado.
- Reversibilidad: reversible o irreversible. Efecto reversible es el que puede ser asimilado por los procesos naturales, mientras el irreversible no puede serlo o sólo después de muy largo tiempo.
- Recuperabilidad: recuperable o irrecuperable. Efecto recuperable es el que puede eliminarse o reemplazarse por la acción natural o humana, mientras no lo es el irrecuperable.
- Periodicidad: periódico o de aparición irregular. Efecto periódico es el que se manifiesta de forma cíclica o recurrente; efecto de aparición irregular es el que se manifiesta de forma impredecible en el tiempo, debiendo evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia.
- Continuidad: continuo o discontinuo. Efecto continuo es el que produce una alteración constante en el tiempo, mientras el discontinuo se manifiesta de forma intermitente o irregular.

La incidencia se refiere a la severidad y forma de la alteración, la cual viene definida por una serie de atributos de tipo cualitativo que caracterizan dicha alteración.

Una vez caracterizado el impacto, el índice de incidencia, que variará ente 0 y 1, puede atribuirse de dos formas:

- De carácter informal, a partir de los atributos que lo describen: a un impacto cuyos atributos se manifiesten en la forma más favorable, se le atribuirá un índice de incidencia próximo a 0. Por el contrario a un impacto intenso, permanente, irreversible, irrecuperable, acumulativo, sinérgico, extenso y que produce sus efectos de forma inmediata, tendrá un índice de incidencia próximo a 1. Atributos de carácter intermedio determinarán valoraciones intermedias.
- De carácter formal, que se desarrolla en cuatro pasos:
 - Primero se tipifican las formas en que se puede describir cada atributo.
 - Segundo, atribuimos un código numérico a cada forma, acotado entre un valor máximo para la más desfavorable, y uno mínimo para la más favorable.
 - Tercero: aplicar una función, suma ponderada (u otra), para obtener un valor.
 - Cuarto: estandarizar entre 0 y 1 los valores obtenidos, mediante la expresión:

$$\text{Incidencia} = I - I_{\min} / I_{\max} - I_{\min}$$

Siendo:

I: el valor de incidencia obtenido por un impacto.

I_{\min} : el valor de la expresión en el caso en que los atributos se manifiesten con el menor valor.

I_{\max} : el valor de la expresión en el caso en que los atributos se manifiesten con el mayor valor.

En el software desarrollado se ha considerado la atribución formal, basada en la suma simple, sobre un modelo de atributos completo, que se detallará más adelante.

- Determinación de la magnitud.
 - Unidades heterogéneas.

Esta tarea es la que muestra de formas más convincente el carácter multidisciplinar de los estudios de impacto ambiental: la predicción de los cambios desencadenados por una acción sobre el clima, aire, agua, suelo, biocenosis, ecosistemas, procesos, patrimonio construido, confort sonoro, paisaje, población, etc. y su medición, requieren un conocimiento profundo y especializado de los mismos, así como de la legislación que les afecta y de los criterios utilizados por la comunidad científica; por tanto, esta tarea debe confiarse a expertos en cada factor, los cuales disponen para realizarla de conocimientos especializados y de herramientas, experimentales y de simulación, sofisticadas así como la capacidad para utilizarlas y desarrollarlas.

La magnitud de las alteraciones sobre cada factor puede venir expresada de diferentes maneras según la naturaleza de cada uno de ellos y la unidad de medida que se pretende utilizar: se denomina indicador a la expresión a través de la cual se mide de forma cuantificada el impacto; el indicador es pues un mecanismo que se adopta para cuantificar un impacto. Unas veces el indicador coincide con el propio factor alterado, en otras ocasiones el indicador no es tan directo, y hay que recurrir a índices algo más complejos.

La primera tarea, por tanto, para predecir la magnitud de los impactos es asignar un indicador cuantificable a cada uno de los identificados que lo representen lo mejor posible, tarea a la que conviene dedicar la mayor atención por su papel en el estudio, y porque ayuda a entender más profundamente la naturaleza del impacto y su significado ambiental.

Conviene advertir que habrá impactos cuya naturaleza haga difícil la búsqueda de un indicador representativo, para ellos será preferible valorarlo cualitativamente o expresarlos en forma semántico, que adoptar indicadores cuantificables poco representativos. Normalmente quedarán algunos factores de naturaleza estrictamente cualitativa; para éstos no hay valoración cuantitativa posible.

Con esta fase termina lo que propiamente constituye la parte en principio objetiva del estudio de impacto ambiental: identificación y cuantificación de los efectos; a partir de ahora hay que dar entrada a elementos de juicio más o menos objetivos e incluso subjetivos, muchos de los cuales exigen un refrendo con la escala de valores y presencias sociales.

- Unidades conmensurables estandarizadas ente 0 y 1.

Esta tarea consiste en transformar la magnitud del impacto medido en unidades heterogéneas, a unidades homogéneas, adimensionales de valor ambiental, operación que se hace traduciéndolas a un intervalo que varía entre 0 y 1. Para ello se utiliza la metodología de las funciones de transformación.

Se trata de relaciones entre la magnitud de cada indicador, medida en las unidades propias de cada uno de ellos, y su calidad ambiental expresada ya en unidades comparables. Dicha relación se puede representar sobre un sistema de coordenadas cuyo eje de abscisas se dispone la magnitud del indicador ambiental y en el de ordenadas el valor ambiental estandarizado ente 0 y 1. La

relación puede venir expresada por una línea quebrada de tramos rectos que unen los puntos de valor conocido o ajustarse a una curva.

La elaboración de las relaciones de transformación es uno de los más difíciles e interesantes desafíos de la mitología; han de ser fruto del rigor científico pero deben reflejar también el sentir de la población, la escala de valores sociales. Lo importante de las funciones de transformación es el concepto, la claridad con que expresan, gráficamente, la diferencia entre la modificación de un elemento o proceso del medio y el significado ambiental de tal modificación. El mecanismo de la función de transformación exige reflexionar explícitamente sobre el significado de las modificaciones, de tal manera que el esfuerzo de construir una función ayuda y obliga al evaluador a formar criterio y a hacerlo explícito.

Aplicando, por fin, las funciones de transformación a cada uno de los factores ambientales alterados se obtiene el valor del impacto ambiental sobre cada uno de ellos, pero ahora expresados en unidades homogéneas, por tanto comparables. Teniendo en cuenta los parámetros de las funciones de transformación dicho valor queda limitado entre 0 y 1.

- Valor de los impactos.

Es necesario realizar una jerarquización de los impactos, así como una valoración global que permite adquirir una visión integrada y completa de la incidencia ambiental del proyecto. La primera exigencia requiere determinar el valor de cada impacto en unidades conmensurables; en esta metodología el valor se atribuye a partir de los valores de incidencia y magnitud; como ambos oscilan entre 0 y 1, el valor de cada impacto también se hace variar entre 0 y 1, ese valor es quien marca la jerarquía exigida.

La segunda exigencia, valoración global del impacto, requiere la ponderación de los factores ambientales, es decir, la atribución de pesos que representen la contribución relativa de cada uno de ellos a la calidad ambiental del entorno del proyecto, para totalizar después mediante suma ponderada.

La forma más directa de obtener el valor del impacto consiste en la simple multiplicación de los índices de incidencia y magnitud. Es la metodología empleada por el software desarrollado.

El impacto total sobre el medio se calcula por suma ponderada de los impactos sobre cada factor; paso previo a ello se realizó la estimación de la importancia relativa de cada uno de éstos expresada en términos de pesos o coeficientes de ponderación. Tal y como se comentó anteriormente, se emplean para tal hecho técnicas de investigación social, aplicadas directamente o mediante encuestas tipo Delphi, como en la que se apoya el software desarrollado.

Medidas protectoras, correctoras y compensatorias.

El reglamento de EIA dice que cuando el impacto ambiental rebase el límite admisible, se deberían preverse las medidas protectoras o correctoras que conduzcan a un nivel inferior a ese umbral. En el caso de no ser posible esa corrección y resultar afectados elementos ambientales valiosos, se procederá la recomendación de la anulación o sustitución de la acción que causa esos efectos.

Para prevenir el impacto ambiental se introducen medidas protectoras, correctoras o compensatorias que consisten en modificaciones de localización,

tecnología, tamaño, diseño, materiales que se hacen a las previsiones del proyecto o cuando se incorporan elementos nuevos. El objetivo de estas medidas consiste en:

- Hacer más leve o evitar el efecto de un proyecto en el medio ambiente.
- Aprovechar las oportunidades que da el medio para mejor éxito del proyecto.

Conviene que las medidas correctoras sean incluidas en el propio proyecto, como nuevas unidades de obra y con su correspondiente partida presupuestaria.

Los impactos que derivan de un proyecto están relacionados, por lo que las medidas correctoras deberán identificarse sobre una estructura que refleje dichas relaciones. Así, podremos optimizar las relaciones de sinergia positiva y aprovechar polivalencias de las medidas. Hay dos tipos de estructuras útiles: los grafos de relación causa-efecto y los árboles de factores (que se pueden traducir inmediatamente a árboles de impactos). Por tanto, debemos elegir una de estas estructuras y representarla utilizando el trabajo realizado cuando se identificaron los impactos.

Medidas correctoras

Podemos clasificarlas de varias maneras.

1. Según el tipo y gravedad del impacto:

- Obligatorias: aplicables a impactos corregibles y ambientalmente inadmisibles.
- Convenientes: aplicables a impactos corregibles y ambientalmente admisibles.
- Enmiendas a la totalidad: aplicables a impactos inadmisibles, sin posibilidad de corregirlos por lo que exigen el rechazo del proyecto o una modificación en profundidad del mismo.

2. Según su carácter:

- Protectoras: protegen ecosistemas, paisajes... evitando impactos que pudieran afectarles.
- Correctoras: corrigen el proyecto para conseguir una buena integración ambiental.
- Curativas: prevén la intervención sobre ciertos impactos una vez producidos.
- Potenciativas: favorecen procesos naturales de regeneración.
- Compensatorias: Se refieren a impactos negativos inevitables, por lo que solo pueden ser compensados por otros efectos de signo positivo.

3. Según el signo del impacto:

- Dirigidas a prevenir o corregir impactos.
- Dirigidas a mejorar los efectos positivos o a introducirlos cuando no los hay.
- Dirigidas a aprovechar las oportunidades que ofrece el medio para el mejor funcionamiento del proyecto.

4. Según el objeto:

Las medidas se pueden ajustar al punto de vista del usuario del proyecto, mejorando condiciones de seguridad, comodidad de funcionamiento, reducción de riesgos naturales, vistas desagradables, etc.

5. Según las fases de desarrollo del proyecto.

6. Según el espacio alterado.

Las medidas pueden afectar solo a la zona de actuación o rebasar este ámbito.

7. Según el número de factores o impactos a que se dirigen:

- Monovalentes: específicas de un solo impacto.
- Polivalentes: cuando atienden a varios impactos simultáneamente. Es el caso más común.
- Sinérgicas: cuando la acción combinada de varias medidas supera la suma de los efectos de cada una de ellas actuando de forma aislada.

8. Según su ámbito:

- Generales: se refieren al conjunto del espacio afectado y de las acciones de la obra, a impactos genéricos.
- Particulares: se dirigen a impactos específicos en lugares concretos.

Las medidas deben definirse a un nivel de detalle suficiente como para que puedan ser desarrolladas en un proyecto o incluidas en el que se evalúa. Si es posible, se ilustrarán con esquemas gráficos y se describirán en la memoria explicativa y se acompañarán de una tabla o ficha en la que aparecerán los conceptos como:

- Impacto al que se dirige.
- Definición.
- Objetivo.
- Eficacia y eficiencia.
- Impacto residual.
- Impacto de la medida.
- Entidad responsable de su gestión.
- Momento y documento de su inclusión.
- Precauciones a tomar en la ejecución y la gestión.
- Necesidades de mantenimiento y costes.
- Prioridad con que debe ser ejecutada e indicadores de seguimiento y control.

Lógica borrosa

Introducción.

La Teoría de los Conjuntos Difusos o Conjuntos Borrosos (“fuzzy set” en inglés) se aplica con éxito para resolver problemas de control. Fue introducida por primera vez por Lothy Zadeh que trabajaba con estos problemas y se dio cuenta que, utilizando ecuaciones diferenciales, en muchas ocasiones no se llegaba a soluciones prácticas, bien por las simplificaciones que había que introducir, bien por los muchos cálculos que era preciso realizar, por lo que precisó utilizar nuevas herramientas.

Un subconjunto clásico se conoce al saber los elementos de un conjunto referencial que pertenecen a él. La idea de Zadeh es proponer un grado de pertenencia. Mientras que en un conjunto clásico un elemento, o pertenece o no pertenece, ahora en la Teoría de los Conjuntos Borrosos, puede pertenecer con un cierto grado. Esta flexibilidad permite tratar con problemas de incertidumbre y con problemas de conocimiento incompleto. Un ejemplo muy utilizado es el subconjunto de “personas altas”. Si una persona mide 2 m es alta, y si mide 1 mm menos que una persona alta, sigue siendo alta. Con este razonamiento se llega a que alguien que mida 1.2 m es una persona alta. Este conjunto, el de las personas altas, no tiene unas fronteras claramente definidas. Y lo mismo ocurre con muchos otros muchos conjuntos, el de jóvenes, rubios, guapos, que saben inglés... con todos aquellos cuya medida requiera una cierta subjetividad.

Un conjunto clásico viene dado por su función característica, f , que asigna un cero a un elemento que no pertenece al conjunto y un 1 al que si pertenece: $f: X \rightarrow \{0, 1\}$. Un conjunto difuso, A , se define con su función de pertenencia, que a cada elemento le asigna un valor comprendido entre cero y uno:

$$A: X \rightarrow [0, 1].$$

Se puede observar que las funciones de transformación son precisamente funciones de un conjunto referencial, en el que se definen las magnitudes en unidades heterogéneas, y el intervalo cerrado $[0, 1]$, es decir, pueden ser consideradas como conjuntos difusos: $M: X \rightarrow [0, 1]$. Al transformar la magnitud de cada impacto de unidades heterogéneas a unidades homogéneas se puede considerar que se utiliza un conjunto difuso, lo que permite usar todos los instrumentos de esta teoría.

Justificación de la fuzzy logic.

La lógica clásica, la teoría de conjuntos clásica o la teoría de probabilidad pueden no ser adecuadas para tratar la imprecisión, la incertidumbre, la no especificidad, la vaguedad, la inconsistencia y la complejidad del mundo real. Esto motiva el nacimiento de los conjuntos difusos y las lógicas borrosas y explica su papel en la reestructuración de los fundamentos de las teorías científicas y sus aplicaciones, por lo que se están produciendo grandes avances tanto en áreas teóricas como en gran variedad de aplicaciones.

La teoría de la probabilidad sólo es capaz de representar uno de los tipos de incertidumbre que se basa en la aleatoriedad, no en la imprecisión de la información. Lotfi A. Zadeh en 1965 escribe su artículo en el que introduce una teoría sobre unos objetos, los conjuntos difusos, que son conjuntos de frontera no precisa y cuya función de pertenencia indica un grado. En la esfera de los predicados subjetivos, y por tanto imprecisos, la teoría de conjuntos clásica se enfrenta con obstáculos difíciles de superar.

Las lógicas borrosas necesitan generalizar las conectivas entre conjuntos borrosos. Los conectivos lógicos AND, OR y NOT, y las operaciones entre conjuntos

intersección, unión y negación se generalizan respectivamente mediante normas triangulares, conormas triangulares y negaciones.

Cuando se pretende utilizar las relaciones borrosas para efectuar inferencias de razonamiento aproximado de la forma:

$$\begin{array}{l} \text{Si } x \text{ es } P \text{ entonces } y \text{ es } Q \\ x \text{ es } P' \end{array}$$

$$y \text{ es } Q'$$

se puede utilizar la regla composicional de inferencia de Zadeh y, en el caso de un universo en discurso, se obtendrán consecuencias lógicas en el sentido Tarski, pero se debe asegurar la propiedad de condicionalidad de la relación borrosa si queremos que se verifique el Modus Ponens Generalizado definido por E. Trillas [Trillas & Cubillo; 1996].

Parece necesario estudiar las propiedades algebraicas de las relaciones borrosas. Las más utilizadas son la reflexividad, simetría y T-transitividad. Una relación borrosa con estas tres propiedades es una T-indistinguibilidad, que generaliza a una relación de equivalencia. Sus aplicaciones son diversas, como la comparación y la clasificación, y es utilizada también en el aprendizaje inductivo automático. Es interesante estudiar las indistinguibilidades como complemento o negación de distancias, aprovechando los conocimientos sobre espacios métricos y espacios métricos generalizados.

Un tipo muy interesante de relaciones borrosas, casi siempre implicaciones lógicas, son los T-preórdenes, es decir, las relaciones reflexivas y T-transitivas. Su principal aplicación consiste en que un preorden define un operador de consecuencias en el sentido Tarski al aplicar la regla composicional de inferencia de Zadeh. Es fundamental el estudio y manejo de las relaciones residuadas de una norma triangular T, que al mismo tiempo son T-preórdenes y una cota superior de las relaciones T-condicionales.

Ternas lógicas.

T-normas

Según las aplicaciones se puede definir las operaciones de los conjuntos borrosos utilizando conectivos diferentes al mínimo, máximo y negación. Ya B. Schweizer y A. Sklar en "*Statistical Metric Spaces*", en 1960, trabajan las normas triangulares (o t-normas) mediante funciones generadoras, y observando sus propiedades, se comprueba que se pueden utilizar para generalizar la operación de intersección clásica así como las t-conormas para generalizar la unión clásica.

Las t-normas se comportan como conjunciones por lo que son ampliamente utilizadas en lógica borrosa. Las utilizamos por ello en la definición de expresiones de las medidas de especificidad. Además las t-normas pueden ser utilizadas como generadoras de *modus ponens*. Los condicionales residuados asociados con cada una de las t-normas más importantes son bien conocidos. Por esto es preciso resumir en este apéndice sus propiedades más importantes.

Una norma triangular (o brevemente una t-norma) es una operación binaria asociativa en $[0, 1]$, $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, que para todo x, y, z de $[0, 1]$ satisface:

$$T1) T(x, 1) = x \quad (\text{elemento neutro } 1)$$

$$T2) \text{ Si } x \geq x', y \geq y' \text{ entonces } T(x, y) \geq T(x', y') \quad (\text{monotonía})$$

$$T3) T(x, y) = T(y, x) \quad (\text{simetría})$$

$$T4) T(x, T(y,z)) = T(T(x,y), z) \text{ (asociatividad),}$$

lo que significa que es asociativa, conmutativa, no decreciente y con una condición de contorno. Puede visualizarse como una superficie sobre el cuadrado unidad que contiene al segmento $(0,1,0)$ $(0,0,0)$, al segmento $(0,0,0)$ $(1,0,0)$ y al punto $(1,1,1)$. Esta definición puede generalizarse a conjuntos n -ários utilizando la propiedad asociativa, y a conjuntos infinitos. Entre las t-normas existe una relación de orden, y una relación de predominancia.

Las t-normas son muy utilizados en lógica borrosa para definir la intersección entre conjuntos borrosos, ya que generaliza la intersección clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del conectivo lógico "y" (AND).

Una t-norma es arquimediana si y sólo si es continua y $T(x, x) < x$, para todo $x \in (0,1)$. Las t-normas producto y de Łukasiewicz son t-normas arquimedianas; la t-norma mínimo no lo es.

Una t-norma arquimediana es estricta si y sólo si es estrictamente creciente en $(0, 1) \times (0, 1)$. La t-norma producto es estricta. La t-norma de Łukasiewicz no lo es.

Una t-norma es positiva si para $x > 0$ e $y > 0$ se tiene que $T(x, y) > 0$. La t-norma mínimo y la t-norma producto son positivas. La t-norma de Łukasiewicz no lo es.

Se pueden definir las t-normas axiomáticamente o mediante funciones generadoras [B. Schweizer y A. Sklar. *Probabilistic Metric Space*. 1983].

T-conormas

Las t-conormas, o conormas triangulares, son operadores $S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ muy utilizados en lógica borrosa para definir las uniones entre conjuntos borrosos pues generalizan la unión clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del conectivo "o", (OR).

Se pueden definir las t-conormas a partir de las t-normas, axiomáticamente o mediante funciones generadoras [B. Schweizer y A. Sklar. *Probabilistic Metric Space*. 1983].

Una operación $S: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ en una t-conorma si $T(x, y) = 1 - S(1-x, 1-y)$ es una t-norma.

Dada una t-norma T , se define la conorma dual de T como $T^*(x, y) = 1 - T(1-x, 1-y)$.

La t-conorma dual del Mínimo es el Máximo, la dual del producto es la suma probabilística: $Prod^*(x, y) = x + y - xy$. La t-conorma dual de Łukasiewicz es $W^*(x, y) = \text{Mín}\{1, x+y\}$.

Axiomáticamente se define una conorma triangular $S: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0,1]$, como un operador que satisface los cuatro axiomas siguientes:

$$S1) S(x, 0) = S(0, x) = x, \text{ para todo } x \in [0,1]$$

$$S2) \text{ Si } x \geq x', y \geq y' \text{ entonces } S(x, y) \geq S(x', y') \text{ (monotonía)}$$

$$S3) S(x, y) = S(y, x) \text{ para todo } x, y \in [0,1] \quad \text{(simetría)}$$

$$S4) S(x, S(y, z)) = S(S(x, y), z) \text{ para todo } x, y, z \in [0,1] \text{ (asociatividad)}$$

Una t-conorma es arquimediana si y sólo si es continua y $S(x, x) > x$, para todo $x \in (0, 1)$. Una t-conorma arquimediana es estricta si y sólo si es estrictamente creciente en $(0, 1) \times (0, 1)$. El máximo no es arquimediana, $Prod^*$ y W^* si lo son. $Prod^*$ es una t-conorma arquimediana y estricta, y W^* no es estricta.

Negaciones

Las negaciones son operadores $N: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ muy utilizados en lógica borrosa para definir tipos de complementos entre conjuntos borrosos que generalizan la negación clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del "No", (NOT).

Una función $N: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ se define axiomáticamente como una negación si verifica los tres axiomas siguientes:

$$N1) N(0)=1$$

$$N2) N(1)=0$$

N3) N es no creciente.

Una negación es estricta si y sólo si es continua y estrictamente decreciente. Una negación es involutiva si y sólo si $N(N(x)) = x$ para todo $x \in [0,1]$, es decir, si $N=N^{-1}$. Se dice que una negación es una negación fuerte si es continua, estrictamente decreciente e involutiva.

S. Weber demuestra el siguiente resultado: Sea T una t-norma (continua) y sea N una negación, entonces $S(x, y) = N^{-1}(T(N(x), N(y)))$ es una t-conorma (continua).

Sea T una t-norma arquimediana (estricta) generada por f, entonces $g = f \circ N$ genera una t-conorma arquimediana (estricta). Además $f(0) = g(1)$.

Se define T^* como la t-conorma dual de T respecto de la negación N si:

$$T^*(x, y) = N(T(N(x), N(y))).$$

Familias de conectivos lógicos borrosos

Una familia de conectivos lógicos borrosos (T, S, N) está formada por una norma triangular T, una conorma triangular S y una negación N, y se denomina una terna de De Morgan o terna de Morgan cuando S es la t-conorma dual de T respecto a la negación N. Se utilizan para generalizar las operaciones de intersección, unión y complementario. En el caso clásico los conectivos lógicos dotan al conjunto de partes de un conjunto de una estructura de álgebra de Boole, pero esta estructura no se consigue en el caso borroso.

Hemos visto que la familia {Mín, Máx, $1-x$ } propuesta por Zadeh no verifica el tercio excluso y la no contradicción ($Mín\{x, N(x)\} \neq 0$; $Máx\{x, N(x)\} \neq 1$), aunque verifica el resto de propiedades de un álgebra de Boole (como las leyes de Morgan).

Es sencillo comprobar que la distributividad implica la ley de absorción, que a su vez implica la idempotencia. Las normas y conormas arquimedianas no son idempotentes, y las sumas ordinales tampoco, por lo que {Mín, Máx, $1-x$ } es la única familia continua que satisface la propiedad distributiva o modular. Por tanto la familia de Łukasiewicz con $N(x) = 1 - x$ no es distributiva aunque sí satisface la ley de no contradicción y el tercio excluso. Según las propiedades que interese que se verifiquen en las aplicaciones se elige una terna u otra.

Las familias de conectivos lógicos más utilizadas son:

	T(x, y)	Generador aditivo	S(x, y)	Generador aditivo	N(x)
<i>Zadeh</i>	<i>Min(x,y)</i>		<i>Max(x,y)</i>		$1-x$
	$x \cdot y$	$-\log(x)$	$x + y - xy$	$-\log(1-x)$	
<i>Yager_p</i>	$1 - \text{Min}(((1-x)^p + (1-y)^p)^{1/p}, 1)$	$(1-x)^p$	$\text{Min}((x^p + y^p)^{1/p}, 1)$	x^p	$(1-x^p)^{1/p}$

$Dombi_{\lambda}$ $\lambda > 0$	$\frac{1}{1 + \left[\left(\frac{I}{x} - 1 \right)^{-\lambda} + \left(\frac{1}{y} - I \right)^{-\lambda} \right]^{-1/\lambda}}$	$\left(\frac{1-x}{x} \right)^{\lambda}$	$\frac{1}{1 + \left[\left(\frac{I}{x} - 1 \right)^{\lambda} + \left(\frac{1}{y} - I \right)^{\lambda} \right]^{1/\lambda}}$	$\left(\frac{x}{I-x} \right)^{\lambda}$	$1-x$
$Weber_{\lambda}$ $\lambda > -1$	$\text{Max} \left(\frac{x+y-1+\lambda xy}{1+\lambda}, 0 \right)$	$1 - \frac{\ln(1+\lambda x)}{\ln(1+\lambda)}$	$\text{Min} (x+y+\lambda xy, 1)$	$\frac{\ln(1+\lambda x)}{\ln(1+\lambda)}$	$\frac{1-x}{1+\lambda x}$
W Lukasiewicz: $Weber_{\lambda}$ con $\lambda=0$	$\text{Max}(x+y-1, 0)$			$\text{Mín} \{1, x+y\}$	$1-x$
$Hamacher_{\gamma}$ $\gamma > 0$	$\frac{xy}{\gamma + (1-\gamma)(x+y-xy)}$	$\frac{1}{\gamma} \ln \frac{\gamma + (1-\gamma)x}{x}$	$\frac{x+y-xy-(1-\gamma)xy}{1-(1-\gamma)xy}$	$\frac{1}{\gamma} \ln \frac{\gamma + (1-\gamma)(1-x)}{1-x}$	$1-x$

Relaciones borrosas.

Estructura relacional borrosa

Entre los predicados graduados pertenecientes a una misma variable lingüística usualmente existe una relación de antonimia. De hecho los valores lingüísticos de muchas variables pueden generarse a partir de un par de predicados antónimos y una serie de modificadores. Por ejemplo, para la variable lingüística *temperatura*, los predicados *frío* y *caliente* pueden generar los valores *helado*, *bastante frío*, *frío*, *bastante caliente*, *caliente*, *muy caliente* generados mediante los modificadores *muy* y *bastante*. El uso de conectivos lógicos de conjunción, disyunción y negación permiten combinar estas etiquetas para obtener otras como *templado* = *ni caliente ni frío*. La importancia de las relaciones de antonimia entre predicados se manifiesta en la cantidad de conocimiento que se adquiere gracias a la existencia de predicados antónimos. Cuando se transmite información mediante alguno de estos conceptos se supone de forma implícita la existencia del contrario y de una posición intermedia. Zadeh al definir variable lingüística utilizó gramáticas generativas de tal forma que, a partir de ciertos operadores, todos los términos lingüísticos de la variable están dados. De la misma forma si se tiene una semántica asociada a los términos lingüísticos básicos mediante conjunto borrosos se tiene una semántica asociada a todos los términos lingüísticos válidos, sin más que asociar a dichos operadores operaciones adecuadas entre conjuntos borrosos. Sin embargo consideramos que la asignación de un significado a esos términos mediante conjuntos borrosos se realiza de otra forma, con base en los términos implícitos existentes cuando se realiza una predicación, constituyendo una jerarquía de varios niveles, cada uno de ellos presentando diferente granularidad. La clase de conjuntos borrosos de cada nivel se obtendrá como una partición borrosa del universo compatible con una indistinguibilidad. Veamos como se definen estos conceptos.

Sea X un conjunto clásico. Una relación borrosa (o difusa) es una aplicación $R: X \times X \rightarrow [0, 1]$, es decir, una relación borrosa sobre X es un conjunto borroso sobre $X \times X$. Al conjunto (X, R) formado por un conjunto borroso X y una relación borrosa R se le llama estructura relacional borrosa. Entre las relaciones más destacadas en la teoría de conjuntos clásica tenemos las relaciones de orden y las de equivalencia, luego las propiedades que nos interesará definir ahora son la reflexiva, simétrica, antisimétrica y transitiva. Como con las operaciones entre conjuntos tenemos también muchas posibilidades y formas diferentes de definir las.

Se dice que una relación borrosa es reflexiva si $R(a, a) = 1$ para todo $a \in X$. Se dice que es simétrica si $R(a, b) = R(b, a)$ para todo $a, b \in X$. Es sencillo probar que una relación borrosa es reflexiva si y sólo si las relaciones clásicas definidas por los subconjuntos de nivel de R son relaciones reflexivas. Lo mismo ocurre con la propiedad simétrica.

Una relación borrosa que es reflexiva y simétrica se denomina relación de semejanza. Un ejemplo de una relación de semejanza puede ser la representada por la matriz:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.3 & 0.7 \\ 0.3 & 1 & 0.4 \\ 0.7 & 0.4 & 1 \end{pmatrix}$$

Se dice que una relación borrosa es α -reflexiva (reflexiva al menos en un cierto grado), si $R(a, a)$ es siempre mayor o igual a un cierto valor α .

Debemos ser más cautelosos en el momento de definir la transitividad pues si a está cerca de b , y b está cerca de c , ¿podemos siempre asegurar que a está cerca de c ? Es de sobra conocido el comportamiento de los sinónimos respecto a la transitividad.

$$\begin{aligned} R \text{ transitiva} &\equiv \text{Si } R(a, b) \text{ y } R(b, c) \text{ entonces } R(a, c) \\ &\equiv R(a, b) \wedge R(b, c) \leq R(a, c) \\ &\equiv R(a, c) \geq \text{máx}\{\text{mín}\{R(a, x), R(x, c)\}\} \end{aligned}$$

Y generalizando se dice que una relación borrosa es T -transitiva (T es una t -norma) si: $T(R(a, b), R(b, c)) \leq R(a, c)$ para todo $a, b, c \in X$. Una de nuestras aportaciones ha sido trabajar en la búsqueda de algoritmos que hagan T -transitiva una relación.

Preórdenes e indistinguibilidades

Una relación borrosa que sea reflexiva y T -transitiva se denomina un T -preorden. Una relación borrosa que sea reflexiva, simétrica y T -transitiva se dice que es una T -similaridad o una T -indistinguibilidad.

Los preórdenes, entre los que se encuentran las relaciones de implicación, son muy utilizados para realizar inferencias borrosas. La relación borrosa $J_A^T: X \times X \rightarrow [0, 1]$ definida por:

$$J_A^T(a, b) = \text{Sup}\{z: T(A(a), z) \leq A(b)\}, \text{ es un } T\text{-preorden.}$$

Las indistinguibilidades generalizan a las relaciones de equivalencia clásicas y se utilizan para definir valores de "similitud" o distancias generalizadas. Se puede definir partición borrosa y considerar la noción de compatibilidad de una partición respecto una T -indistinguibilidad.

Lógicas borrosas.

La utilización usual del término "lógica borrosa" está ligado a una semántica de muy amplio espectro que es entendida básicamente como sinónimo de todo aquello que arranca del trabajo de *Zadeh* sobre conjuntos borrosos.

La lógica se ocupa de hacer inferencias verdaderas a partir de otras verdades. Como ciencia que estudia el razonamiento aproximado la lógica borrosa ha proporcionado un cálculo para las consecuencias imprecisas, resultado de gestionar

convenientemente la vaguedad de las premisas y, en ocasiones, la fuerza de la implicación. Tanto la vaguedad de las premisas como la credibilidad de la conclusión se representan frecuentemente en términos de grados de verdad. La noción de grado de verdad puede interpretarse como una verdad parcial o como utilidad, esto es, una creencia subjetiva que tiene el agente en la verdad de esa proposición. Pero ahora nuestro grado de verdad no es sólo falso (0) o cierto (1) sino que puede haber grados. Se tiene por tanto que definir que se entiende por “premisa”, “consecuencia” y “conjetura”.

Uno de los problemas de la lógica borrosa es el tratamiento de la inferencia con información imprecisa y, en particular, el de la obtención de modelos para los enunciados condicionales, es decir, los del tipo: “Si x es A entonces y es B ”, donde x e y son elementos del universo y A y B son predicados vagos sobre el mismo. Con este fin se han definido operadores a partir de conceptos análogos de las lógicas bivaluada y multivaluada.

Un método de razonamiento borroso es un procedimiento de inferencia que deriva conclusiones entre un conjunto de reglas borrosas y un ejemplo. Para ello se tiene en cuenta el grado de compatibilidad, el grado de asociación, la función de ponderación, el grado de clasificación del ejemplo en cada una de las clases y la clasificación.

Es pues muy necesario proveer de teorías sobre las formas adecuadas de realizar estas inferencias, y de obtener consecuencias desde un conjunto de reglas dado.

Operador de consecuencias

Sea E un conjunto cuyos elementos representan objetos lógicos, o proposiciones, y se parte de un conjunto de premisas V que será un subconjunto de E distinto del vacío. En este sentido *Alfred Tarski* axiomatizó la idea de “consecuencia” lógica a través de lo que se denomina un operador de consecuencias C , que es una aplicación de $\Phi(E)$ en $\Phi(E)$ que verifica:

$V \subset C(V)$ para todo $V \in \Phi(E)$ (las mismas premisas son consecuencias)

Si $V_1 \subset V_2$ entonces $C(V_1) \subset C(V_2)$ (a más premisas no menos consecuencias)

$C(V) = C(C(V))$ (se deducen todas las consecuencias posibles)

Luego, partiendo de un conjunto de premisas, mediante los operadores de consecuencias se obtiene el conjunto de consecuencias que puede deducirse por algún método adecuado. La primera propiedad nos dice que cada premisa puede considerarse una consecuencia, la segunda asegura la monotonía en el sentido de que al aumentar el número de premisas se aumenta el número de consecuencias, y la tercera dice que una vez halladas “todas” las consecuencias, ya no hay más consecuencias, pues $C^2=C$. Una lógica, según la idea tarskiana, no es otra cosa que un conjunto de proposiciones provisto de un operador de consecuencias.

Operadores de implicación.

A la hora de buscar generalizaciones las posibilidades son múltiples, pero debe mantenerse siempre que, al aplicar el nuevo concepto al caso límite de valores de pertenencia 0 o 1 el resultado coincida con el dado por el concepto original. Para representar enunciados condicionales los operadores de implicación deben buscarse entre aquellos que verifiquen los de la implicación lógica clásica. Por tanto los operadores de implicación generalizan la implicación lógica clásica, cuya tabla de verdad es:

a	b	$a \Rightarrow b$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

y una vez añadidas unas condiciones de monotonía propias del cálculo proposicional clásico. Puede definirse como:

$$a \Rightarrow b \equiv a' + b \equiv b + (a' \cdot b) \equiv a' + a \cdot b.$$

Siguiendo esta idea se puede definir la implicación borrosa como:

a	b	$a' + b$	$a \cdot b$	b	$a \cdot b + a' \cdot b'$	$a' \cdot b$	$a' \cdot b'$	a'
0	0	1	0	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0

sin más que imponer que si la primera proposición es cierta y la segunda falsa entonces la implicación debe ser falsa. Pero también es interesante imponer que si ambas proposiciones son ciertas, la implicación debe ser cierta, con lo que nos quedamos únicamente con cuatro posibilidades: $a' + b$, $a \cdot b$, b , $a \cdot b + a' \cdot b'$. La primera posibilidad, a la que se llama implicación material, es la misma que se deduce de la tabla de la implicación lógica clásica. Recordemos que \cdot puede ser cualquier t-norma, $+$ cualquier t-conorma y $'$ cualquier negación, según la terna de *Morgan* elegida. Cuando \cdot es el mínimo la implicación se denomina de *Mamdani* y es la más utilizada en control. También se usa mucho en control con buenos resultados la segunda: $a \cdot b$, sustituyendo \cdot además de por el mínimo, por otras t-normas. La tercera indica que al menos la implicación tenga el mismo valor de verdad que la segunda proposición. La cuarta es la equivalencia lógica, o doble implicación. Cada una de estas cuatro posibles implicaciones lógicas tienen propiedades diferentes y puede ser interesantes unas u otras según las aplicaciones.

En un Álgebra de *Boole* ($B, +, \cdot, '$) se dice que una operación $\rightarrow: B \times B \rightarrow B$ es una implicación si, para todo x, y en B es $x \cdot (x \rightarrow y) \leq y$, desigualdad que es equivalente a $x \rightarrow y \leq x' + y$. Por tanto, la implicación material no es la única implicación, pero sí la mayor de todas. En la tabla anterior hemos visto que podemos tener seis funciones booleanas que cumplen dicha condición.

Implicación residuada

Se define la implicación residuada de una t-norma continua T , y se denota J^T , a la aplicación: $J^T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ tal que:

$$J^T(x, y) = \text{Sup} \{z: T(x, z) \leq y\}.$$

Dado un conjunto borroso sobre un universo entonces:

$$J^{\min}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq y \\ y & \text{si } x > y \end{cases} \text{ es un Min-preorden borroso}$$

$$J^{\text{prod}}(x, y) = \text{Mín}(1, y/x) \text{ es un Prod-preorden borroso}$$

$$J^W(x, y) = \text{Mín}(1, 1 - x + y) \text{ es un W-preorden borroso}$$

Se tienen pues tres familias de implicaciones lógicas borrosas que se deben estudiar. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, por lo que en los

sistemas expertos se utilizan una u otra según la conveniencia. Por ejemplo en un álgebra de *Boole* de probabilidades funciona bien la t-norma de *Lukasiewicz*.

S-Implicación

Dada una t-conorma S y una negación N , se define una operación de S-implicación como $I(x, y) = S(N(x), y)$. Observamos que es una generalización de la implicación definida por $x' + y$.

Observamos que el concepto de implicación borroso no está unívocamente determinado.

QM-Implicación

Dada una t-norma continua T , una S-conorma continua S y una negación N , se define una operación de QM-implicación como $I(x, y) = S(N(x), T(x, y))$ que es la forma de generalizar la expresión: $x' + x \cdot y$.

Regla composicional de inferencia

Dada una estructura relacional borrosa (E, R) y una t-norma T se denomina transformada lógica sobre (E, R) a $L_R^T: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ definida por:

$$L_R^T: [\mu](b) = \text{Sup}_{a \in E} T(\mu(a), R(a, b))$$

La transformada lógica es la aplicación de la regla composicional de inferencia de *Zadeh* y se utiliza para efectuar razonamiento aproximado de la forma

$$\frac{\begin{array}{l} \text{Si } x \text{ es } P \text{ entonces } y \text{ es } Q \\ x \text{ es } P' \end{array}}{\text{y es } Q'}$$

S. Cubillo demuestra en su memoria de doctorado los siguientes resultados para relaciones borrosas R reflexivas:

$$\begin{aligned} \mu &\subseteq L_R^T: [\mu] \\ \mu_1 &\subseteq \mu_2 \Rightarrow L(\mu_1) \subseteq L(\mu_2) \\ \mu \in T(E, R) &\Leftrightarrow L(\mu) = \mu \end{aligned}$$

Si R es un T -preorden y T es una t-norma continua entonces $L(L(\mu)) = L(\mu)$ y, por tanto, L_R^T es un operador de consecuencias.

Desarrollo del sistema

Análisis

Definición del sistema.

Se pretende realizar una aplicación java de facil utilización, para la realización de estudios de impacto ambiental (EslA).

El sistema tomará como datos de entrada la información de un proyecto u obra de ingeniería, que contendrá un listado de posibles alternativas de realización, cada una de las cuales contendrá un conjunto de impactos. Cada impacto estará constituido por el cruce de una acción sobre la obra y un factor de carácter ambiental.

El sistema tendrá como función principal la valoración de cada alternativa especificada, a partir de la valoración cualitativa y cuantitativa de sus impactos de manera individual (magnitud e incidencia), obteniendo así la alternativa de realización óptima para la realización de proyecto considerado.

Al ser una metodología muy específica y que presentan gran subjetividad, el sistema ofrecerá asistentes de ayuda basados en lógica borrosa, para la realización de dichas tareas. También contará con una función de reporte de información para la generación de informes formales de los proyectos en estudio.

Metodología.

El programa consta de una metodología sencilla de seguir. En el proceso de un estudio de impacto ambiental se pueden distinguir cuatro bloques de procesos bien diferenciados: identificación, valoración, prevención y comunicación.

El proceso de identificación de impactos parte de una lista de factores ambientales con una asignación de pesos para cada factor prefijada, pero que la persona que utilice el programa pueda modificar a su gusto si quisiera añadir o eliminar factores, o considerar pesos diferentes.

Se han seleccionado para el programa inicial cuatro tipos de obras:

- Vías de comunicación, que a su vez comprende carreteras, autovías y autopistas y vías férreas tanto usuales como de alta velocidad.
- Presas.
- Vertederos e incineración de residuos sólidos.
- Puertos deportivos.

Cada tipo de obra consta de una lista de acciones, (las usuales para ese tipo de obra), que a su vez, el usuario pueda modificar, añadiendo o quitando acciones en cada momento.

El siguiente paso es ofrecer la matriz de cruce entre factores ambientales y acciones, anotando lo que el programa considera efectos ambientales, es decir, los factores ambientales afectados por cada acción. Cada impacto y cada efecto ambiental viene dado por un factor impactado y por una acción impactante.

Para cada una de las alternativas, en este momento es importante que el programa ayude a clasificar dichos efectos entre efectos mínimos y efectos notables o impactos. Esta clasificación es subjetiva y el conocimiento es incompleto, por lo que el programa proporcionará una serie de preguntas que ayuden, mediante la utilización de lógica borrosa, a la toma de esta decisión con un juicio sobre esta clasificación de los efectos. Con esto ya se tiene una lista de impactos ambientales para cada una de las alternativas de la obra.

Comienza entonces el siguiente proceso, la valoración de los impactos. Los efectos mínimos ya no se valoran, mientras se deben valorar los impactos. Los efectos notables o impactos se clasifican a su vez en compatibles, moderados, severos y críticos. La valoración puede ser cualitativa o cuantitativa.

En la valoración cualitativa se evalúan, de forma subjetiva, una serie de cualidades de los impactos ambientales. Normalmente se utilizan las definidas por la legislación. Se obtiene un valor numérico que usualmente se denomina importancia, *I*.

En la valoración cuantitativa se mide la magnitud del impacto, *M*, para lo que se utilizan indicadores numéricos que proporcionan una medida de la magnitud del impacto, que en un primer momento se obtiene en unidades heterogéneas, y que mediante las funciones de transformación se convierten en la magnitud en unidades homogéneas o comparables entre distintos tipos de impactos, lo que permite obtener una valoración numérica del impacto total producido por la obra, el proyecto o la alternativa, de forma que se puede comparar el impacto total de las diferentes alternativas, permitiendo seleccionar la que menor impacto negativo produzca. Es importante no sólo establecer la magnitud sino también el umbral a partir del cual el impacto provocado debe imponer limitaciones a la actividad, bien en la fase de construcción como en la fase de explotación.

El siguiente apartado del programa es la prevención de impactos. Las medidas que se adopten para minimizar los impactos ambientales pueden considerarse como la

parte más importante, o al menos una de las más importantes, del estudio de impacto ambiental. Los impactos producidos por una determinada actividad dependen mucho de la forma en se realice la misma, por lo que detallar en el proyecto todas aquellas medidas necesarias para que el impacto sobre el medioambiente sea lo menor posible, y en los casos en que sea difícil prevenir o proteger entonces reflexionar sobre la mejor forma de corregir. Es preciso partir de la premisa de que siempre es mejor no producir un impacto negativo que luego tener que corregirlo. Cualquier medida correctora supone un coste adicional que, aunque en relación con el coste global del proyecto suela ser bajo, puede evitarse, y más si se tiene en cuenta que una medida correctora no suele eliminar completamente la alteración sino sólo reducirla. Por ello es muy importante que el programa ayude a incorporar en el proyecto un diseño adecuado desde el punto de vista medioambiental y mantener los cuidados preceptivos durante la fase de ejecución de las obras.

El objetivo de una evaluación de impacto ambiental es prevenir, corregir los efectos negativos que la realización de la actividad pueda tener para el medio ambiente, por ello uno de los apartados importantes es el de prevención de impactos, para lo que el programa estudiará las medidas preventivas, protectoras, correctoras y compensatorias con el fin de eliminar, atenuar, evitar, reducir, corregir o compensar dichos efectos negativos que las acciones que se derivan del proyecto producen sobre el medio ambiente, así como aumentar, mejorar y potenciar los efectos positivos. El programa proporcionará fichas para cada medida.

La evaluación de impactos ya realizada queda modificada con la introducción de estas medidas, tanto la cualitativa como la cuantitativa, por lo que el programa hará una nueva evaluación teniendo ahora en cuenta las medidas correctoras, obteniendo para los impactos afectados una nueva valoración, que por lo tanto también modifica el valor del impacto total de cada alternativa. Por último, todo esto debe quedar reflejado en el programa de vigilancia ambiental, que es obligatorio presentar como parte del estudio de impacto ambiental.

Adquisición del conocimiento.

La metodología que se sigue para la realización de estudios de evaluación de impacto ambiental presenta gran complejidad. En nuestro caso, presentabamos un desconocimiento total de la materia, por lo que un paso crucial a la hora de enfrentarnos al desarrollo del proyecto era la documentación y la adquisición del conocimiento suficiente para realizar dicha tarea.

La primera toma de contacto con la temática, vino de la mano de Adela Salvador, del departamento de matemática e informática aplicadas a la ingeniería civil de la ETSI Caminos, canales y puertos (UPM). En esta primera reunión, se nos sugirió una bibliografía básica y se expusieron los puntos básicos a tratar en el sistema. Además se nos facilitó una documentación adicional con ejemplos reales de diversos estudios de impacto ambiental, así como un listado de factores ambientales que podríamos considerar.

El proceso de documentación nos llevó aproximadamente dos meses, en el que se intercalaron sucesivas reuniones para la aclaración de los conceptos dudosos, y refinamiento de la especificación del proyecto. Todo esto nos llevó a la obtención de una idea clara sobre los objetivos y metodologías a seguir por la aplicación.

A lo largo de todo el desarrollo, además del apoyo de Adela, se contó con la ayuda de Alfonso Garmendia del departamento de Ecosistemas Agroforestales de la ETS del Medio Rural y Enología (UPV), experto en la metodología EIA y principal autor de la bibliografía consultada, que nos facilitó información cuando fue requerida.

Diseño

Identificación y especificación de las partes del sistema.

En este apartado se tratará de dar una idea general introductoria del diseño empleado en la realización del sistema. Se comentará brevemente cada una de las partes constituyentes, no obstante, en el apartado de implementación se tratarán en profundidad cada una de las mismas.

El sistema desarrollado está diseñado en tres partes básicas: el modelo de datos, el motor de inferencia difusa, y la interfaz de usuario de la aplicación. Además, el modelo de datos y la interfaz se apoyan en otra parte emergente que contiene elementos útiles para la realización de las funcionalidades de ambas.

Modelo de datos

Está constituido por el conjunto de elementos que modelan el comportamiento de un sistema de evaluación de impacto ambiental ajustado a los criterios teóricos anteriormente indicados.

Se han identificado los siguientes elementos básicos:

- Proyecto: modela un proyecto de evaluación ambiental específico, con su información relevante (descripción, fecha, autores...), con su conjunto de alternativas de realización consideradas, basadas en el árbol de factores ambientales considerado específicamente según tipo de proyecto.
- Factor ambiental: modela un factor de influencia medioambiental, a partir del cual, junto con acciones, produce efectos/impactos sobre el medio.
- Acción sobre el medio: modela una acción que se efectúa sobre el medio ambiente, a partir de la cual se pueden producir efectos/impactos.
- Alternativa de realización: modela una alternativa de proyecto, contiene el listado de efectos/impactos ambientales, contruidos a partir de un árbol de acciones, cuya valoración individual de los mismos permite la obtención del valor total de la alternativa.
- Efecto ambiental: modelo un efecto sobre el medio, contruido a partir de un factor y una acción ambiental. Presenta información relevante de su valoración atendiendo a los criterios designados, en caso de que el efecto sea considerado como impacto.
- Valoración cuantitativa: modela la información relevante para la valoración de forma cuantitativa de un impacto ambiental.
- Valoración cualitativa: modela la información relevante para la valoración de forma cualitativa de un impacto ambiental.

En el apartado documentación complementaria se da mayor detalle de algunas de las técnicas/criterios aplicados en el modelo de datos, así como otros elementos de interés del mismo.

Inferencia difusa

Modela los motores de inferencia difusa para los casos considerados: la valoración por simple enjuiciamiento (decidir si un efecto es impacto o no) y la asignación del carácter de un impacto. La obtención de la implementación de dichos motores se realiza mediante la aplicación Xfuzzy, que se tratará más adelante.

Utilidades

Esta parte de apoyo, ofrece a la vista y al modelo de datos soporte para la utilización de funcionalidades XML, así como de los tipos definidos necesarios para facilitar las distintas funciones: tipo de proyecto, carácter de impacto y valor por simple enjuiciamiento.

Vista de aplicación

Parte que engloba la interfaz gráfica de usuario (GUI) para la utilización de la aplicación, según las funcionalidades desarrolladas en el modelo de datos.

Casos de uso.

Se procede a la realización de un diagrama de casos de uso (*Main Use Case Diagram*). El objetivo es la creación de una representación gráfica del total de los actores y casos de uso del sistema (funcionalidades principales), incluyendo sus interacciones.



Figura 11: Main Use Case Diagram del sistema

Como podemos apreciar, un usuario (único rol del sistema) podrá realizar las siguientes acciones:

- Crear nuevo proyecto no genérico.
- Crear nuevo proyecto genérico.
- Editar ficha del proyecto.
- Abrir un proyecto existente.
- Guardar proyecto.
- Ver factores de un proyecto.
- Modificar pesos de factores de un proyecto.
- Generar informe de un proyecto.
- Ver informe de un proyecto.
- Crea alternativa en un proyecto.
- Eliminar alternativa de un proyecto.

- Editar alternativa de un proyecto.
 - o Añadir acción a una alternativa.
 - o Eliminar acción de una alternativa.
 - o Crear efecto en una alternativa.
 - o Eliminar efecto.
 - o Editar un efecto.
 - Valorar efecto por simple enjuiciamiento.
 - Valorar impacto cualitativamente.
 - Valorar impacto cuantitativamente.
 - Editar carácter de un impacto.
 - o Valorar alternativa (valoración total).
- Valorar proyecto.

Documentación complementaria.**Factores ambientales**

A continuación se muestra el listado de factores ambientales y pesos de los mismos en el ámbito del estudio, que se ha considerado para su utilización en el sistema desarrollado.

	PESOS		
1. SISTEMA FÍSICO NATURAL	550		
1.1. Medio abiótico		230	
1.1.1. Aire			80
1.1.1.1. Calidad del aire			30
1.1.1.2. Nivel sonoro			50
1.1.2. Geología. Geomorfía			40
1.1.2.1. Relieve			25
1.1.2.1. Recursos culturales (PIGs)			15
1.1.3. Suelos			40
1.1.3.1. Contaminación del suelo			20
1.1.3.2. Capacidad agrológica del suelo			20
1.1.4. Aguas superficiales			40
1.1.5. Aguas subterráneas			30
1.2. Medio biótico		240	
1.2.1. Vegetación			120
1.2.1.1. Formaciones vegetales			100
1.2.1.2. Especies singulares			20
1.2.2. Fauna			120
1.3. Paisaje		80	
1.3.1. Calidad. Unidades de paisaje			40
1.3.2. Intervisibilidad			40
2. MEDIO SOCIOECONÓMICO	300		
2.1. Usos del suelo		130	
2.1.1. Usos productivos			55
2.1.2. Viario rural			15
2.1.3. Usos recreativos			20
2.1.4. Usos recreativos			20
2.1.5. Conservación de la naturaleza			40
2.2. Población		70	
2.2.1. Empleo			25
2.2.2. Calidad de vida			30
2.2.3. Aceptación social			15
2.3. Economía		40	
2.4. Infraestructuras y planeamiento		60	
3. PATRIMONIO CULTURAL	100		
3.1. Patrimonio histórico artístico		55	
3.2. Arqueología y paleontología		45	
4. PROCESOS	50		
4.1. Erosión		20	
4.2. Inundación		10	
4.3. Incendios		20	

Para su elaboración se han repartido 1000 puntos entre los factores ambientales para determinar su peso. Este peso indica la contribución relativa de cada uno de ellos a la calidad ambiental del ámbito de referencia. Para determinarlos se ha aplicado el *Método Delphi* (ver conceptos teóricos), consultando a expertos, técnicos y a instituciones afectadas por la obra.

Acciones ambientales

Se han considerado los siguientes listados genéricos de acciones derivadas de las alternativas según el tipo de proyecto del que se trate, para su uso en el sistema desarrollado. Estos árboles de acciones se considerarán una base, permitiéndose su modificación desde el sistema, en función a las necesidades del usuario.

Vías de comunicación

1. Fase de planeamiento
 - 1.1. Diseño
 - 1.1.1. Diseño del trazado
 - 1.1.2. Objetivos y fines del proyecto
 - 1.2. Localización
 - 1.2.1. Localización del eje viario
 - 1.2.2. Localización de prestamos y caballeros
 - 1.2.3. Localización de parques de maquinaria y oficinas
2. Fase de construcción
 - 2.1. Expropiaciones
 - 2.1.1. Expropiaciones
 - 2.2. Explanaciones y movimiento de tierras
 - 2.2.1. Desbroce y despeje
 - 2.2.2. Excavación y acopio tierra vegetal
 - 2.2.3. Excavaciones en desmontes
 - 2.2.4. Terraplenes y pedraplenes
 - 2.2.5. Voladuras y perforaciones
 - 2.2.6. Préstamos y vertederos
 - 2.2.7. Demolición de edificios que interfieren
 - 2.2.8. Desvío de servicios y obras temporales
 - 2.3. Afirmado
 - 2.3.1. Instalación plantas de obra para firmes
 - 2.3.2. Riesgos bituminosos y /o curado
 - 2.4. Estructuras, obras de fábrica y drenajes
 - 2.4.1. Construcción de puentes y túneles
 - 2.4.2. Construcción de pasos elevados y subterráneos
 - 2.4.3. Desvíos y canalizaciones de cauces de aguas
 - 2.4.4. Obras de drenaje longitudinal y transversal
 - 2.5. Obras y trabajos auxiliares
 - 2.5.1. Ordenación y desvío del tráfico
 - 2.5.2. Señalización
 - 2.5.3. Revegetación, cerramientos e iluminación
 - 2.5.4. Caminos de servicio
 - 2.6. Fase de construcción
 - 2.6.1. Fase de construcción
 - 2.6.2. Ocupación por la vía
 - 2.7. Presupuesto económico de la obra
3. Fase de funcionamiento
 - 3.1. Tráfico

- 3.1.1. Emisión de ruido
- 3.1.2. Vibraciones
- 3.1.3. Contaminaciones
- 3.1.4. Trafico rodado
- 3.1.5. Asfaltado de superficies
- 3.1.6. Accidentes de tráfico
- 3.1.7. Olores
- 3.1.8. Vapores, humos y polvos emitidos a la atmósfera
- 3.1.9. Incendios
- 3.2. Mantenimiento
 - 3.2.1. Uso de sales
 - 3.2.2. Herbicidas y aditivos para la conservación
 - 3.2.3. Aparición de escombreras
 - 3.2.4. Revegetaciones
 - 3.2.5. Obras de drenaje
 - 3.2.6. Canalizaciones
- 3.3. Acciones inducidas
 - 3.3.1. Aparición de urbanizaciones
 - 3.3.2. Incremento del valor del suelo
 - 3.3.3. Incremento del comercio de la zona

Presas

- 1. Fase de planeamiento
 - 1.1. Diseño y localización de alternativas
- 2. Fase de construcción
 - 2.1. Desviación de aguas y ataguías
 - 2.2. Caminos y pistas de acceso y montaje
 - 2.3. Infraestructuras
 - 2.3.1. Líneas de transporte eléctrico
 - 2.3.2. Canales
 - 2.3.3. Conducciones de agua
 - 2.4. Obras de construcción propiamente dichas
 - 2.5. Transporte de materiales
 - 2.6. Movimiento de maquinaria pesada
 - 2.7. Vertido de tierras y otros materiales
 - 2.8. Edificios de obra
 - 2.9. Deforestación del vaso
 - 2.10. Explotación canteras
 - 2.11. Reposición de viales destruidos o inundados
 - 2.12. Expropiaciones
 - 2.13. Presupuesto económico de la obra
- 3. Fase de funcionamiento
 - 3.1. Presa y embalsamado del agua
 - 3.2. Infraestructuras
 - 3.3. Oscilaciones del nivel de agua embalsada
 - 3.4. Regulación del caudal de aguas abajo de la presa
 - 3.5. Acciones inducidas
 - 3.5.1. Aparición de urbanizaciones
 - 3.5.2. Incremento del valor del suelo
 - 3.5.3. Incremento del comercio de la zona

Vertederos e incineración de residuos sólidos

- 1. Fase de planeamiento

- 1.1. Diseño y localización de alternativas
2. Fase de construcción
 - 2.1. Excavaciones
 - 2.2. Eliminación cubierta terrestre y vegetación
 - 2.3. Movimiento de tierras
 - 2.4. Alteración hidrología
 - 2.5. Alteración drenaje
 - 2.6. Producción de ruidos y vibraciones
 - 2.7. Capa impermeabilizada
 - 2.8. Construcción edificios auxiliares
 - 2.9. Instalación planteas de tratamiento
 - 2.10. Vías de acceso
 - 2.11. Presupuesto inversión.
3. Fase de funcionamiento
 - 3.1. Transporte
 - 3.2. Recogida de residuos sólidos
 - 3.3. Almacenamiento y vertido
 - 3.4. Lixiviados
 - 3.5. Recubrimientos de tierra
 - 3.6. Pre-tratamiento de residuos
 - 3.7. Tratamiento de residuos
 - 3.8. Funcionamiento planta incineradora
 - 3.9. Olores
 - 3.10. Vapores, humos y polvos emitidos a la atmósfera
 - 3.11. Producción de ruidos y vibraciones
 - 3.12. Obtención productos recuperables y reciclado
 - 3.13. Residuos del horno
 - 3.14. Incendios
 - 3.15. Coste económico
 - 3.16. Beneficio económico (productos recuperables)
 - 3.17. Composición y producción de residuos
 - 3.17.1. Metales
 - 3.17.2. Metales pesados
 - 3.17.3. Vidrio
 - 3.17.4. Restos reparaciones
 - 3.17.5. Tierras
 - 3.17.6. Materia orgánica
 - 3.17.7. Papel
 - 3.17.8. Cartón
 - 3.17.9. Plásticos
 - 3.17.10. Madera
 - 3.17.11. Goma
 - 3.17.12. Textiles
 - 3.17.13. Productos persistentes en las cadenas tróficas
 - 3.17.14. Pilas, Baterías de coche y residuos electrónicos
 - 3.17.15. Insecticidas y pesticidas
 - 3.17.16. Productos tóxicos y/o radiactivos
 - 3.18. Otras características de las basuras
 - 3.18.1. Densidad
 - 3.18.2. Poder calorífico
 - 3.18.3. Humedad
 - 3.18.4. Relación carbono/hidrogeno
 - 3.19. Acciones inducidas
 - 3.19.1. Decremento del valor del suelo
 - 3.19.2. Decremento del comercio de la zona

Puertos deportivos

1. Fase de planeamiento
 - 1.1. Diseño y localización de alternativas
2. Fase de construcción
 - 2.1. Ampliación superficie ganada al mar
 - 2.2. Relleno
 - 2.3. Dragado
 - 2.4. Diques
 - 2.5. Espigones
 - 2.6. Muelles
 - 2.7. Edificaciones
 - 2.8. Viales
 - 2.9. Producción de ruido
 - 2.10. Emisión de polvo
 - 2.11. Introducciones flora
 - 2.12. Uso maquinaria
 - 2.13. Alteración cubierta terrestre
 - 2.14. Alteración de las corrientes marinas
 - 2.15. Alteración en el transporte de arenas y sedimentos
 - 2.16. Alteración de la vegetación y fauna marina
 - 2.17. Explotación de canteras
 - 2.18. Presupuesto económico de la obra
3. Fase de funcionamiento
 - 3.1. Navegación
 - 3.2. Edificios-servicio club
 - 3.3. Actividades comerciales
 - 3.4. Actividades industriales (reparaciones)
 - 3.5. Actividades sociales
 - 3.6. Actividades educativas
 - 3.7. Viales-tráfico
 - 3.8. Abastecimiento agua
 - 3.9. Saneamiento
 - 3.10. Vertidos al mar
 - 3.11. Residuos líquidos (aceite)
 - 3.12. Afluencia de visitantes
 - 3.13. Coste Anual de explotación y mantenimiento
 - 3.14. Accidentes propios de funcionamiento (empleo, riesgos de accidente)
 - 3.15. Acciones inducidas
 - 3.15.1. Aparición de urbanizaciones
 - 3.15.2. Incremento del valor del suelo
 - 3.15.3. Incremento del suelo
 - 3.15.4. Incremento del comercio de la zona
 - 3.15.5. Edificios náuticos auxiliares

Modelo de valoración cualitativa completa

A la hora de valorar cualitativamente un impacto se hace uso de un modelo completo, según la siguiente tabla de valores asignados a las características de cada impacto.

VALORACIÓN CUALITATIVA COMPLETA	
SIGNO	ACUMULACIÓN (A)
Impacto beneficioso: +	Simple: 1
Impacto perjudicial: -	Acumulativo: 3

	Sinérgico: 6
EXTENSIÓN (E)	INTENSIDAD (IN)
Puntual: 1 Parcial: 2 Extenso: 4 Total: 6 Crítica: +4	Baja: 1 Media: 4 Alta: 4 Muy alta: 6 Total: 10
PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (RV)
Fugaz: 1 Temporal: 2 Permanente: 4	Corto plazo: 1 Medio plazo: 2 Largo plazo: 3 Irreversible: 4
RECUPERABILIDAD (RC)	PERIODICIDAD (PR)
Recuperable inmediatamente: 1 Recuperable a medio plazo: 2 Mitigable: 4 Recuperable a largo plazo: 6 Irrecuperable: 8	Aperiódico o discontinuo: 1 Periódico: 2 Continuo: 4
MOMENTO (MO)	EFEECTO (EF)
Largo plazo: 1 Medio plazo: 2 Inmediato: 4 Crítico: +4	Directo: 3 Indirecto secundario: 2 Indirecto terciario: 1

Funciones de transformación

Se ha considerado el siguiente listado de funciones de transformación a utilizar durante la valoración cuantitativa de un impacto ambiental. Se incluye una colección de las más comunes, las de mayor uso, para tal efecto.

Lineal creciente:

$$y = \frac{x - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}}$$

Lineal decreciente:

$$y = \frac{\text{Max} - x}{\text{Max} - \text{Min}}$$

Parabólica creciente I:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot \text{Max} \cdot x + \text{Min}^2 - 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica decreciente I:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot \text{Max} \cdot x + \text{Max}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica creciente II:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot \text{Min} \cdot x + \text{Min}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica decreciente II:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot \text{Min} \cdot x + \text{Max}^2 - 2 \cdot \text{Min} \cdot \text{Max}}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica doble creciente I:

$$y = \begin{cases} \frac{-2x^2 + 2(Max - Min) \cdot x - 2 \cdot Max \cdot Min}{(Max - Min)^2} & \text{si } Min \leq x \leq \frac{Max + Min}{2} \\ \frac{2x^2 - 2(Max - Min) \cdot x + 2 \cdot Max \cdot Min}{(Max - Min)^2} & \text{si } \frac{Max + Min}{2} \leq x \leq Max \end{cases}$$

Parabólica doble decreciente I:

$$y = \begin{cases} \frac{2x^2 - 2(Max - Min) \cdot x + 2 \cdot Max \cdot Min}{(Max - Min)^2} + 1 & \text{si } Min \leq x \leq \frac{Max + Min}{2} \\ \frac{-2x^2 + 2(Max - Min) \cdot x - 2 \cdot Max \cdot Min}{(Max - Min)^2} & \text{si } \frac{Max + Min}{2} \leq x \leq Max \end{cases}$$

Parabólica doble creciente II:

$$y = \begin{cases} \frac{2x^2 - 4 \cdot Min \cdot x + 2Min^2}{(Max - Min)^2} & \text{si } Min \leq x \leq \frac{Max + Min}{2} \\ \frac{-2x^2 + 4 \cdot Max \cdot x - 2Max^2}{(Max - Min)^2} + 1 & \text{si } \frac{Max + Min}{2} \leq x \leq Max \end{cases}$$

Parabólica doble decreciente II:

$$y = \begin{cases} \frac{-2x^2 + 4 \cdot Min \cdot x - 2Min^2}{(Max - Min)^2} + 1 & \text{si } Min \leq x \leq \frac{Max + Min}{2} \\ \frac{2x^2 - 4 \cdot Max \cdot x + 2Max^2}{(Max - Min)^2} & \text{si } \frac{Max + Min}{2} \leq x \leq Max \end{cases}$$

Máximo intermedio:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot a \cdot x + Min^2 - 2 \cdot a \cdot Min}{(a - Min)^2}$$

Mínimo intermedio:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot a \cdot x + a^2}{(a - Min)^2}$$

Umbral creciente:

$$y = \begin{cases} 0 & \text{si } Min \leq x < Umbral \\ 1 & \text{si } Umbral \leq x \leq Max \end{cases}$$

Umbral decreciente:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{si } Min \leq x < Umbral \\ 0 & \text{si } Umbral \leq x \leq Max \end{cases}$$

Implementación

El sistema se ha modelado utilizando *Java SE 6* de *Sun Microsystems* como lenguaje de implementación, sobre *Eclipse Europa* como entorno de desarrollo integrado.



Figura 12: Logotipos de entorno Eclipse y de tecnología Java

La elección de dicho lenguaje de implementación es debida a la versatilidad y compatibilidad multiplataforma que ofrece Java. Además se ofrece bajo la licencia GNU GPL, es decir, software libre.

Además de las librerías estándar de dicha tecnología, se han utilizado otras para ampliar la funcionalidad del desarrollo. Entre estas tecnologías cabe destacar *jfreechart*, en su versión 1.0.11, utilizada para la obtención de representaciones gráficas de funciones, o *JasperReports*, que se tratará en apartados siguientes, para la obtención de reportes.

El sistema ha sido desarrollado según el siguiente diagrama, en el que se pueden apreciar las partes del mismo, que a continuación se irán detallando en profundidad, orientadas a la implementación realizada (packages), así como la relación entre las mismas.

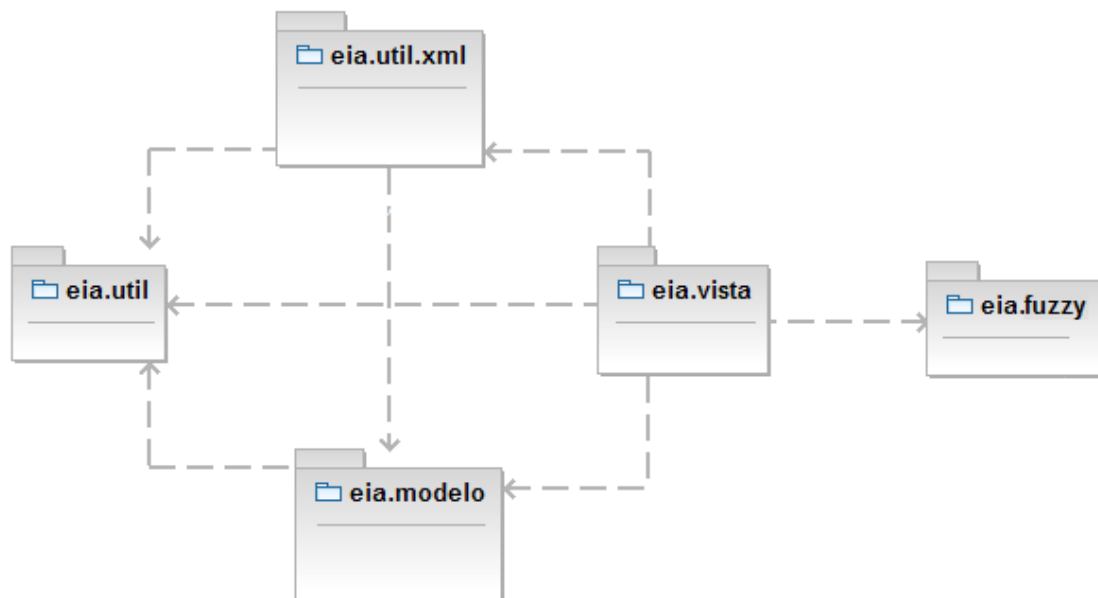


Figura 13: Diagrama del sistema orientado a la implementación (packages)

Modelo.

El modelo del sistema se engloba bajo el package *eia.modelo*. Se ha implementado según el siguiente diagrama de clases simplificado, en el que podemos ver las clases desarrolladas, sus atributos y la relaciones entre ellas.

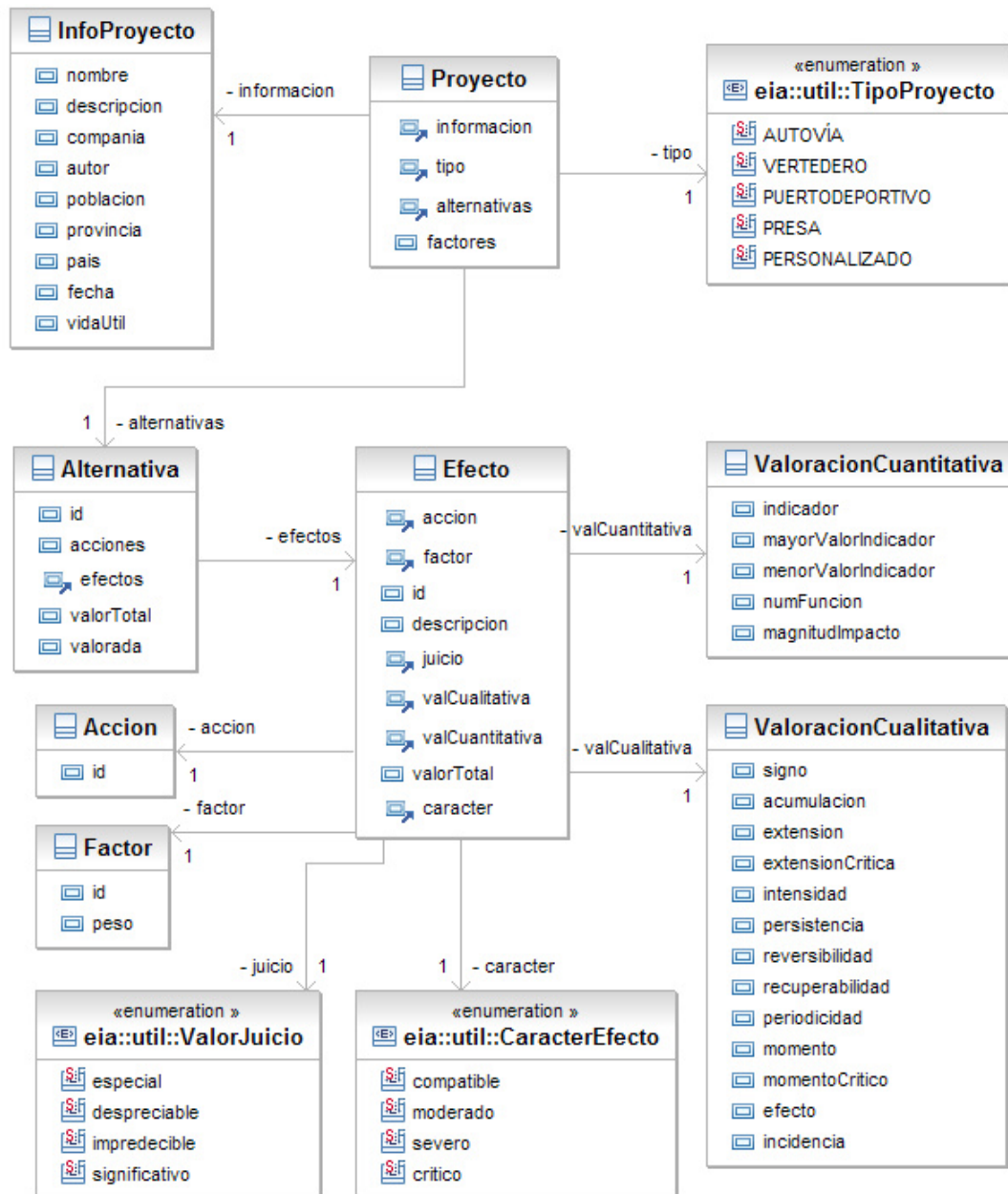


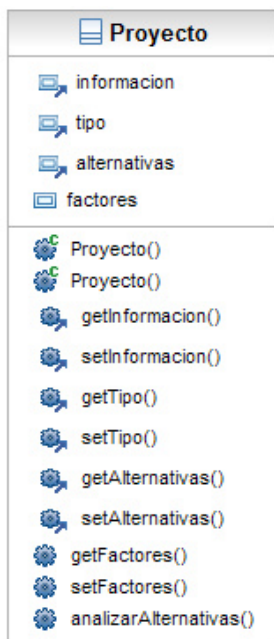
Figura 14: Diagrama UML simplificado del modelo de datos del sistema

Se han añadido los tipos definidos (*enumeration*), incluidos en el package *eia.util*, para facilitar la comprensión general del sistema:

- *ValorJuicio*.
- *CaracterEfecto*.
- *TipoProyecto*.

A continuación se detallan en profundidad cada una de las clases implementadas.

Proyecto

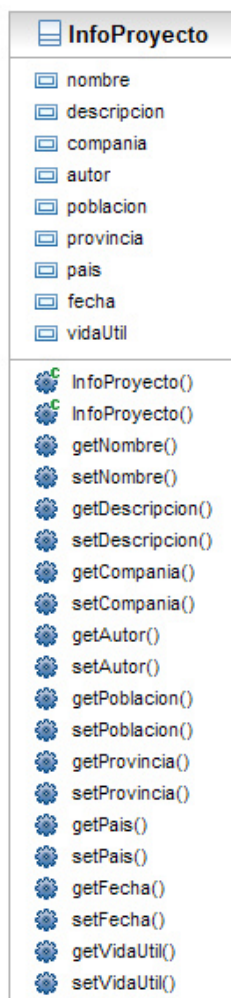


La clase Proyecto está compuesta por cuatro atributos:

- *informacion*: variable de tipo *InfoProyecto* que contiene la ficha general de datos del proyecto.
- *tipo*: variable de tipo definido *TipoProyecto* que indica el ámbito de aplicación del proyecto.
- *alternativas*: variable de tipo *ArrayList* de *Alternativa*, que representa el listado de alternativas de realización de las que consta el proyecto de EIA.
- *factores*: variable de tipo *DefaultTreeModel* que representa el árbol de factores ambientales considerados.

Todas las funciones implementadas son métodos *getters* y *setters* de los atributos indicados.

InfoProyecto

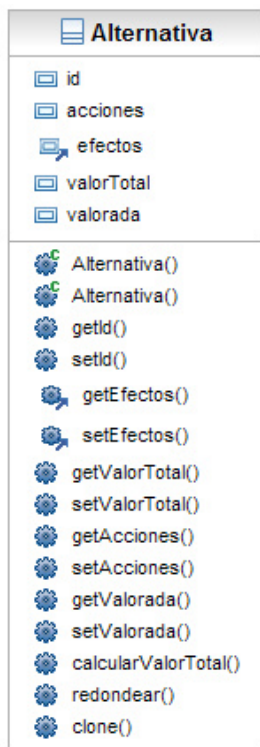


La clase *InfoProyectoTexto* está compuesta por los siguientes atributos:

- *nombre*: variable de tipo *String* que representa el nombre identificativo del proyecto de EIA.
- *descripcion*: variable de tipo *String* que representa una breve descripción del proyecto de EIA.
- *compañía*: variable de tipo *String* para indicar la compañía propietaria del proyecto de EIA.
- *autor*: variable de tipo *String* para indicar el autor propietario del proyecto de EIA.
- *poblacion*: variable de tipo *String* para indicar la población de realización del proyecto de EIA.
- *provincia*: variable de tipo *String* para indicar la provincia de realización del proyecto de EIA.
- *pais*: variable de tipo *String* para indicar el país de realización del proyecto de EIA.
- *fecha*: variable de tipo *Date* que indica la fecha de la última modificación del proyecto de EIA.
- *vidaUtil*: variable de tipo *int* que indica la duración útil (vida) en meses del proyecto de EIA.

Todas las funciones implementadas son métodos *getters* y *setters* de los atributos indicados.

Alternativa



La clase *Alternativa* está compuesta por los siguientes atributos:

- *id*: variable de tipo *String* que indica el nombre identificativo de la alternativa de realización.
- *acciones*: variable de tipo *DefaultTreeModel*, que representa el árbol de acciones de la alternativa de realización.
- *efectos*: variable de tipo *ArrayList* de *Efecto*, que representa la lista de efectos/impactos asociados a la alternativa de realización.
- *valorTotal*: variable de tipo *double* que indica el valor total de impacto ambiental de la alternativa de realización.
- *valorada*: variable de tipo *boolean* que indica si la alternativa ha sido valorada.

Además de los *getters* y *setters* de los atributos indicados, cabe destacar la función *calcularValorTotal()*, para calcular la valoración total de impacto de la alternativa según las fórmulas teóricas indicadas anteriormente.

Acción



La clase *Acción* está compuesta por un único atributo:

- *id*: variable de tipo *String* que indica el nombre identificativo de la acción de proyecto.

Las funciones implementadas son *get* y *set* del atributo indicado, y una función *toString()* de apoyo a la muestra de datos de la clase.

Factor

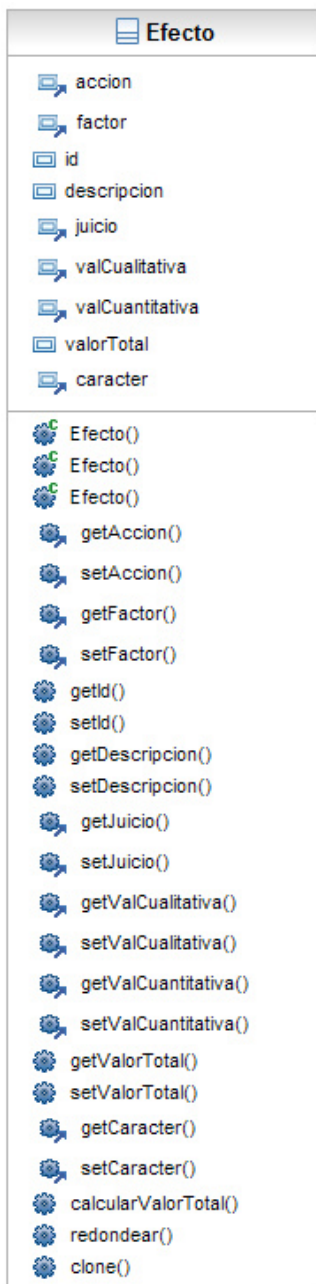


La clase *Factor* está compuesta por los siguientes atributos:

- *id*: variable de tipo *String* que indica el nombre identificativo del factor ambiental.
- *peso*: variable de tipo *int* que indica el valor de peso del factor ambiental.

Las funciones implementadas son *getters* y *setters* de los atributos considerados, y una función *toString()* de apoyo a la muestra de datos de la clase.

Efecto



La clase *Efecto* está compuesta por los siguientes atributos:

- *accion*: variable de tipo *Accion* que representa la acción de proyecto asociada al efecto/impacto.
- *factor*: variable de tipo *Factor* que representa el factor ambiental asociado al efecto/impacto.
- *id*: variable de tipo *String* que indica el nombre identificativo del efecto ambiental.
- *descripcion*: variable de tipo *String* que indica una breve descripción de las características del efecto considerado.
- *juicio*: variable de tipo *ValorJuicio* que indica el valor por simple enjuiciamiento del efecto ambiental considerado.
- *valCualitativa*: variable de tipo *ValoracionCualitativa* que representa la valoración cualitativa del impacto considerado.
- *valCuantitativa*: variable de tipo *ValoracionCuantitativa* que representa la valoración cuantitativa del impacto considerado.
- *valorTotal*: variable de tipo *double* que indica el valor total de impacto ambiental del efecto ambiental.
- *caracter*: variable de tipo *CaracterEfecto* que indica el carácter del impacto ambiental.

Además de los *getters* y *setters* de los atributos indicados, cabe destacar la función *calcularValorTotal()*, para calcular la valoración total de impacto del efecto (impacto) ambiental considerado, según las fórmulas teóricas indicadas anteriormente.

Valoración cualitativa



La clase *ValoracionCualitativa* está compuesta por los siguientes atributos:

- *signo*: variable de tipo *int* que indica el signo asociado al efecto/impacto: positivo o negativo.
- *acumulacion*: variable de tipo *int* que indica el valor de acumulación asociada al efecto/impacto: simple, acumulativo o sinérgico.
- *extension*: variable de tipo *int* que indica el valor de extensión (área de influencia) asociada al efecto/impacto: puntual, parcial, extenso o total.
- *extensionCritica*: variable de tipo *int* que indica el valor de la extensión crítica (área de influencia) asociada al efecto/impacto: crítica o no crítica.
- *intensidad*: variable de tipo *int* que indica el valor de intensidad (grado de destrucción) asociada al efecto/impacto: baja, media, alta, muy alta o total.
- *persistencia*: variable de tipo *int* que indica el valor de persistencia asociada al efecto/impacto: fugaz, temporal o permanente.
- *reversibilidad*: variable de tipo *int* que indica el valor de reversibilidad asociada al efecto/impacto: corto plazo, medio plazo, largo plazo o irreversible.
- *recuperabilidad*: variable de tipo *int* que indica el valor de recuperabilidad (medios humanos) asociada al efecto/impacto: inmediata, medio plazo, mitigable, largo plazo o irrecuperable.
- *periodicidad*: variable de tipo *int* que indica el valor de periodicidad asociada al efecto/impacto: discontinuo, periódico o continuo.
- *momento*: variable de tipo *int* que indica el valor del momento (plazo de manifestación) asociado al efecto/impacto: inmediato, medio plazo o largo plazo.
- *momentoCritico*: variable de tipo *int* que indica el valor del momento crítico (plazo de manifestación) asociado al efecto/impacto: crítico o no crítico.
- *efecto*: variable de tipo *int* que indica el valor de efecto asociado al efecto/impacto: directo, indirecto secundario o indirecto terciario.
- *incidencia*: variable de tipo *int* que indica el valor de impacto (importancia) del efecto según valoración cualitativa.

Además de los *getters* y *setters*, se han incluido funciones de cálculo.

Valoración cuantitativa

ValoracionCuantitativa	
indicador	
mayorValorIndicador	
menorValorIndicador	
numFuncion	
magnitudImpacto	
ValoracionCuantitativa()	
getIndicador()	
setIndicador()	
getMayorValorIndicador()	
setMayorValorIndicador()	
getMenorValorIndicador()	
setMenorValorIndicador()	
getMagnitudImpacto()	
setMagnitudImpacto()	
getNumFuncion()	
setNumFuncion()	
linealCreciente()	
linealDecreciente()	
parabolica1Creciente()	
parabolica1Decreciente()	
parabolica2Creciente()	
parabolica2Decreciente()	
parabolicaDoble1Creciente()	
parabolicaDoble1Decreciente()	
parabolicaDoble2Creciente()	
parabolicaDoble2Decreciente()	
maximoIntermedio()	
minimoIntermedio()	
umbralCreciente()	
umbralDecreciente()	
calcularValoracion()	
calcularFuncion()	
redondear()	
clone()	
numFuncionTransformacion()	
nombreFuncionTransformacion()	

La clase *ValoracionCuantitativa* está compuesta por los siguientes atributos:

- *indicador*: variable de tipo *double* que indica que indica la magnitud del impacto en unidades heterogéneas.
- *mayorValorIndicador*: variable de tipo *double* que indica el mayor valor que podrá tomar el indicador del impacto.
- *menorValorIndicador*: variable de tipo *double* que indica el menor valor que podrá tomar el indicador del impacto.
- *numFuncion*: variable de tipo *double* que indica el número del listado de la función de transformación aplicada para el cálculo de la magnitud.
- *magnitudImpacto*: variable de tipo *double* que indica el valor del impacto por valoración cuantitativa.

Además de los *getters* y *setters* de los atributos indicados y para el cálculo de la valoración cuantitativa, se han implementado métodos para el cálculo de cada una de las funciones de transformación consideradas.

Para un mayor detalle de la implementación del modelo seguida, se ha generado la documentación *javaDoc* correspondiente al mismo, que se puede consultar en el directorio `/doc` contenido en el raíz de la aplicación, en la versión para desarrolladores.

XML.

El almacenamiento de la información es una parte importante dentro del diseño y la implementación de un proyecto. Entre todas las alternativas de las que disponíamos al final decidimos utilizar archivos XML. Las razones son bastante sencillas:

- Se concentra toda la información relativa a un determinado proyecto en un solo elemento.
- Mayor portabilidad para un proyecto, haciendo más fácil su manejo y su intercambio.
- Posibilidad de generación de informes con tecnologías como JasperReports y consultas con XPath/XQuery.
- La información puede reutilizarse cómodamente si se desarrollase una versión Web de nuestro sistema.

Así, una vez diseñado el modelo de datos, construimos la DTD que describe un archivo XML para un proyecto. A continuación se explica la composición de la misma.

```
<!ELEMENT proyectoEIA (nombre, descripcion, promotor, redactor, fecha, vidaUtil, poblacion, provincia, pais, tipo, listaAlternativas, listaFactores)>
```

```
<!ELEMENT nombre (#PCDATA)>
<!ELEMENT descripcion (#PCDATA)>
<!ELEMENT promotor (#PCDATA)>
<!ELEMENT redactor (#PCDATA)>
<!ELEMENT fecha (dia, mes, anio)>
  <!ELEMENT dia (#PCDATA)>
  <!ELEMENT mes (#PCDATA)>
  <!ELEMENT anio (#PCDATA)>
<!ELEMENT vidaUtil (#PCDATA)>
<!ELEMENT poblacion (#PCDATA)>
<!ELEMENT provincia (#PCDATA)>
<!ELEMENT pais (#PCDATA)>
<!ELEMENT tipo (#PCDATA)>
<!ELEMENT listaAlternativas (alternativaProyEIA)*>
<ELEMENT listaFactores (factor)+>
  <!ELEMENT factor (nombreFactor,peso?,listaFactores?)>
  <!ELEMENT nombreFactor (#PCDATA)>
  <!ELEMENT peso (#PCDATA)>

<ELEMENT alternativaProyEIA (nombreAlt, listaPrincipalAcciones, listaEfectos, valorTotalAlternativa?, valorada)>
<ELEMENT nombreAlt (#PCDATA)>
  <ATTLIST nombreAlt
    generica (true|false) "false">
<ELEMENT listaPrincipalAcciones (accion)+>
  <ELEMENT accion (nombreAccion,listaAcciones?)>
  <ELEMENT listaAcciones (accion)+>
  <ELEMENT nombreAccion (#PCDATA)>

<ELEMENT listaEfectos (efecto)*>
<ELEMENT efecto (idEfecto, descripcion, caracter?, idAccion, idFactor, valorSimpleEnjuiciamiento?, valorCuantitativo?,valorCualitativo?, valorTotal?)>
  <ELEMENT idEfecto (#PCDATA)>
  <ELEMENT caracter (#PCDATA)>
  <ELEMENT idAccion (#PCDATA)>
  <ELEMENT idFactor (#PCDATA)>
  <ELEMENT valorTotal (#PCDATA)>
  <ELEMENT valorSimpleEnjuiciamiento (#PCDATA)>
  <ELEMENT valorCuantitativo (indicador, maxVal, minVal, funcionTransformacion, magnitud)>
    <ELEMENT indicador (#PCDATA)>
    <ELEMENT maxVal (#PCDATA)>
```

```

<!ELEMENT minVal (#PCDATA)>
<!ELEMENT funcionTransformacion (#PCDATA)>
<!ELEMENT magnitud (#PCDATA)>
<!ELEMENT valorCualitativo (signo, acumulacion, extension, extensionCritica, intensidad,
persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, momento, momentoCritico, efectoImp,
incidencia)>
  <!ELEMENT signo (#PCDATA)>
  <!ELEMENT acumulacion (#PCDATA)>
  <!ELEMENT extension (#PCDATA)>
  <!ELEMENT extensionCritica (#PCDATA)>
  <!ELEMENT intensidad (#PCDATA)>
  <!ELEMENT persistencia (#PCDATA)>
  <!ELEMENT reversibilidad (#PCDATA)>
  <!ELEMENT recuperabilidad (#PCDATA)>
  <!ELEMENT periodicidad (#PCDATA)>
  <!ELEMENT momento (#PCDATA)>
  <!ELEMENT momentoCritico (#PCDATA)>
  <!ELEMENT efectoImp (#PCDATA)>
  <!ELEMENT incidencia (#PCDATA)>

  <!ELEMENT valorada (#PCDATA)>
<!ELEMENT valorTotalAlternativa (#PCDATA)>

```

Por un lado, tenemos la información general de un proyecto de Evaluación del Impacto Ambiental, que está compuesta de las siguientes partes:

- Información general, en la que se especifica su nombre, descripción, promotor, fecha, localización geográfica y vida útil.
- Lista de alternativas para ese proyecto.
- Lista de factores (que son comunes a todas las alternativas).

Cada alternativa está compuesta de los siguientes elementos:

- Nombre de la misma.
- Lista de acciones.
- Lista de efectos identificados.
- Si está valorada o no.

Cada acción perteneciente a la lista de acciones de una alternativa contiene la siguiente información:

- Nombre de la acción.
- Lista de subacciones, las cuales se componen de un nombre y lista de más subacciones si tienen.

Los efectos que contiene la lista de efectos que se identifican en una alternativa están definidos por:

- Identificador de efecto y descripción del mismo.
- Carácter del efecto.
- Identificadores de acción y factor que dan lugar al efecto.
- Valoraciones cualitativa, cuantitativa (con sus distintos parámetros) y simple enjuiciamiento.
- Valoración total de la alternativa.

En el caso de nuestro sistema también disponemos de plantillas para cuatro tipos de proyectos, como son autovía, presa, puerto deportivo y vertedero.

Estas plantillas contienen las listas de acciones comunes para cada tipo de proyecto y en general, para todas las alternativas que se puedan dar del mismo. La DTD que define estas listas de acciones es la siguiente:

```
<!ELEMENT listaAcciones (accion)+>
  <!ELEMENT accion (nombreAccion,listaAcciones?)>
  <!ELEMENT nombreAccion (#PCDATA)>
```

Una vez explicada la estructura de los archivos donde se almacena la información de un proyecto y de las plantillas que disponemos, vamos a pasar a explicar la implementación de las clases que manejan la gestión de estos ficheros.

Para gestionar la carga y almacenamiento de la información hemos implementado dos clases en el package util.xml. Ambas heredan de la clase abstracta XMLTools contenida también en el mismo package. Para recuperar la información y guardarla hemos utilizado objetos DOM, lo cual ha facilitado bastante el trabajo.

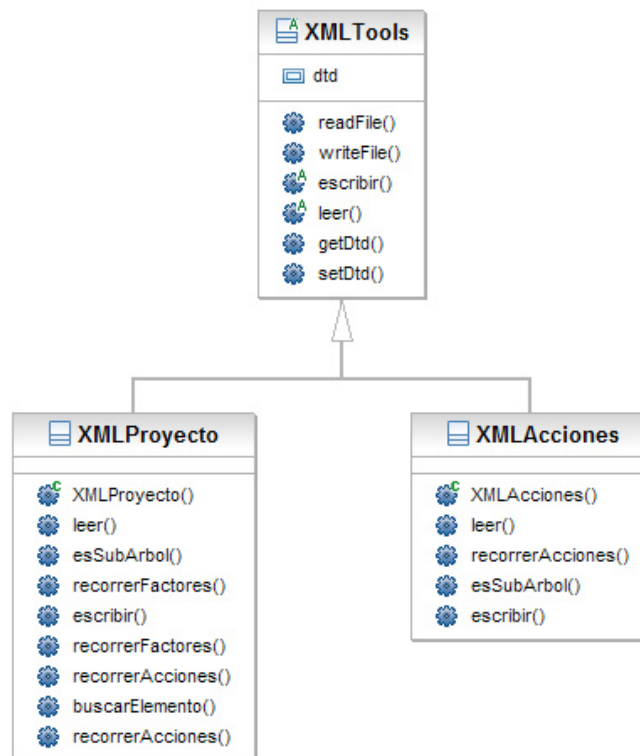


Figura 15: Diagrama UML del modelo XML del sistema

La clase abstracta XMLTools tiene los siguientes atributos y métodos:

- dtd: Cadena que contiene la DTD que describe al fichero XML.
- *Document* *readFile(String filename)*: Lee un fichero XML y lo almacena en un objeto de la clase Document.
- *void* *writeFile(Document doc, String filename)*: Recibe un document y una ruta de fichero y almacena el contenido del Document en el fichero especificado.

- *abstract void escribir(Object o, String archivo)*: Método abstracto que dado un objeto lo escribe en un archivo XML. Se implementa en las clases que hereden de XMLTools.
- *abstract Object leer(String filename)*: Método que lee el contenido de un fichero XML y lo guarda en un objeto. Se implementa en las clases que hereden de XMLTools.

La clase XML Proyecto tiene los siguientes métodos:

- *XMLProyecto(String dtd)*: Constructor de la clase. Recibe la ruta de la DTD como parámetro.
- *Proyecto leer(String filename)*: Recupera un proyecto con la información almacenada en el documento XML. Para almacenar las listas de factores y de acciones que tienen estructura de árbol, se ha utilizado un algoritmo recursivo llamado recorrerFactores y recorrerAcciones respectivamente que se explicará más adelante.
- *void escribir(Object o, String archivo)*: Método que almacena información de un proyecto en un fichero XML .
- *Object buscarElemento(DefaultTreeModel arbol, String id)*: Método privado que dado un árbol (bien de acciones o de factores) y un id (de acción o de factor), devuelve el elemento en cuestión si está y null en caso contrario.
- *boolean esSubArbol(DefaultMutableTreeNode arbolH, DefaultMutableTreeNode arbolP)*: Método que dados dos nodos comprueba si el primero está contenido en el segundo.
- *Element recorrerAcciones(DefaultMutableTreeNode accion, Document document, int cont)*: Método privado que dado un árbol de acciones lo recorre y crea la acción correspondiente. Es recursivo y se utiliza cuando se guarda la información:
 - o Caso base: La acción no tiene lista de sub-acciones.
 - o Caso recursivo: La acción contiene lista de sub-acciones o nodos hijos, se recorre cada uno de ellos y se van anidando en la lista de acciones del documento, respetando la definición dada en la DTD.
- *Element recorrerFactores(DefaultMutableTreeNode factor, Document document, int cont)*: Método privado que dado un árbol de factores lo recorre y crea el factor correspondiente. Es recursivo y se utiliza cuando se guarda la información:
 - o Caso base: El factor no tiene lista de sub-factores.
 - o Caso recursivo: El factor contiene lista de sub-factores o nodos hijos, se recorre cada uno de ellos y se van anidando en la lista de acciones del documento, respetando la definición dada en la DTD.
- *DefaultMutableTreeNode recorrerAcciones(Element accion)*: Método privado que dado un objeto Element que representa una acción, construye un nodo para el árbol de acciones que contiene la acción en cuestión y toda su lista de sub-acciones. Es recursivo y se utiliza en el método leer de la misma clase:
 - o Caso base: Si el objeto no contiene lista de sub-acciones, se crea un nodo que contiene la acción.
 - o Caso recursivo: Se recorre cada acción de la lista de sub-acciones y se construye un nodo que contiene la acción actual y como hijos los

nodos que componen la lista de sub-acciones que han sido construidos recursivamente.

- *DefaultMutableTreeNode recorrerFactores(Element factor)*: Método privado que dado un objeto Element que representa un factor, construye un nodo para el árbol de factores que contiene el factor en cuestión y toda su lista de sub-factores. Es recursivo y se utiliza en el método leer de la misma clase:
 - o Caso base: Si el objeto no contiene lista de sub-factores, se crea un nodo que contiene el factor.
 - o Caso recursivo: Se recorre cada factor de la lista de sub-factores y se construye un nodo que contiene el factor actual y como hijos los nodos que componen la lista de sub-factores que han sido construidos recursivamente.

La clase XMLAcciones contiene los mismos métodos que la clase XMLProyecto, pero solo los correspondientes al árbol de acciones.

Existe un directorio *plantillas*, en la raíz de la aplicación, que contiene el conjunto de las DTD, así como los ficheros XML en los que se basan, que representan las plantillas de acciones genéricas según el tipo de proyecto, así como el listado de factores ambientales que se ha considerado en el modelo.

Lógica difusa.

En el proyecto desarrollado, tal y como se ha comentado anteriormente, se hace uso de la inferencia borrosa para la estimar si un efecto es impacto o no, y en tal caso, poder determinar su carácter, ya que la determinación de tales características resulta dificultosa para personal sin amplia experiencia en proyectos de EIA. Para ello, se utiliza la herramienta Xfuzzy, desarrollada por el Instituto de Microelectrónica de Sevilla, para obtener el motor de inferencia del sistema.

El entorno de desarrollo de sistemas difusos Xfuzzy combina un conjunto de herramientas que facilitan las distintas etapas del proceso de diseño de sistemas de inferencia basados en lógica difusa, desde su descripción inicial hasta la implementación final.

Inferencia de efecto/impacto

Se tratará de inferir mediante la utilización de lógica borrosa el simple enjuiciamiento de un efecto, es decir, si el mismo es despreciable o significativo (impacto). Para definir nuestro sistema partiremos inicialmente de las definiciones de los conceptos, con el fin de obtener los fuzzy-sets y las reglas que se usarán para la inferencia.

Podemos considerar las siguientes definiciones, incluidas en el libro *“Evaluación de impacto ambiental”* (ver bibliografía para más detalles):

“Efecto ambiental notable: es aquel que es significativo y al que se considera un impacto ambiental. Es aquel que se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos naturales, o de sus procesos fundamentales de funcionamiento...”.

“Efecto ambiental mínimo (despreciable): aquel que puede demostrarse que no es notable”.

A partir de las mismas podemos proceder a modelar el sistema convenientemente:

Entradas del sistema

- Modificación del medio ambiente.
- Modificación de los recursos naturales.
- Modificación de los procesos fundamentales de funcionamiento.

Salida del sistema

- Juicio del efecto (despreciable/significativo).

Tipos a considerar

Los tipos de cada uno de las variables son fuzzy-sets (conjuntos borrosos), los cuales contienen funciones de pertenencia distribuidas a lo largo del universo de discurso. En caso de las variables de entrada se ha definido el tipo *tModificación*, y para la variable de salida *tEfecto*.

Para el caso del tipo *tModificación* se ha considerado un universo de discurso en un intervalo booleano $[0,1]$, dejando la cardinalidad por defecto (valor 256), definiendo así los diferentes conjuntos borrosos “poco” o “mucho”. A continuación se muestra en detalle la definición del tipo, incluyendo la función de distribución:

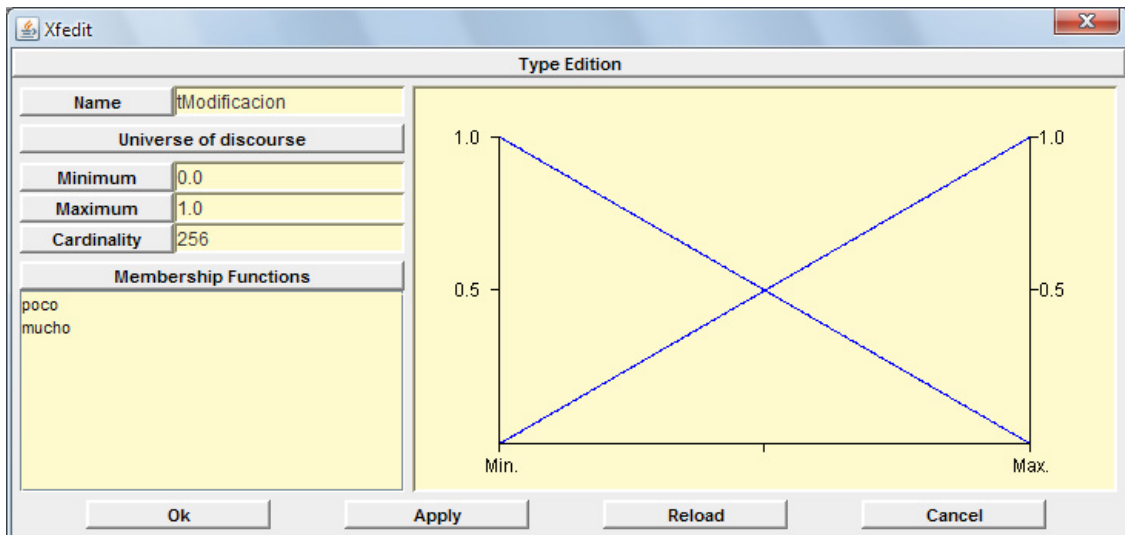


Figura 16: Conjuntos borrosos “poco” y “mucho” sobre la variable *tModificación*

En el caso del tipo *tEfecto* se ha considerado de nuevo un universo de discurso en un intervalo $[0,1]$, dejando la cardinalidad por defecto como en el caso anterior, definiendo así los conjuntos borrosos “despreciable” o “significativo”:

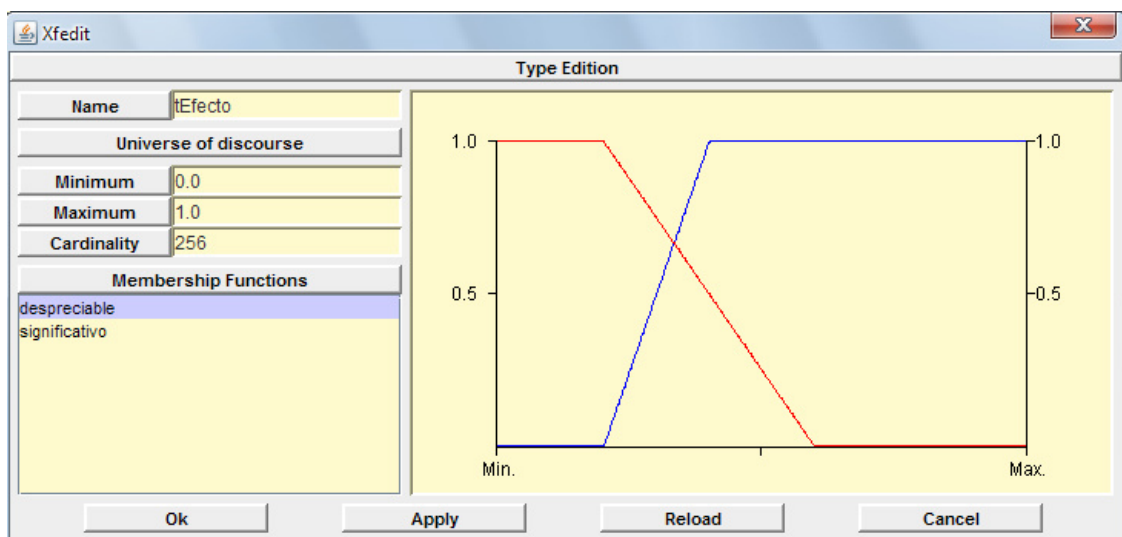


Figura 17: Conjuntos borrosos “despreciable” y “significativo” sobre la variable *tEfecto*

Reglas de inferencia

A continuación es necesario modelar el sistema de inferencia, que estará basado en reglas del tipo condicional (if ‘premisa’ then ‘conclusion’). Para nuestro caso se definen las reglas de la siguiente manera, obtenidas a partir de las definiciones teóricas indicadas anteriormente:

Rule			Premise		Conclusion
0	1.0	if	(med == poco & recs == poco & pf == poco)	->	efec = despreciable
1	1.0	if	(med == mucho recs == mucho pf == mucho)	->	efec = significativo
*					

Figura 18: Detalle de las reglas de inferencia borrosas

Como podemos apreciar en la siguiente imagen, se han creado una serie de variables de entrada y salida según los tipos definidos anteriormente, a partir de las cuales se han definido las reglas:

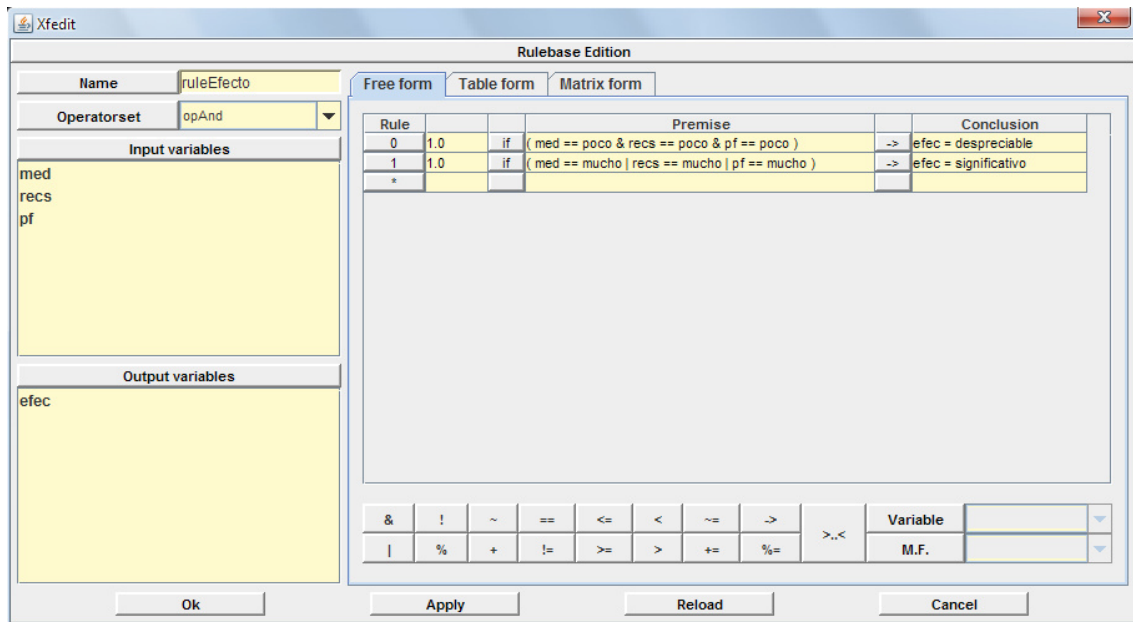


Figura 19: Reglas de inferencia borrosas

Operadores

Ahora se procede a definir el conjunto de operadores a usar, basado en la lógica del producto y de la suma, dejando el indicado en cada caso por defecto.

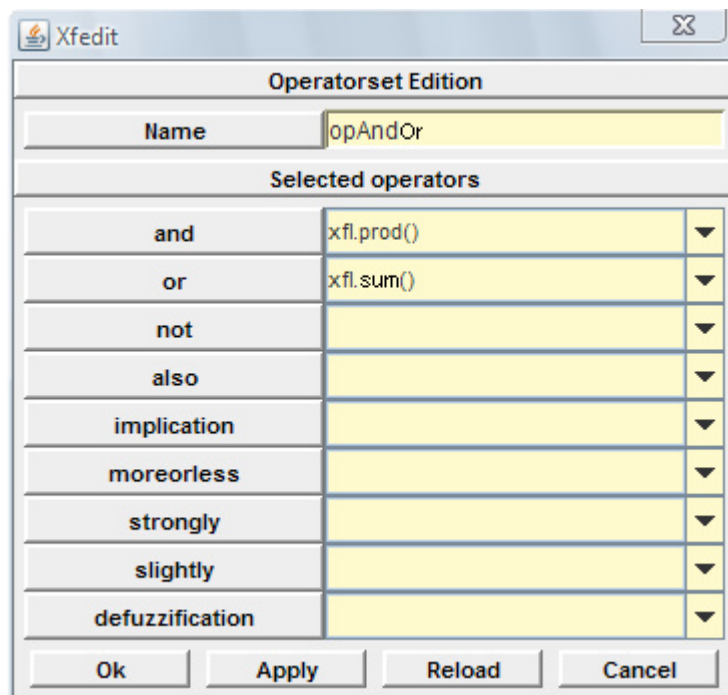


Figura 20: Elección de operadores (de t-norma y t-conorma)

Motor de inferencia

Procedemos a formalizar el motor de inferencia basado en las variables, operadores y reglas definidas anteriormente, conformando finalmente el sistema.

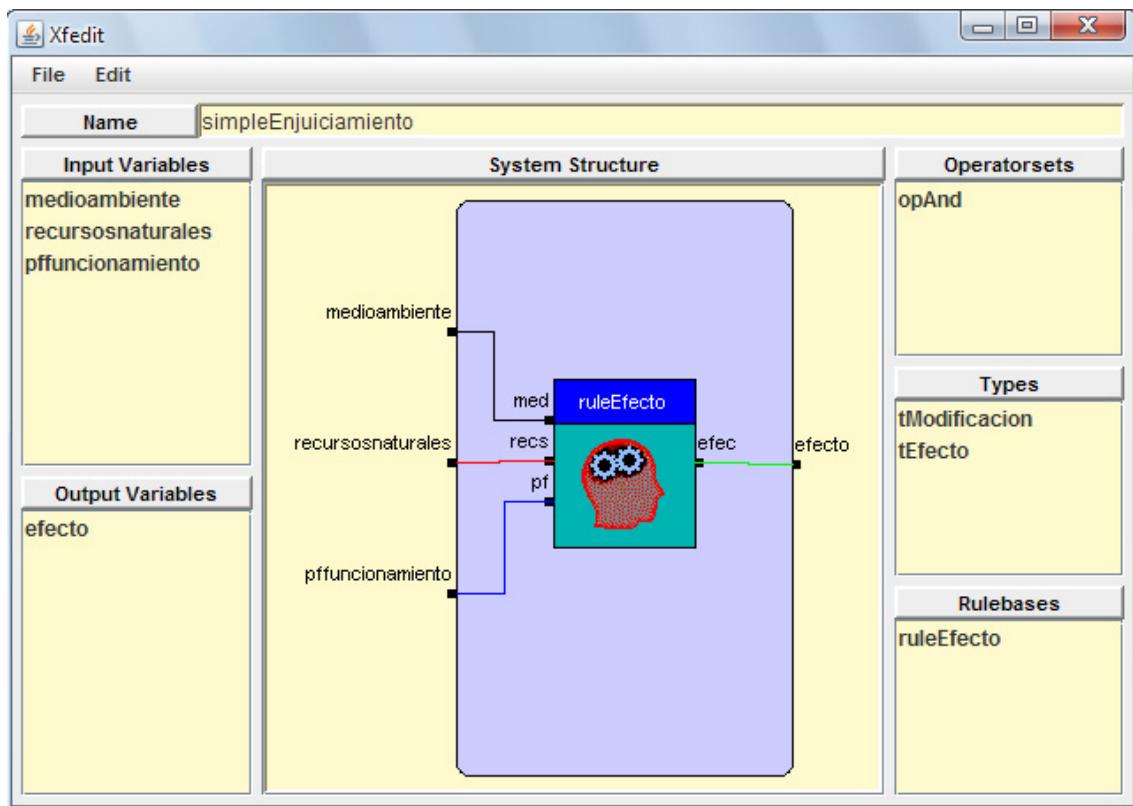


Figura 21: Motor de inferencia para aprender si es impacto o no

Finalmente se realizan una serie de pruebas de inferencia, a partir de las cuales podemos determinar el grado de pertenencia de cada regla al conjunto de salida, confirmando la correcta distribución de los mismos.

Inferencia del carácter del impacto

En este segundo caso de estudio se tratará de inferir mediante lógica borrosa el carácter de un impacto, es decir, si es compatible, moderado, severo o crítico. Para definir nuestro sistema partiremos nuevamente de las definiciones de los conceptos.

Podemos considerar las siguientes definiciones, extraídas del mismo libro que en el caso de estudio anterior:

“Impacto ambiental compatible: aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa prácticas protectoras o correctoras”.

“Impacto ambiental crítico: aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras”.

“Impacto ambiental moderado: aquel cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo”.

“Impacto ambiental severo: aquel en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa un periodo de tiempo dilatado”.

A partir de las mismas, procedemos a diseñar los fuzzy-sets y las reglas que se usarán para la inferencia.

Entradas del sistema

- Tiempo/periodo de recuperación.
- Se precisan medidas correctoras.

Salida del sistema

- Carácter del impacto (compatible/moderado/severo/crítico).

Tipos a considerar

En caso de las variables de entrada se ha definido el tipo *tRecuperacion* y *tCorrectora* y para la variable de salida *tImpacto*.

Para el caso del tipo *tRecuperacion* se ha considerado un universo de discurso en un intervalo booleano $[0,1]$, dejando la cardinalidad por defecto (valor 256), definiendo así los diferentes conjuntos borrosos “inmediata”, “dilatada” o “sin recuperación”. A continuación se muestra en detalle la definición del tipo, incluyendo la función de distribución

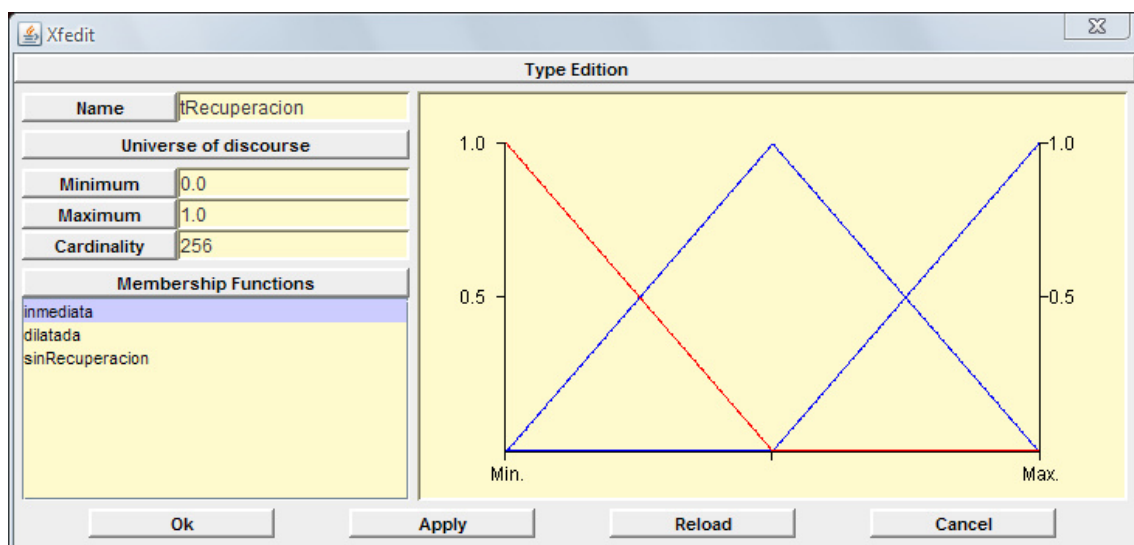


Figura 22: Conjuntos borrosos sobre el tipo *tRecuperacion*

En el caso del tipo *tCorrectora* se ha considerado de nuevo un universo de discurso en un intervalo $[0,1]$, dejando la cardinalidad por defecto como en el caso anterior, definiendo así los conjuntos borrosos “no” o “si”:

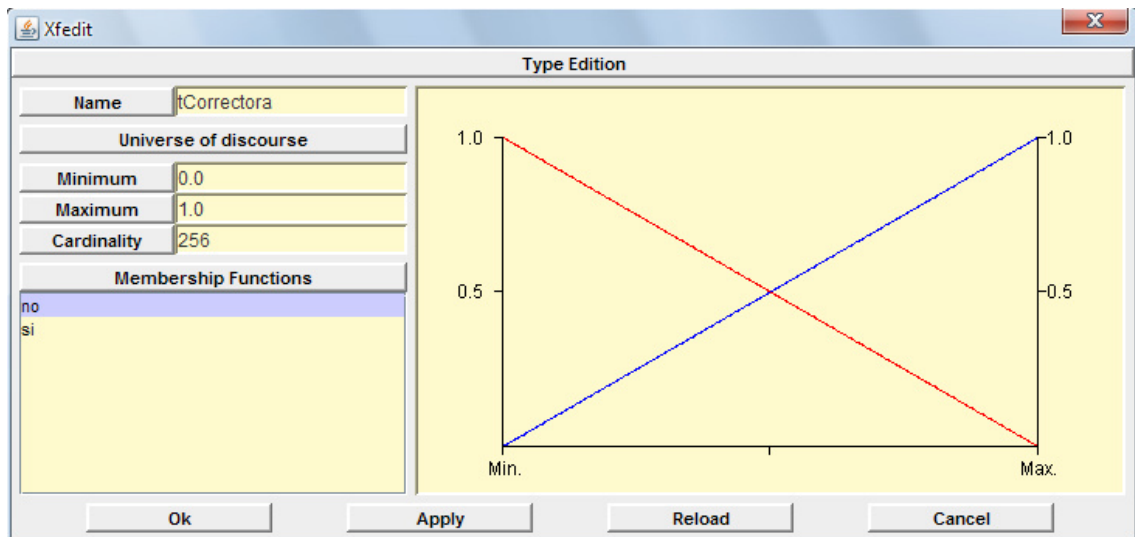


Figura 23: Conjuntos borrosos sobre el tipo tCorrectora

En el caso del tipo *tImpacto* se ha considerado un universo de discurso en un intervalo [0,1], dejando la cardinalidad por defecto como en los casos anteriores, definiendo así los conjuntos borrosos “compatible”, “moderado”, “severo” o “crítico”:

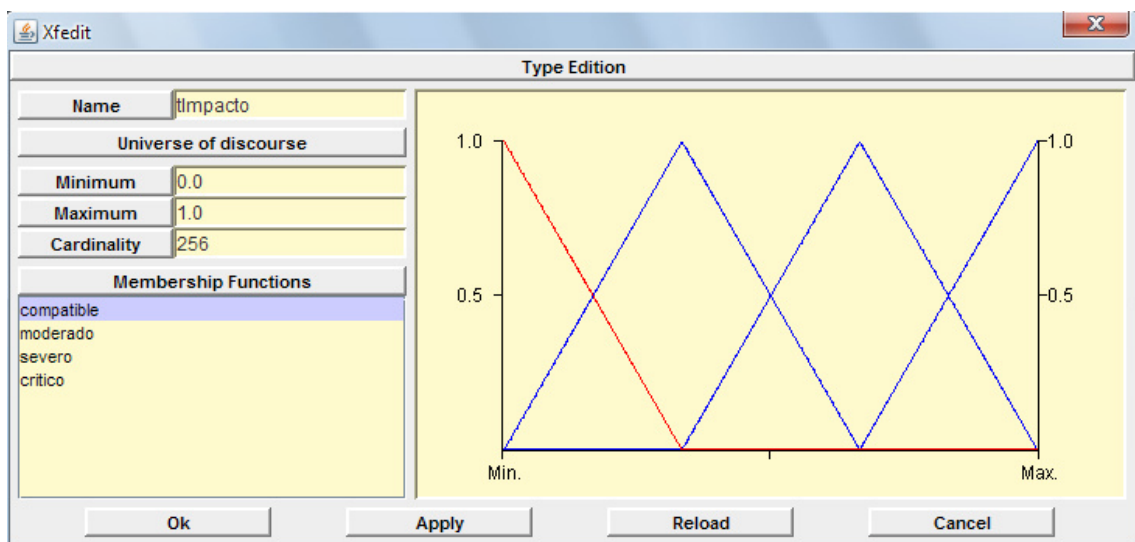


Figura 24: Conjuntos borrosos sobre el carácter del impacto

Reglas de inferencia

Se procede a modelar el sistema de inferencia, que estará basado en reglas del tipo condicional (if 'premisa' then 'conclusion'). Para nuestro caso se definen las reglas de la siguiente manera, obtenidas a partir de las definiciones teóricas anteriores:

Rule			Premise		Conclusion
0	1.0	if	(correct == no & recup == inmediata)	->	imp = compatible
1	1.0	if	(recup == sinRecuperacion)	->	imp = critico
2	1.0	if	(correct == si & recup == dilatada)	->	imp = severo
3	1.0	if	(correct == no & recup == dilatada)	->	imp = moderado
*					

Figura 25: Reglas de inferencia para aprender el carácter del impacto

En la siguiente imagen se pueden ver los detalles de las reglas de inferencia, se han creado una serie de variables de entrada y salida según los tipos definidos anteriormente:

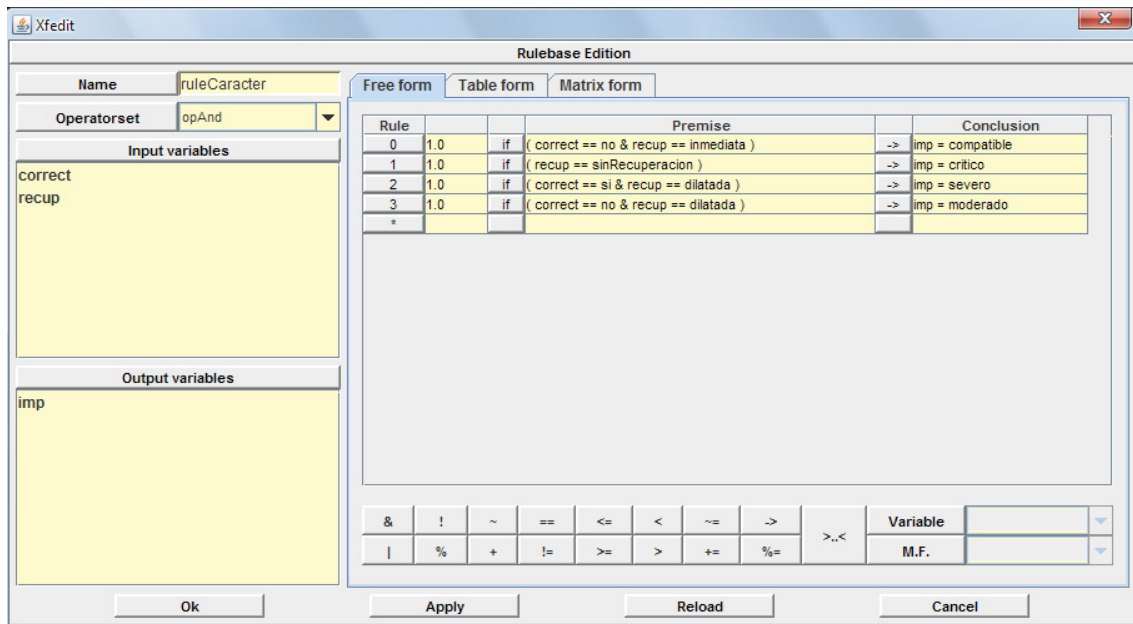


Figura 26: Reglas de inferencia borrosas

Operadores

Ahora se procede a definir el conjunto de operadores a usar, basado en la lógica del producto, dejando el indicado por defecto.

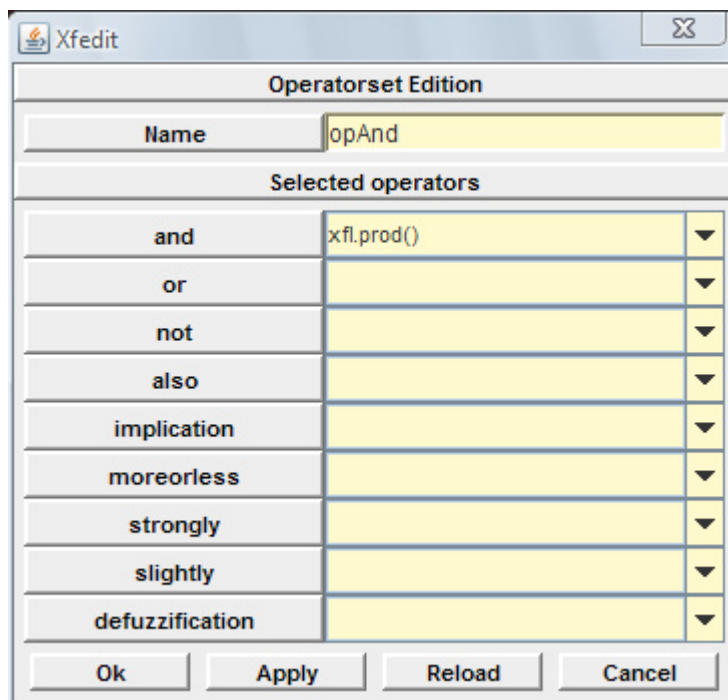


Figura 27: Elección de operadores (de t-norma y t-conorma)

Motor de inferencia

Procedemos a formalizar el motor de inferencia basado en las variables, operadores y reglas definidas anteriormente, conformando finalmente el sistema.

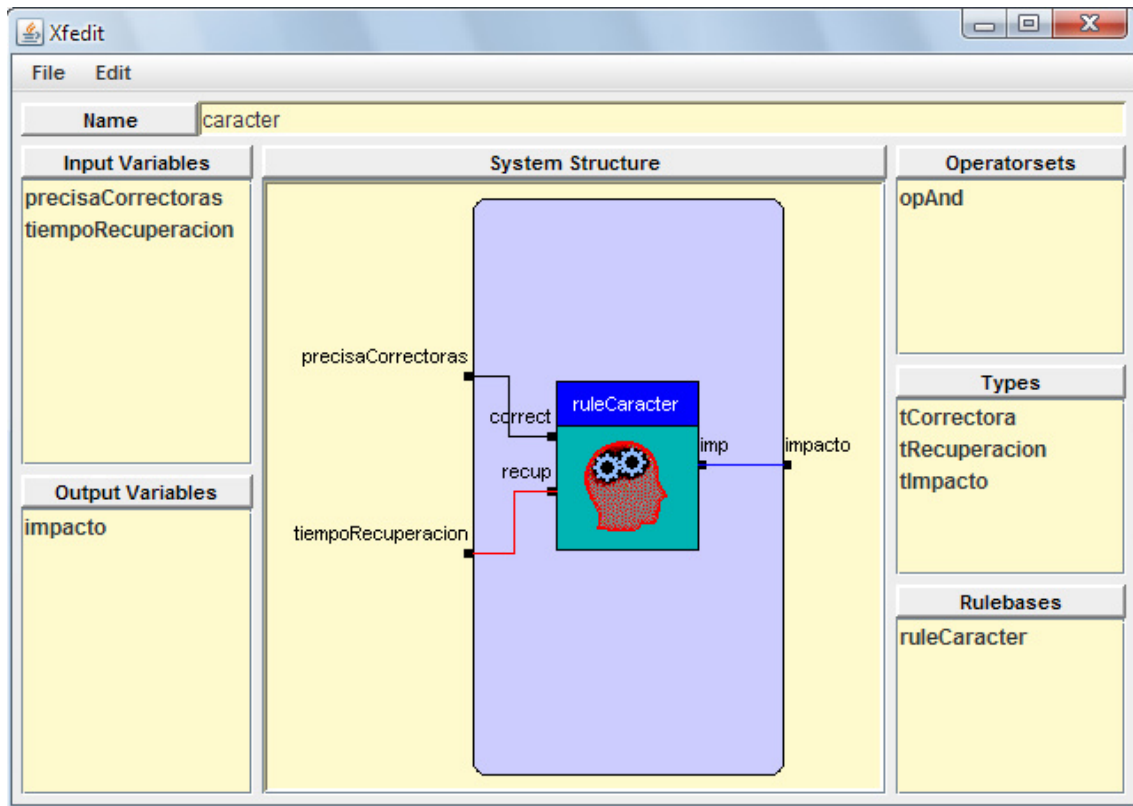


Figura 28: Motor de inferencia para aprender el carácter del impacto

Finalmente se realizan una serie de pruebas de inferencia, a partir de las cuales podemos determinar el grado de pertenencia de cada regla al conjunto de salida, confirmando la correcta distribución de los mismos.

Generación de clases java

Una vez realizado los pasos anteriores para cada una de las inferencias, Xfuzzy nos permite, mediante la herramienta xfj, la generación de un conjunto de clases java con la representación del sistema difuso, para su uso/integración en la aplicación desarrollada.

Dada la especificación de un sistema difuso en formato XFL3, la herramienta genera cuatro ficheros:

- *FuzzyInferenceEngine.java*
- *MembershipFunction.java*
- *FuzzySingleton.java*
- *nombredelsistema.java*

Los tres primeros ficheros corresponden a descripciones de dos interfaces y una clase que son comunes a todos los sistemas de inferencia difusos. El último fichero contiene la descripción específica del sistema difuso.

El fichero *FuzzyInferenceEngine.java* describe una interfaz Java que define un sistema de inferencia difuso general. Esta interfaz define cuatro métodos para implementar el proceso de inferencia con valores crisp y difusos.

```
public interface FuzzyInferenceEngine {
    public double[] crispInference(double[] input);
    public double[] crispInference(MembershipFunction[] input);
    public MembershipFunction[] fuzzyInference(double[] input);
    public MembershipFunction[] fuzzyInference(MembershipFunction[] input); }
```

El fichero *MembershipFunction.java* contiene la descripción de una interfaz usada para describir un número difuso. Contiene sólo un método, llamado compute, que calcula el grado de pertenencia para cada valor del universo de discurso del número difuso.

```
public interface MembershipFunction {
    public double compute(double x); }
```

La clase *FuzzySingleton* implementa la interfaz *MembershipFunction*, que representa un valor crisp como un número difuso.

```
public class FuzzySingleton implements MembershipFunction {
    private double value;
    public FuzzySingleton(double value) {
        this.value = value; }
    public double getValue() {
        return this.value; }
    public double compute(double x) {
        return (x==value? 1.0: 0.0); } }
```

Finalmente, el último fichero contiene la clase que describe el sistema difuso. Esta clase es una implementación de la interfaz *FuzzyInferenceEngine*. Por tanto, los métodos públicos que implementan la inferencia son los de la interfaz (*crispInference* y *fuzzyInference*).

Se ha creado un package *eia.fuzzy* que contiene las clases java generadas por Xfuzzy para cada uno de los sistemas de inferencia diseñados.

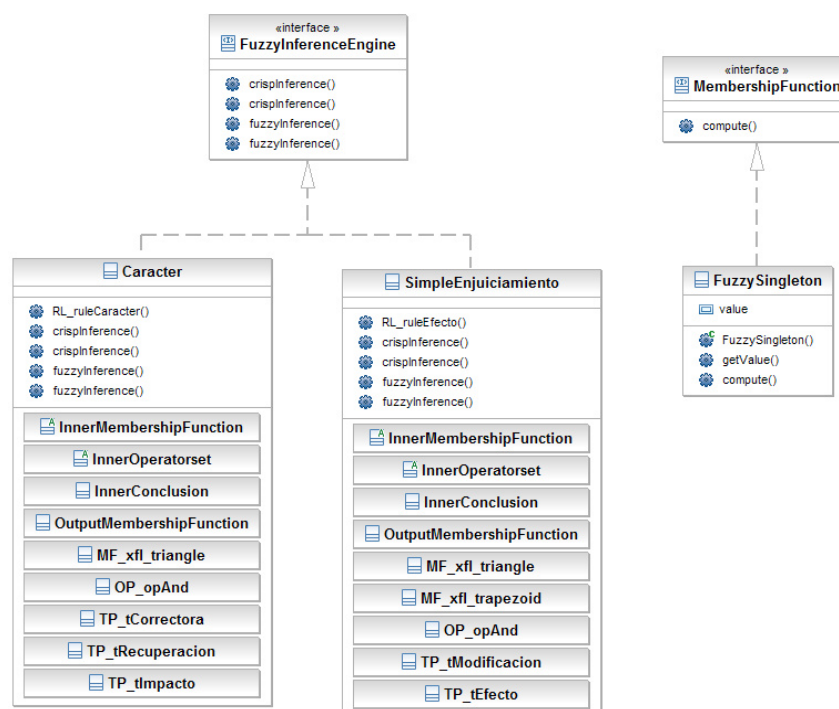


Figura 29: Diagrama UML simplificado del sistema de inferencia borroso

GUI.

Para facilitar el uso e interacción del usuario con la aplicación se ha implementado una GUI basada en la tecnología *Swing* de Java.

La metodología aplicada en los procedimientos EIA es compleja, por lo que se ha apostado por una interfaz amigable y clara, con la pretensión de que los usuarios sepan en cada momento en que punto del proceso se encuentran. Además se ha intentado marcar el camino a seguir, habilitando sólo las funciones que son aplicables en el momento actual de ejecución de la aplicación.

Java Swing

Swing es una biblioteca gráfica para Java. Incluye widgets para interfaz gráfica de usuario tales como cajas de texto, botones, desplegados y tablas. Es una plataforma independiente, *Model-View-Controller Gui framework* para Java. Sigue un simple modelo de programación por hilos, y posee las siguientes características principales:

- Independencia de plataforma.
- Extensibilidad: es una arquitectura altamente particionada: los usuarios pueden proveer sus propias implementaciones modificadas para sobrescribir las implementaciones por defecto. Se puede extender clases existentes proveyendo alternativas de implementación para elementos esenciales.
- Customizable: dado el modelo de representación programático del framework de swing, el control permite representar diferentes '*look and feel*'. Más allá, los usuarios pueden proveer su propia implementación *look and feel*, que permitirá cambios uniformes en el *look and feel* existente en las aplicaciones *Swing* sin efectuar ningún cambio al código de aplicación.

Interfaz EIA09

EIA09 presenta una interfaz basada en una serie de ventanas anidadas, facilitando su interacción manteniendo el foco en la ventana en uso. El anidamiento de ventanas da una idea de en que profundidad del proceso metodológico EIA nos encontramos. Además se ha hecho uso de un sistema de basado en colores para avisar que fases del proceso se han finalizado y cuales quedan pendientes.

Ventana principal.

Diseñada bajo un componente *JFrame* compuesto por un *JMenuBar* que contiene el menú de acciones principales del programa, y dos *JPanel*, con el panel de datos descriptivos del proyecto y con el panel de alternativas de realización. Estos paneles constan de varias *JLabel*, *JTextField*, *FButton* para representar sus opciones. En el panel de alternativas de realización se ha empleado un *JTable*, que se ha personalizado, entre otras cosas, para no permitir su edición manual.

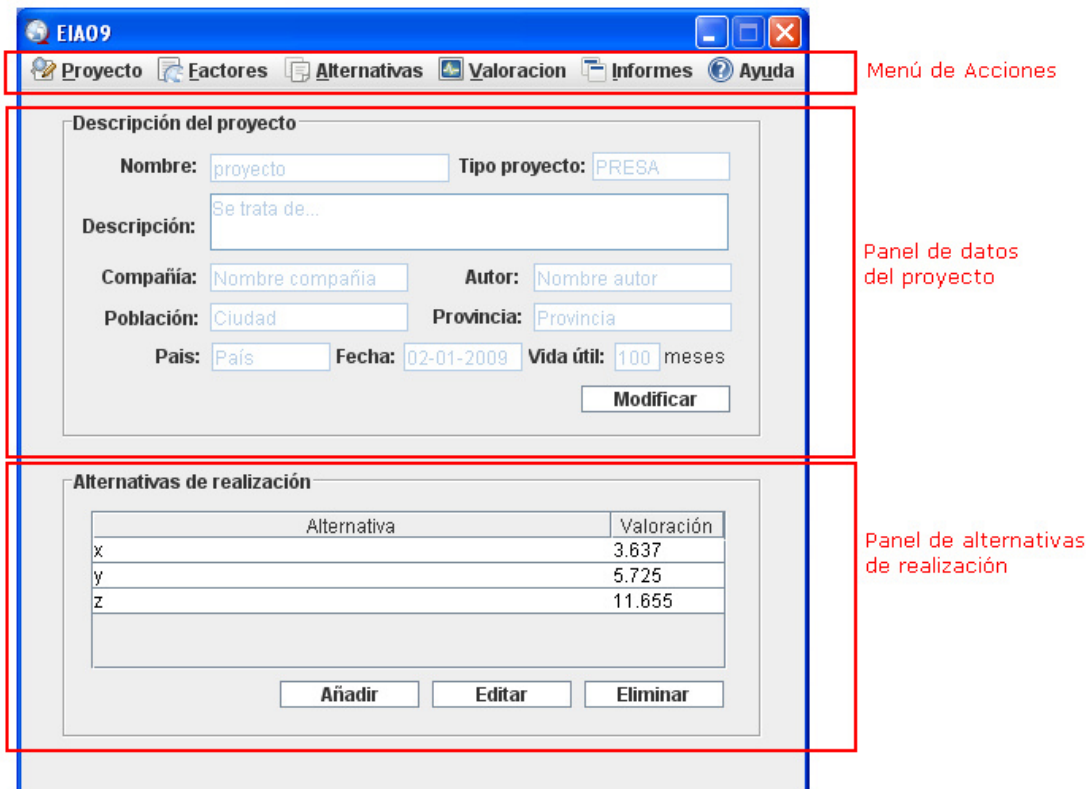


Figura 30: Ventana principal de EIA09

Ventana alternativa.

Diseñado bajo un *JDialog*, que está compuesto por cuatro paneles *JPanel*: el panel de acciones, el de factores, el de efectos y el de valoración. En el panel de acciones y en el de factores, encontramos un *JTree* para mostrar el árbol de acciones y factores respectivamente. El panel de efectos contiene un *JTable* similar al del panel de alternativas de realización de la ventana principal.

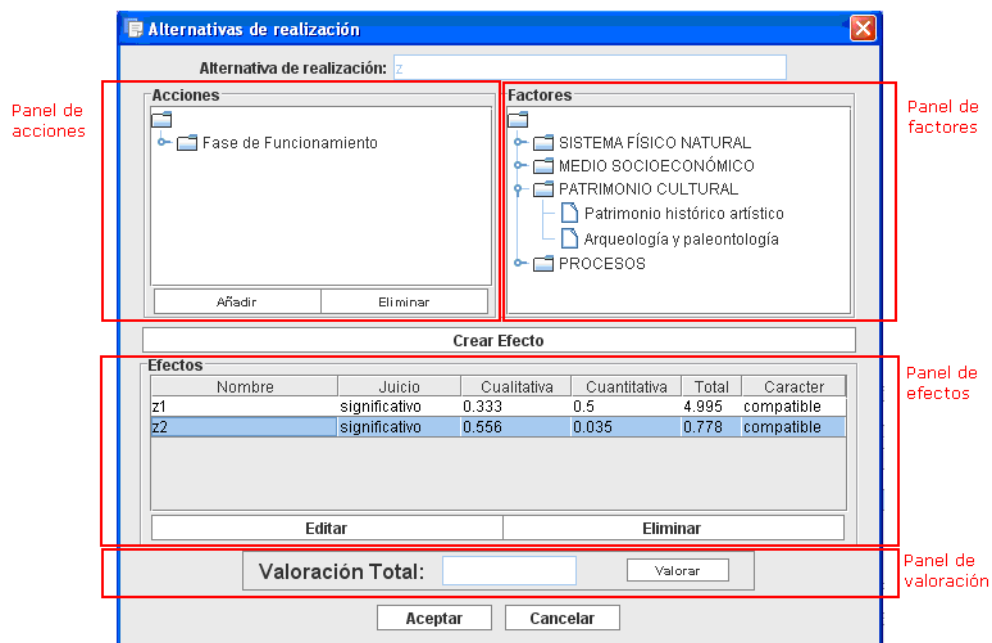


Figura 31: Ventana "Alternativa de realización" de EIA09

Ventana efectos.

Diseñado mediante un *JTabbedPane* bajo un *JDialog*, compuesto por tres pestañas: *Ficha general*, *Valoración cualitativa* y *Valoración cuantitativa*.

La *Ficha general* consta de dos *JPanel*; el panel de información y el panel de valoración. Éstos están compuestos por varias componentes *JLabel*, *JTextField* y algún *JComboBox*.

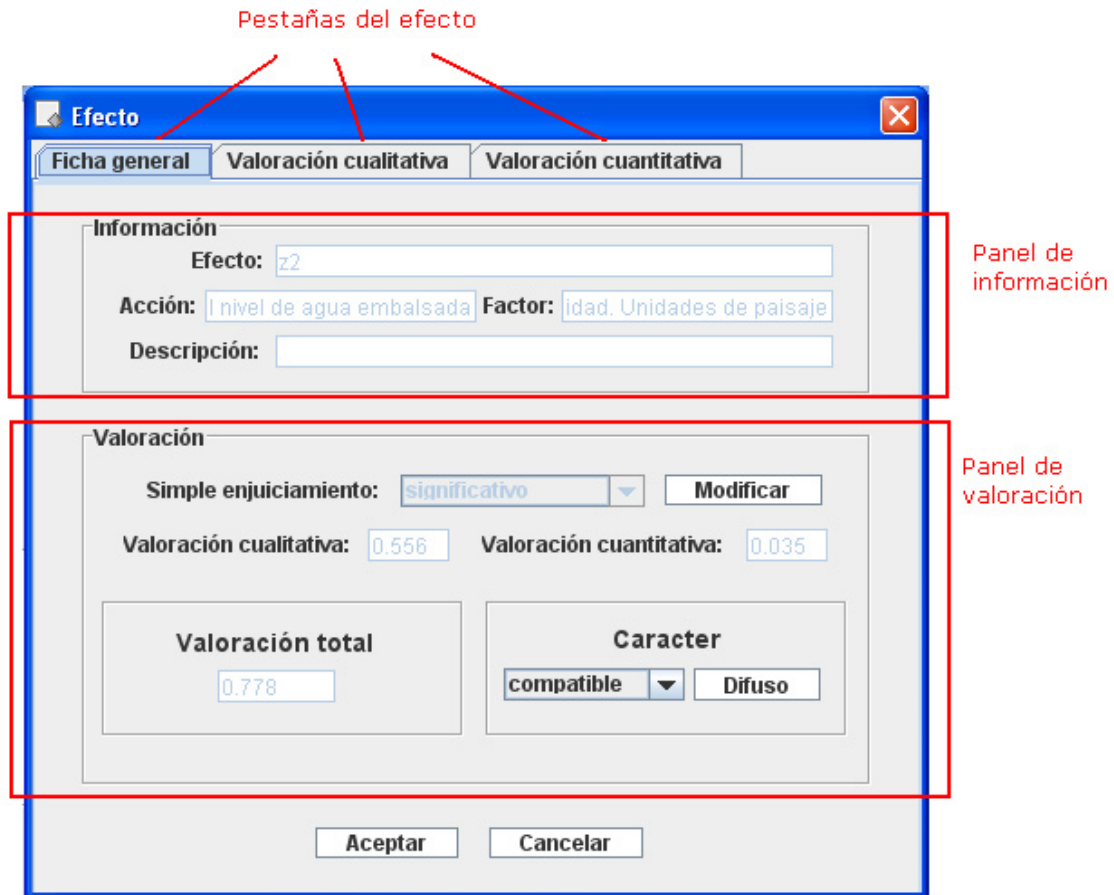


Figura 32: Pestaña "Ficha general" de la ventana "Efecto" de EIA09

La pestaña *Valoración cualitativa* consta a su vez de un *JPanel*, el panel de valoración cualitativa, con varias componentes *JLabel* y *JComboBox* para valorar el efecto como se desee y un *JPanel* para la incidencia.

Efecto

Ficha general | Valoración cualitativa | Valoración cuantitativa

Valoración cualitativa

Signo: Acumulación:

Extensión: Crítica

Intensidad: Persistencia:

Reversibilidad: Efecto:

Periodicidad: Recuperabilidad:

Momento: Crítico

Incidencia

Panel de Valoración cualitativa

Panel de Incidencia

Figura 33: Pestaña "Valoración cualitativa" de la ventana "Efecto" de EIA09

La pestaña *Valoración cuantitativa* consta principalmente de dos subpaneles *JPanel*, el panel de indicadores y el panel de magnitud.

Efecto

Ficha general | Valoración cualitativa | Valoración cuantitativa

Valoración cuantitativa

Indicador: Umbral / a:

Valor máximo indicador:

Valor mínimo indicador:

Función de transformación:

Magnitud

Panel de Valoración cuantitativa

Panel de Indicadores

Panel de Magnitud

Figura 34: Pestaña "Valoración cuantitativa" de la ventana "Efecto" de EIA09

Otros componentes.

El resto de las ventanas usadas son en su mayoría *JDialog*. Mostraremos algunas de ellas.

La ventana de *Nuevo proyecto* es un *JDialog* con un *JPanel* y con dos *JButton*. Contiene otro *JPanel* dentro (panel *Información del proyecto*) con varias *JLabel* y *JTextField* con la información a solicitar.

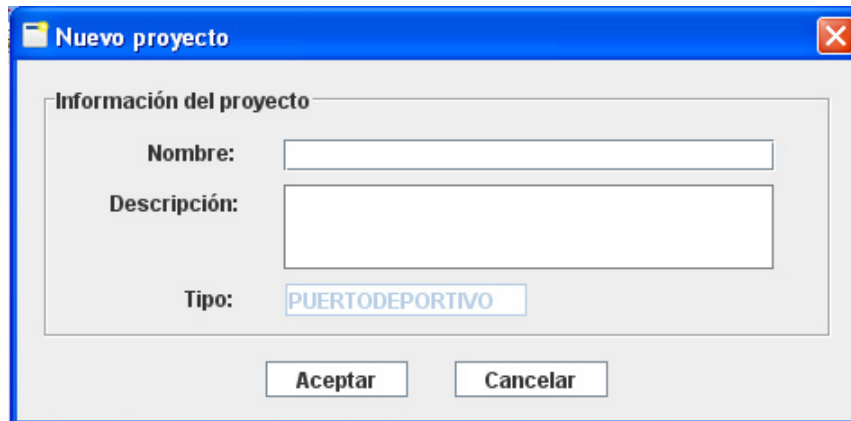


Figura 35: Ventana "Nuevo proyecto" de EIA09

La ventana para modificar los factores ambientales es un *JDialog* con un panel que contiene un *JTree* para mostrar el árbol de factores ambientales considerado.

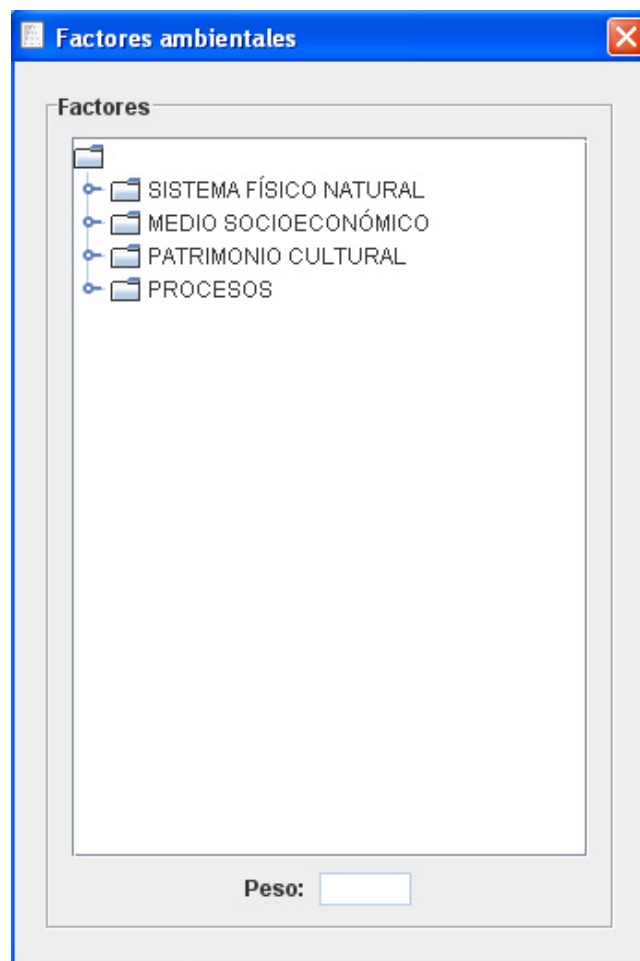


Figura 36: Ventana "Factores ambientales" de EIA09

La ventana para mostrar la gráfica de la valoración cuantitativa es un *JDialog* con una *BufferedImage* cargada sobre el mismo.

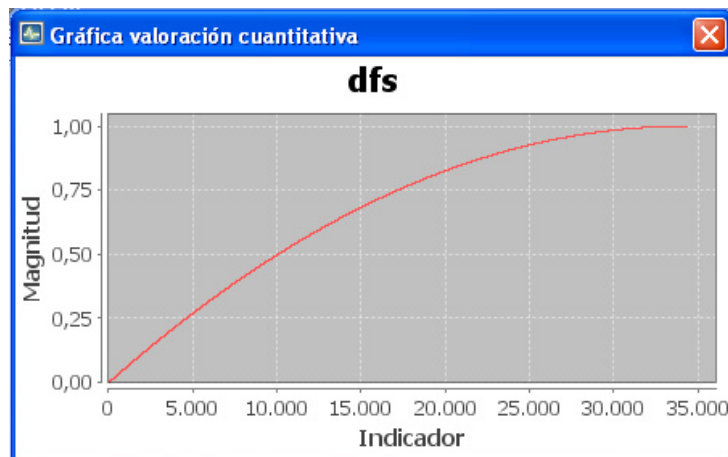


Figura 37: Ventana "Gráfica valoración cuantitativa" de EIA09

Se ha hecho uso de la clase *JFileChooser* de *Swing*, que proporciona un UI para la selección de ficheros, para las funciones de abrir/guardar un proyecto en EIA09. Se les aplica un filtro de ficheros *XML* y un *path* por defecto asignado a la carpeta */proyectos*.

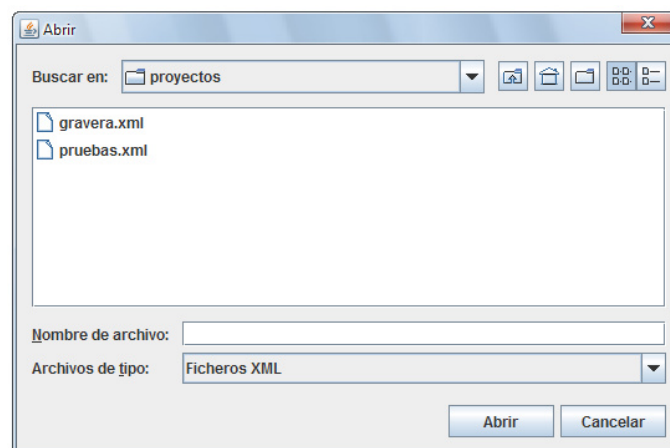


Figura 38: Ventana de abrir fichero de proyecto de EIA09

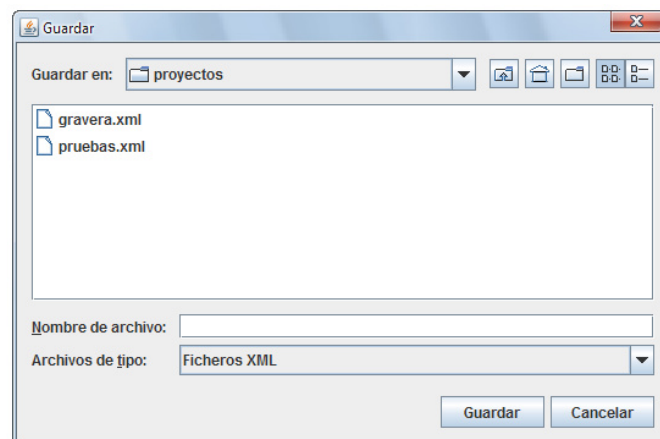


Figura 39: Ventana de guardar fichero de proyecto de EIA09

Para las notificaciones de errores, observaciones y diálogos de consulta y confirmación, se ha hecho uso de la clase *JOptionPane*, que proporciona un UI para la creación de diálogos simples y estándar.

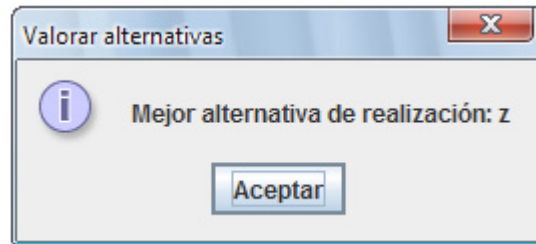


Figura 40: Ventana informativa de mejor alternativa de EIA09

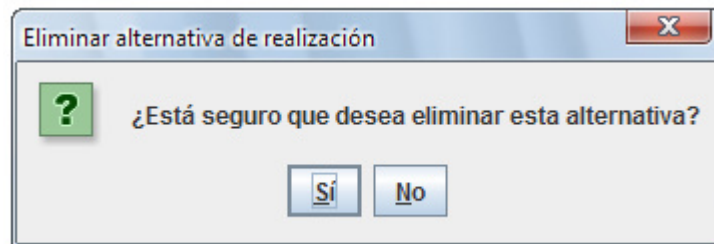


Figura 41: Ventana de confirmación de eliminación de alternativa de EIA09

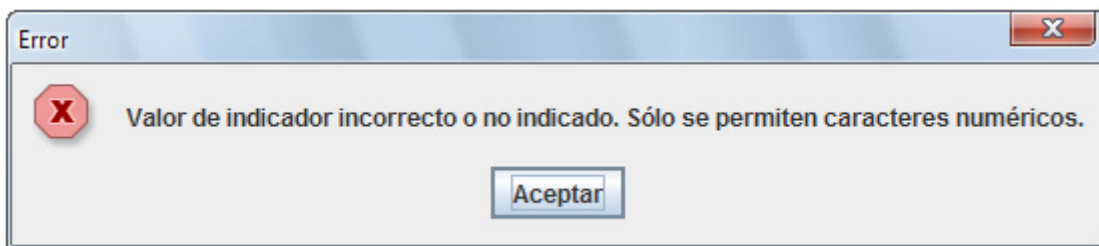


Figura 42: Ventana de error de EIA09

Reportes.

Se ha considerado de importancia en el proyecto la recopilación y muestra en detalle de la información obtenida con el software desarrollado, dada su utilidad práctica en la elaboración de la documentación de los proyectos de EIA09. Por ello, se ha desarrollado un sistema de creación y muestra de informes multiformato, con el que obtendremos la información detallada del proyecto que esté siendo tratado en la aplicación. Para el desarrollo de dicha utilidad, se ha hecho uso de *JasperReports*, con apoyo en *iReport* para la definición del formato de los informes.



Figura 43: Logotipos de las tecnologías *open source* de JasperForge

JasperReports

JasperReports es una herramienta de creación de informes Java open source que tiene la habilidad de entregar contenido enriquecido en el monitor, a la impresora o a ficheros PDF, HTML, XLS, CSV y XML. Está escrito completamente en Java y puede ser usado en gran variedad de aplicaciones de Java, incluyendo J2EE o aplicaciones Web, para generar contenido dinámico. Su propósito principal es ayudar a crear documentos de tipo páginas, preparados para imprimir en una forma simple y flexible.

Los informes se definen en un fichero xml el cual será compilado por las librerías *JasperReports* y generarán un fichero .jasper que utilizaremos para rellenar y mostrar el informe final. La definición de los informes se puede realizar directamente sobre los xml descriptores o podemos utilizar *iReport*, un front-end gráfico open source para diseñarlo gráficamente, como es el caso del proyecto desarrollado.

JasperReports nos da la posibilidad de la generación de los informes a partir de múltiples fuentes de datos. En nuestro caso, se ha considerado un archivo XML con toda la información del proyecto (ver XML en secciones anteriores, para más detalles). Para la realización del reporte se van realizando distintas llamadas a la fuente de datos (XML) mediante expresiones XPath, obteniendo los valores de las variables (campos de datos) que compondrán el informe.

XPath

XPath (*XML Path Language*) es un lenguaje que permite construir expresiones que recorren y procesan un documento XML. La idea es parecida a las expresiones regulares para seleccionar partes de un texto sin atributos (plain text). XPath permite buscar y seleccionar teniendo en cuenta la estructura jerárquica del XML. XPath fue creado para su uso en el estándar XSLT, en el que se usa para seleccionar y examinar la estructura del documento de entrada de la transformación.

Todo el procesamiento realizado con un fichero XML está basado en la posibilidad de direccionar o acceder a cada una de las partes que lo componen, de modo que podamos tratar cada uno de los elementos de forma diferenciada.

El tratamiento del fichero XML comienza por la localización del mismo a lo largo del conjunto de documentos existentes en el mundo. Para llevar a cabo esta localización de forma unívoca, se utilizan los URI (Uniform Resource Identifiers), de los cuales los URL (Uniform Resource Locators) son sin duda los más conocidos.

Una vez localizado el documento XML, la forma de seleccionar información dentro de él es mediante el uso de XPath, que es la abreviación de lo que se conoce

como XML Path Language. Con XPath podremos seleccionar y hacer referencia a texto, elementos, atributos y cualquier otra información contenida dentro de un fichero XML.

XPath es a su vez la base sobre la que se han especificado nuevas herramientas que aprovechar para el tratamiento de documentos XML. Herramientas tales como XPointer, XLink y XQuery (el lenguaje que maneja los documentos XML como si de una base de datos se tratase), que también están en estado de desarrollo, pero que sin duda cambiarán el modo en que actualmente concebimos la navegación por la Web. Así, XPath sirve para decir cómo debe procesar una hoja de estilo el contenido de una página XML, pero también para poder poner enlaces o cargar en un navegador zonas determinadas de una página XML, en vez de toda la página.

Un documento XML es procesado por un analizador (o parser) construyendo un árbol de nodos. Este árbol comienza con un elemento raíz, que se diversifica a lo largo de los elementos que cuelgan de él y acaba en nodos hoja, que contienen solo texto, comentarios, instrucciones de proceso o incluso que están vacíos y sólo tienen atributos.

La forma en que XPath selecciona partes del documento XML se basa precisamente en la representación arbórea que se genera del documento. De hecho, los "operadores" de que consta este lenguaje nos recordarán la terminología que se utiliza a la hora de hablar de árboles en informática: raíz, hijo, ancestro, descendiente, etc.

Un caso especial de nodo son los nodos atributo. Un nodo puede tener tantos atributos como desee, y para cada uno se le creará un nodo atributo. No obstante, dichos nodos atributo no se consideran como hijos suyos, sino más bien como etiquetas añadidas al nodo elemento.

Formato de los informes

El formato un informe generado por la aplicación presenta la siguiente estructura:

- Encabezado principal, con información referente a nuestra aplicación.
- Información del proyecto, ficha general con la descripción del proyecto tratado.
- Información de las alternativas. Está compuesto por el conjunto de subinformes *Alternativa*, uno por cada alternativa, presentando la información general de las mismas.
 - o Información de los efectos. Está compuesto por el conjunto de subinformes *Efecto*, uno por cada efecto (descripción, carácter, valoraciones...) de dicha alternativa.

Librerías JasperReports

Para el correcto funcionamiento de la utilidad en nuestra aplicación ha sido necesario la inclusión de una serie de librerías, utilizadas tanto para la muestra de los informes como para su generación, pasando por el procesado de los XML y la obtención de PDF's. Dichas librerías incluidas son:

- *commons-beanutils-1.7*
- *commons-collections-2.1*
- *commons-digester-1.7*
- *commons-javafLOW-20060411*

- *commons-logging-1.0.2*
- *iText-2.1.0*
- *jasperreports-3.1.3*
- *jcommon-1.0.14*
- *jdt-compiler-3.1.1*
- *poi-3.2-FINAL-20081019*
- *serializer*
- *xalan*
- *xercesImpl*
- *xml-apis*

Utilización de la herramienta de generación de informes

Cuando se ha realizado de manera completa la valoración del proyecto de evaluación de impacto ambiental utilizando el software, se da la posibilidad de generar informes (Menú *Informes* → *Generar informe*). El resultado es la creación del informe con toda la información del proyecto en formato PDF, que será ubicado en el directorio *informes*, dentro del directorio de la aplicación. Posteriormente a dicha generación, en el mismo menú se activará la opción de *Ver informe*, que nos posibilita mostrar en una ventana de la aplicación el informe generado, mediante una utilidad que facilita su visualización.

Instrucciones de ejecución.

Requerimientos

Para ejecutar EIA09 se requiere la instalación previa de la tecnología *Java* de *Sun Microsystems*, en su versión 6, que se encuentra disponible en <http://www.java.com/es/download/>

Versiones EIA09

La aplicación desarrollada se presenta en dos versiones:

- *EIA09.1.0-bin.zip*: comprimido que contiene la aplicación compilada y lista para su ejecución.
- *EIA09.1.0-src.zip*: comprimido que contiene el código fuente de la aplicación, compilada como proyecto JAVA importable en el entorno de desarrollo *Eclipse*. Se incluye además la documentación *javaDoc* con información detallada de la implementación seguida.

La primera versión está destinada para la utilización convencional de la aplicación, siendo la segunda versión válida para desarrolladores.

Distribución de la aplicación

La aplicación (versión *EIA09.1.0-bin*), una vez descomprimida, presenta la siguiente distribución:

- */help*: contiene los archivos que componen el sistema de ayuda interactiva de la aplicación.
- */images*: contiene las imágenes que utiliza la interfaz de la aplicación.
- */informes*: carpeta que se presenta por defecto para guardar los informes generados por la aplicación.
- */plantillas*: incluye las DTD y los archivos XML que contienen las plantillas de efectos y acciones que se han considerado.
- */proyectos*: carpeta que se presenta por defecto para guardar los proyectos tratados por la aplicación..
- */reportes*: carpeta para el almacenamiento de los archivos temporales que se crean durante la generación de los informes.
- *EIA09.1.0.jar*: Archivo ejecutable de la aplicación.

Información para ejecución

La aplicación puede ejecutarse mediante la apertura del fichero *EIA09.1.0.jar*, contenido en el comprimido *EIA09.1.0-bin.zip*.

Información para desarrolladores

Para importar la aplicación, desde la versión para desarrolladores (*EIA09.1.0-src*), en el entorno de desarrollo *Eclipse*, basta con seleccionar '*Import*', marcar '*Existing project in workspace*', seleccionar la ubicación del proyecto, marcar su nombre '*EIA09-Swing*' y hacer click en '*import*'.

Información de uso

Ver el documento '*Guía de uso EIA09*' que se adjunta en el apéndice.

Pruebas

Para realizar las pruebas del sistema implementado, vamos a realizar una serie de ejercicios prácticos cuyos resultados son comparados con los problemas y sus soluciones que se proporcionaron como documentación adjunta de consulta.

Los ejemplos indicados se encuentran también como proyectos EIA09 de ejemplo en el directorio */proyectos*.

Ejemplo 1: Impacto ambiental en una gravera.

Para comprobar el funcionamiento de nuestro sistema, vamos a realizar una valoración cualitativa y una valoración cuantitativa. La identificación de impactos es algo que suponemos ya hecho por algún experto en la materia de la evaluación del impacto ambiental.

Tenemos a continuación una lista de tres impactos ya identificados que vamos a valorar cualitativa y cuantitativamente.

The screenshot shows a software window titled "Alternativas de realización" for "Alternativa 1". It is divided into several sections:

- Acciones:** A tree view containing "Acción 3", "Acción 2", and "Acción 1".
- Factores:** A tree view containing "SISTEMA FÍSICO NATURAL", "MEDIO SOCIOECONÓMICO", "PATRIMONIO CULTURAL", and "PROCESOS".
- Crear Efecto:** A section with "Añadir" and "Eliminar" buttons.
- Efectos:** A table with the following data:

Nombre	Juicio	Cualitativa	Cuantitativa	Total	Caracter
Incremento de ruidos	significativo	-0.344	0.036	-0.372	compatible
Emisión de polvo y partí...	significativo	-0.625	0.14	-1.75	compatible
Modificación del microcli...	significativo	-0.781	0.529	-10.329	compatible
- Buttons:** "Editar" and "Eliminar" buttons are located below the effects table.
- Valores:** A "Valoración Total:" field displays "-12.451", with a "Valorar" button next to it.
- Final Buttons:** "Aceptar" and "Cancelar" buttons are at the bottom.

Figura 44: Ventana "Alternativas de realización" para la Alternativa 1

Valoración cualitativa.

Para realizar una valoración cualitativa, pulsamos sobre el impacto que queremos estudiar y después pulsamos Editar. Nos aparece el siguiente cuadro de diálogo, donde tenemos que seleccionar la pestaña correspondiente a la valoración cualitativa.

The image shows a software window titled 'Efecto' with three tabs: 'Ficha general', 'Valoración cualitativa', and 'Valoración cuantitativa'. The 'Valoración cualitativa' tab is active. It contains several dropdown menus for parameters: Signo (positivo), Acumulación (no asignar), Extensión (no asignar), Intensidad (no asignar), Reversibilidad (no asignar), Periodicidad (no asignar), and Momento (no asignar). There are also checkboxes for 'Crítica' and 'Crítico', and a 'Calcular' button. Below these is a box labeled 'Incidencia' containing the value '-0.344'. At the bottom are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons.

Figura 45: Ventana para realizar la valoración cualitativa de un impacto

Una vez aquí, debemos seleccionar cada parámetro. Para hacer las pruebas con el ejemplo que se nos proporcionó, hemos intentado ajustar el valor de cada parámetro lo más cerca posible al valor que aparecía en la valoración realizada por el experto. Así, para el efecto “Incremento de ruidos” hemos introducido los valores correspondientes para el signo, la acumulación, la extensión, intensidad, persistencia, reversibilidad y recuperabilidad.

Después pulsamos en calcular y se obtiene el valor -0.334 para ese impacto. Pulsamos en aceptar y comprobamos que el valor se guarda correctamente y aparece esta cifra en la columna correspondiente a la valoración cualitativa de la tabla donde aparecen todos los impactos.

El valor obtenido en esta valoración es algo diferente al que se nos proporcionó en las hojas de ejemplos prácticos debido a que hay variaciones en el método que se utiliza en ese ejemplo en cuestión y el que usamos nosotros en la implementación de nuestro sistema.

Se realizaría el mismo proceso para realizar la valoración cualitativa del resto de impactos y se comprobamos que los resultados aparecen en la tabla también. Una vez hecho esto, procedemos a realizar la valoración cuantitativa.

Valoración cuantitativa

Para realizar una valoración cuantitativa, pulsamos sobre el impacto que queremos estudiar y después pulsamos Editar. Nos aparece el siguiente cuadro de diálogo, donde tenemos que seleccionar la pestaña correspondiente a la valoración cuantitativa.

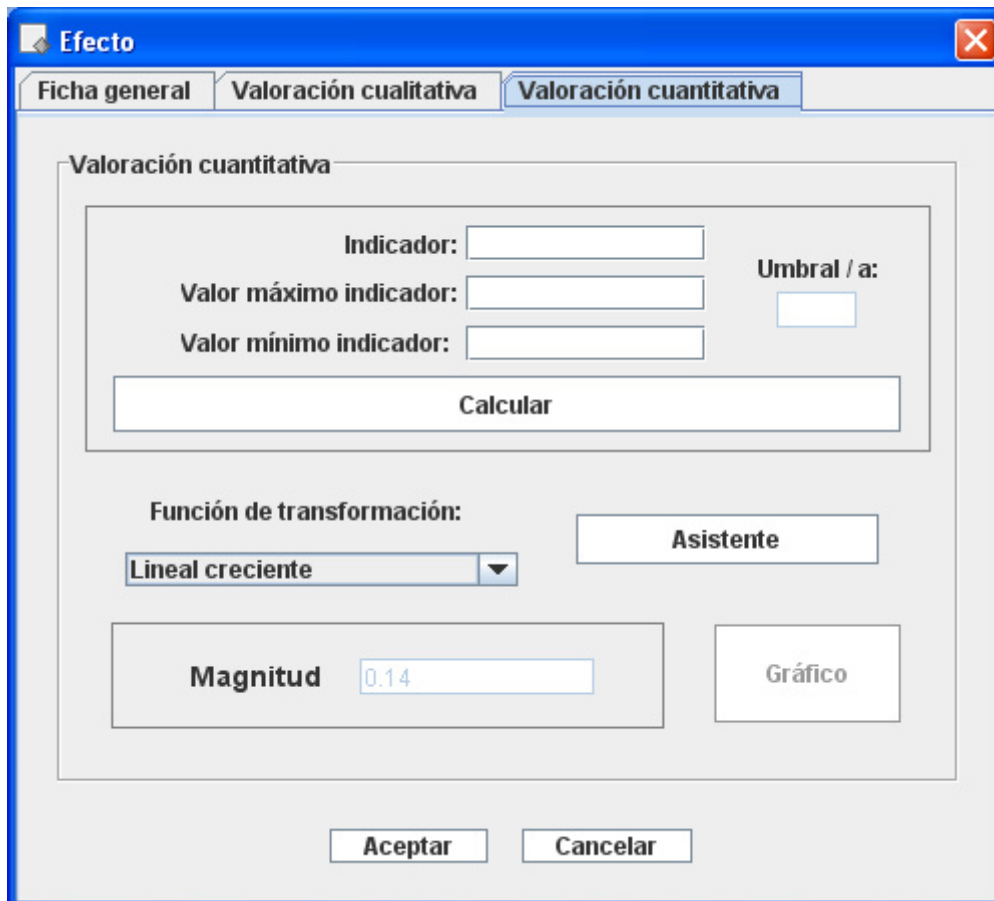


Figura 46: Ventana para realizar la valoración cuantitativa de un impacto

Para el primer impacto, hemos introducido los valores que se nos proporcionaron, que son para el indicador 435,2. Para el valor máximo de ese indicador 12035,2 y como valor mínimo el 0. Se usa una función lineal creciente y al pulsar Calcular obtenemos la magnitud 0.14. En este caso sí que ha coincidido el resultado de nuestra valoración con el resultado proporcionado en el ejemplo práctico, debido a que no hemos tenido que hacer ningún tipo de aproximación para ningún valor.

Así, si seguimos valorando cuantitativamente el resto de impactos, comprobamos que se sigue obteniendo el mismo valor que en el ejemplo práctico.

Para realizar la valoración total, volvemos a la pantalla general donde aparecen todos los impactos y pulsamos en el botón Valorar y comprobamos que aparece el resultado.

Debido a que en la valoración cualitativa los resultados diferían del ejemplo proporcionado, la valoración total no coincide con el resultado que aparecía en el mismo.

Ejemplo 2: Funciones de transformación.

Ahora vamos a hacer una serie de pruebas que se centrarán en la valoración cuantitativa, utilizando las diferentes funciones de transformación que se han implementado en nuestro sistema.

Primero nos creamos un efecto para poder hacer la valoración. Se selecciona una acción y un factor, nosotros hemos escogido una acción de prueba y el factor "aguas superficiales".

Figura 47: Ventana para la creación del efecto “Ríos contaminados”

Una vez creado, pulsamos sobre el mismo y después sobre Editar para poder acceder a la valoración cuantitativa. Introducimos los parámetros:

- Indicador = 2.
- Máximo = 10.
- Mínimo = 0.

Para cada función de transformación obtenemos los siguientes resultados:

- Lineal creciente: 0.2.
- Parábola creciente I: 0.36.
- Parábola creciente II: 0.04.
- Parabólica doble creciente I: 0.32.
- Parabólica doble creciente II: 0.08.

Estos resultados se corresponden exactamente con los obtenidos en el ejemplo práctico proporcionado.

Ahora vamos a probar las funciones decrecientes. Para ello creamos otro impacto con los siguientes parámetros:

- Indicador = 7.
- Máximo = 10.
- Mínimo = 0.

Para cada función de transformación se obtienen los siguientes resultados:

- Lineal decreciente: 0.7.
- Parabólica decreciente I: 0.09.
- Parabólica decreciente II: 0.51.
- Parabólica doble decreciente I: 0.42.
- Parabólica doble decreciente II: 0.18.

Estos resultados se corresponden exactamente con los obtenidos en el ejemplo práctico proporcionado.

Ejemplo 3: Valoración cualitativa.

Para hacer pruebas sobre la parte de la valoración cualitativa, en primer lugar tenemos que crear un impacto cuyo factor tenga el mismo peso (en este caso peso 25) que aquel que se utiliza en el ejemplo práctico proporcionado. Así, hemos elegido el relieve que tiene peso 25.

Creamos un impacto del mismo modo que en el apartado anterior, tomando como factor "Relieve". Una vez creado, se pulsa sobre el mismo en la tabla de impactos y después sobre Editar para acceder a la pestaña de Valoración Cualitativa.

Una vez situados en esta pestaña, vamos introduciendo los valores para los distintos parámetros. Así tenemos la siguiente lista a introducir:

- Acumulación: 3.
- Extensión: 4.
- Intensidad: 2.
- Persistencia: 4.
- Reversibilidad: 4.
- Recuperabilidad: 4.
- Periodicidad: 4.
- Momento: 4.
- Efecto: 3.
- Signo: negativo.

Cuando introducimos estos valores, tenemos que adaptarlos lo máximo posible a lo valores que se nos proponen en la lista desplegable de cada parámetro. En algunos casos será el mismo, en otros casos, habrá que tomar el más próximo.

The screenshot shows a software window titled "Efecto" with three tabs: "Ficha general", "Valoración cualitativa", and "Valoración cuantitativa". The "Valoración cualitativa" tab is active. It contains a form with the following fields and values:

Signo:	negativo	Acumulación:	acumulativo
Extensión:	extenso	<input type="checkbox"/> Crítica	
Intensidad:	media	Persistencia:	permanente
Reversibilidad:	irreversible	Efecto:	directo
Periodicidad:	continuo	Recuperabilidad:	mitigable
Momento:	inmediato	<input type="checkbox"/> Crítico	Calcular

Below the form, there is a box labeled "Incidencia" containing the value "-0.575". At the bottom of the dialog are "Aceptar" and "Cancelar" buttons.

Figura 48: Ventana para realizar la valoración cualitativa según el ejemplo

En este caso el resultado obtenido difiere del resultado esperado. Como hemos dicho anteriormente esto se debe al encaje de los parámetros y a la diferencia del método utilizado entre nuestro sistema y el ejemplo propuesto.

Ejemplo 4: Utilización general de la aplicación.

En este apartado vamos a ver un ejemplo sencillo general de uso de la aplicación EIA09. Se pretende ilustrar de una manera clara las distintas fases en la evaluación del impacto ambiental de un proyecto de ingeniería utilizando la aplicación desarrollada.

1. Creación del proyecto.

El primer paso que tenemos que seguir sería la carga o la creación del proyecto que será evaluado. Para crear el proyecto, pulsamos en *Proyecto* → *Nuevo* y elegimos el proyecto que queremos crear. Para este ejemplo vamos a elegir uno de los que ya están predefinidos, el de una autovía.

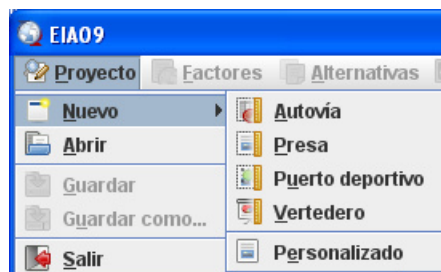


Figura 49: Creación de nuevo proyecto de EI09

Introducimos el nombre del proyecto y la descripción en el cuadro de dialogo que nos aparece.

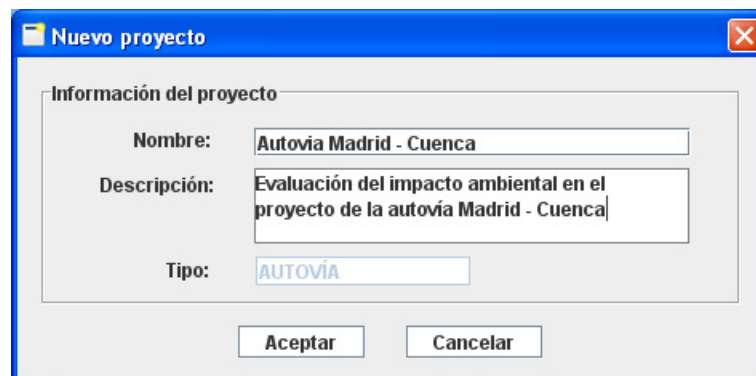


Figura 50: Creación del proyecto "Autovía Madrid - Cuenca"

Pulsamos *Aceptar* para crear el proyecto. Una vez hecho esto, podemos seguir rellenado más información sobre el mismo en la pantalla principal pulsando el botón *Modificar* para que se habiliten los campos.

The screenshot shows the EIA09 software interface. The title bar reads 'EIA09'. The menu bar includes 'Proyecto', 'Factores', 'Alternativas', 'Valoración', 'Informes', and 'Ayuda'. The main window is divided into two sections:

- Descripción del proyecto:** This section contains several input fields:
 - Nombre:** Autovía Madrid - Cuenca
 - Tipo proyecto:** AUTOVÍA
 - Descripción:** Evaluación del impacto ambiental en el proyecto de la autovía Madrid - Cuenca
 - Compañía:** ACS
 - Autor:** Juan Castellanos
 - Población:** Madrid
 - Provincia:** Madrid
 - Pais:** España
 - Fecha:** 09-05-2009
 - Vida útil:** 0 mesesAt the bottom of this section are 'Aceptar' and 'Modificar' buttons.
- Alternativas de realización:** This section features a table with two columns: 'Alternativa' and 'Valoración'. The table is currently empty. Below the table are 'Añadir', 'Editar', and 'Eliminar' buttons.

Figura 51: Edición de los datos del proyecto "Autovía Madrid - Cuenca"

2. Alternativas de realización.

Una vez que tenemos nuestro proyecto creado, vamos a crear una alternativa de realización. Para ello, pulsamos en el botón *Añadir* que está debajo de la ventana principal, y le damos un nombre. Después pulsamos *Aceptar*.

The screenshot shows a dialog box titled 'Nueva alternativa de realización'. It contains the following information:

- Información del proyecto:**
 - Proyecto:** Autovía Madrid - Cuenca
 - Nombre alternativa:** Alternativa 1
- At the bottom are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons.

Figura 52: Creación de la alternativa de realización "Alternativa 1"

Una vez que la alternativa está creada, nos aparecerá en la tabla de la ventana principal y tendremos que valorarla para realizar la evaluación del impacto ambiental de la misma. Para hacer esto, tenemos que seleccionar la alternativa que deseamos evaluar y pulsar en *Editar*. Entonces nos aparece la ventana donde vamos a ir creando los efectos de dicha alternativa para proceder a sus distintos tipos de valoración.

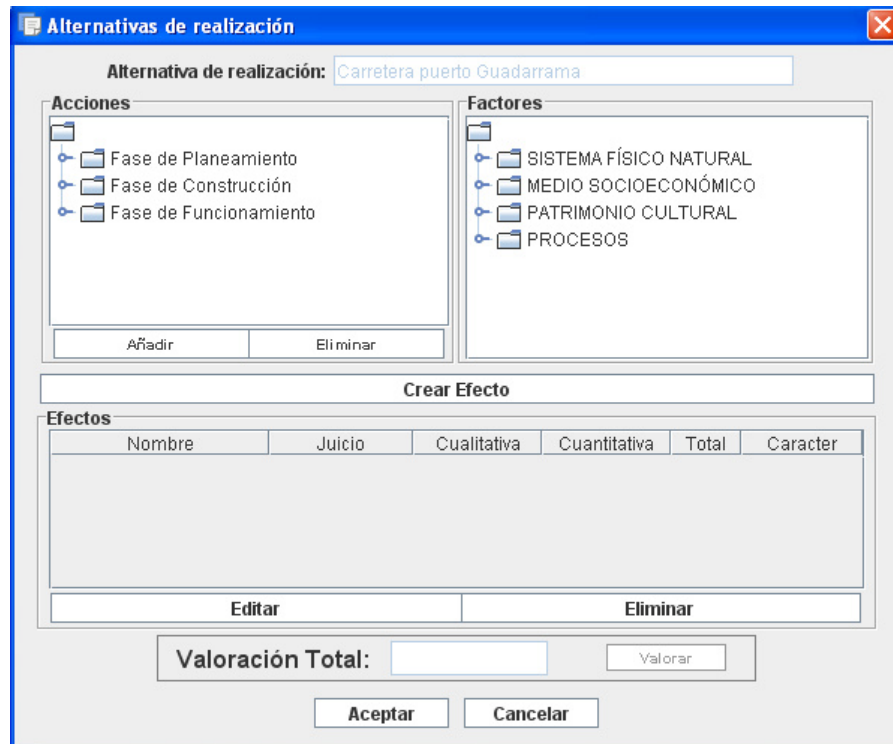


Figura 53: Ventana de edición de la alternativa de realización

Observamos que en esta ventana se pueden añadir y eliminar acciones, y crear y eliminar efectos. Una vez se creen y valoren los efectos, se podrá valorar la alternativa, y se mostrará en la parte inferior la valoración total de la misma.

Vamos a crear un efecto. Para ello seleccionamos una acción determinada del árbol, por ejemplo la Emisión de ruido. También debemos seleccionar un factor, en este caso tomamos el Nivel sonoro. A continuación pulsamos *Crear Efecto*.

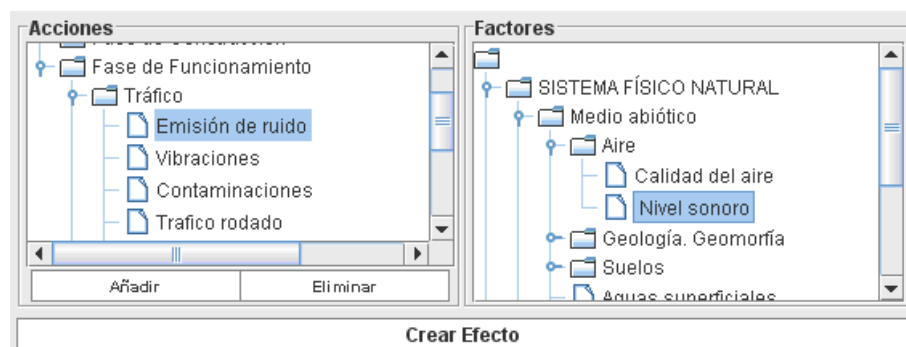


Figura 54: Proceso de creación de un efecto, a partir de una acción y un factor

Una vez hecho esto, nos aparecerá otra ventana para darle un nombre al efecto en cuestión.

3. Valoración.

Ya tenemos un efecto creado y podemos proceder a su valoración. En el cuadro donde se rellena la descripción del efecto, podemos vamos a realizar una valoración de simple enjuiciamiento utilizando el método difuso o bien seleccionando el valor de la lista desplegable en la que nos aparecen distintas

opciones. Mostraremos el funcionamiento del asistente difuso, para ello pulsamos en el botón *Difuso*.

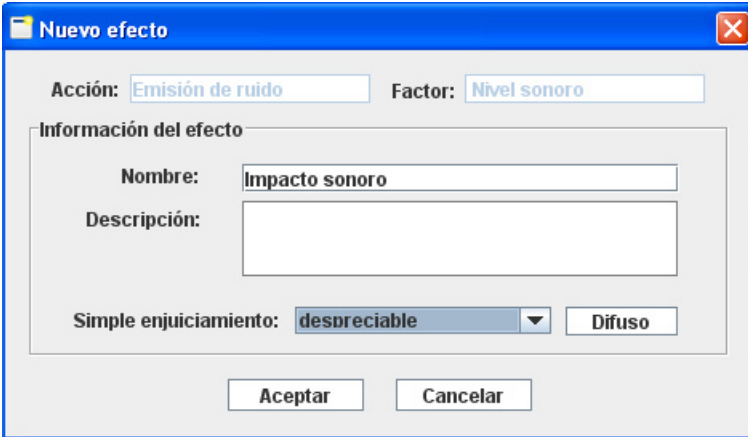


Figura 55: Creación del efecto "Impacto sonoro"

Cuando presionemos el botón nos aparecerá el asistente para la valoración de simple enjuiciamiento por el método difuso. Desplazando los *sliders* podemos seleccionar la intensidad de los tres parámetros por los cuales se hará la estimación. Estos valores de intensidad van de 0 a 1. Una vez seleccionados los valores deseados, en este caso 0.1, 0.2 y 0.4 se pulsa inferir y se ha estimado una valor de 0.49 que se traduce a un carácter despreciable del impacto.

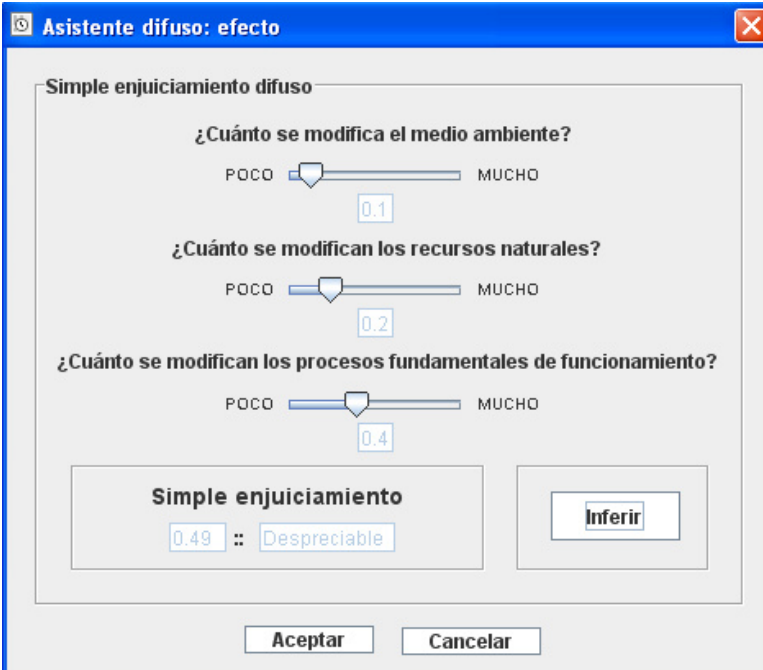


Figura 56: Ventana de inferencia difusa para la decisión efecto/impacto

Si pulsamos *Aceptar* en el asistente y en la ventana de descripción del efecto, volveremos a la ventana principal y como podemos ver, nuestro efecto ya aparece nuestro efecto en la tabla y la columna de simple enjuiciamiento nos muestra el valor "despreciable" que hemos obtenido anteriormente. Como hemos hecho una estimación difusa, y no se ha considerado impacto, ya no podemos valorar ni cualitativa ni cuantitativamente. Por tanto, vamos a crear un impacto en el que podamos realizar las valoraciones.

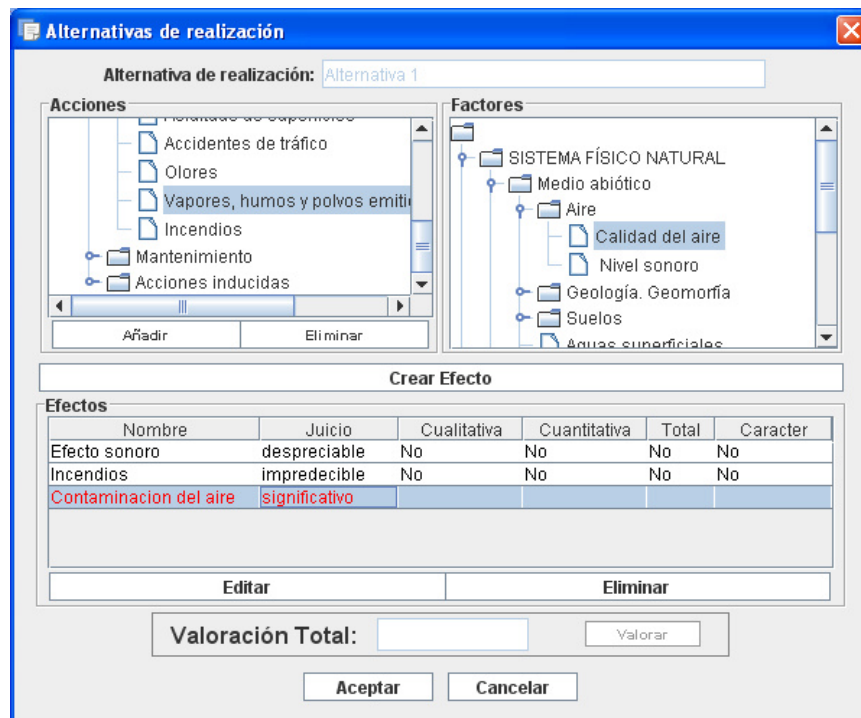


Figura 57: Ventana de edición de la alternativa de realización "Alternativa 1"

Hemos creado un nuevo efecto al que hemos llamado "Contaminación del aire". Al crearlo, en lugar de hacer una valoración difusa hemos elegido de la lista desplegable el valor "significativo" para el caso del simple enjuiciamiento. Para hacer el resto de las valoraciones, seleccionamos el efecto en la tabla y pulsamos en *Editar*. Nos aparece la pantalla de las valoraciones.

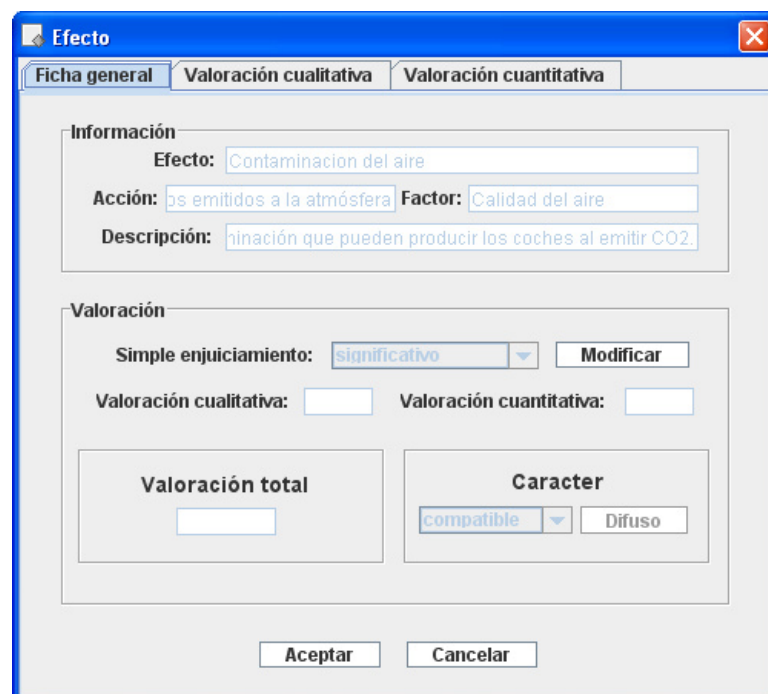


Figura 58: Ficha general del impacto "Contaminación del aire"

En primer lugar, vamos a realizar una valoración cualitativa del impacto/efecto. Para ello, vamos introduciendo los parámetros seleccionando de las listas

desplegables la opción que nos interesa. Para este caso, hemos seleccionado los siguientes:

- Signo: negativo.
- Acumulación: simple.
- Extensión: extenso.
- Intensidad: media.
- Persistencia: permanente.
- Reversibilidad: medio plazo.
- Efecto: indirecto secundario.
- Periodicidad: continuo.
- Recuperabilidad: largo plazo.
- Momento: medio plazo.

Pulsamos *Calcular* y hemos obtenido el valor -0.45.

The screenshot shows a dialog box titled 'Efecto' with three tabs: 'Ficha general', 'Valoración cualitativa', and 'Valoración cuantitativa'. The 'Valoración cualitativa' tab is active. It contains several dropdown menus and checkboxes for qualitative evaluation. The parameters are: Signo: negativo, Acumulación: simple, Extensión: extenso, Crítica: unchecked, Intensidad: media, Persistencia: permanente, Reversibilidad: medio plazo, Efecto: indirecto secu..., Periodicidad: continuo, Recuperabilidad: largo plazo, Momento: medio plazo, Crítico: unchecked. A 'Calcular' button is present. Below the parameters is a box labeled 'Incidencia' containing the value '-0.45'. At the bottom are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons.

Figura 59: Valoración cualitativa del impacto “Contaminación del aire”

Si volvemos a la pantalla donde aparecen todas las alternativas y los efectos, vemos que se muestra este valor obtenido.

Efectos						
Nombre	Juicio	Cualitativa	Cuantitativa	Total	Caracter	
Efecto sonoro	despreciable	No	No	No	No	
Incendios	impredecible	No	No	No	No	
Contaminación del aire	significativo	-0.45				
[Editar]			[Eliminar]			

Figura 60: Detalle de la lista de efectos de una alternativa de realización

Volvemos a pulsar sobre el impacto de Contaminación para llevar a cabo la valoración cuantitativa. Nos aparece la pantalla pidiéndonos los valores del indicador. Como valor hemos escogido 60 y como máximo 100 y mínimo 10.

También hemos utilizado el asistente para que nos recomendara la función de transformación que mejor se adapte a la variación del indicador y cómo afectan estos cambios al valor del impacto. Respondiendo a las preguntas que se nos han ido haciendo, el asistente nos ha recomendado la función *Parabólica creciente II*.

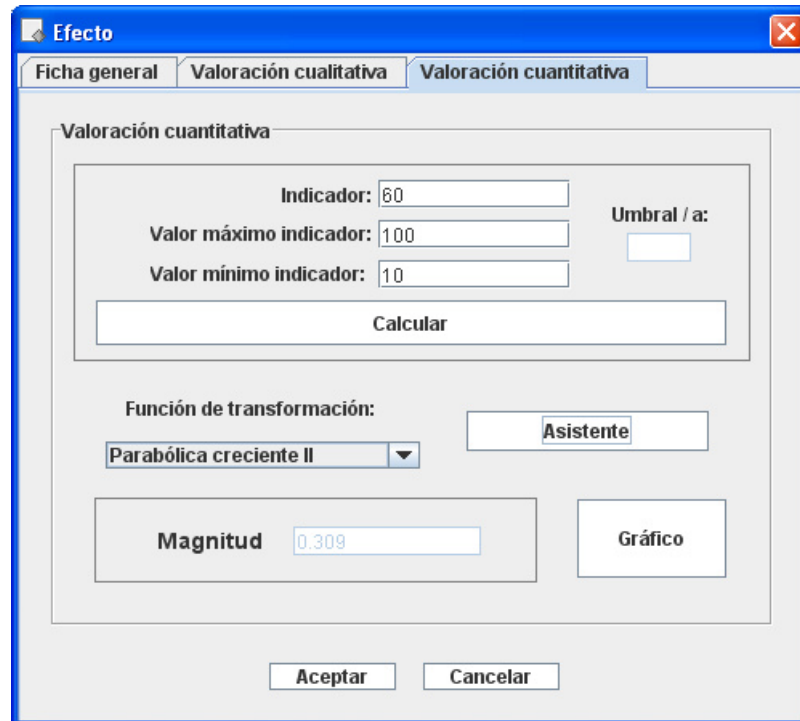


Figura 61: Valoración cuantitativa del impacto “Contaminación del aire”

Si pulsamos en el botón *Gráfico*, nos aparece la gráfica de nuestra función, que en este caso tiene forma de parábola:



Figura 62: Gráfica de la valoración cuantitativa del impacto “Contaminación del aire”

Hemos obtenido un valor de 0.309 en la valoración cuantitativa, el cual también aparece en la tabla de la ventana de los efectos. También se ha calculado ya la valoración total, que en este caso se ha obtenido -4.171.

Tras calcular la valoración cualitativa y cuantitativa vamos a utilizar la herramienta difusa para calcular el carácter del mismo. Para ello nos

posicionamos sobre el efecto para seleccionarlo y pulsamos en *Editar*. En la ficha general del impacto, vemos que tenemos un apartado referente al carácter del impacto y un botón en el que pone *Difuso*. Al pulsarlo aparece la siguiente pantalla:

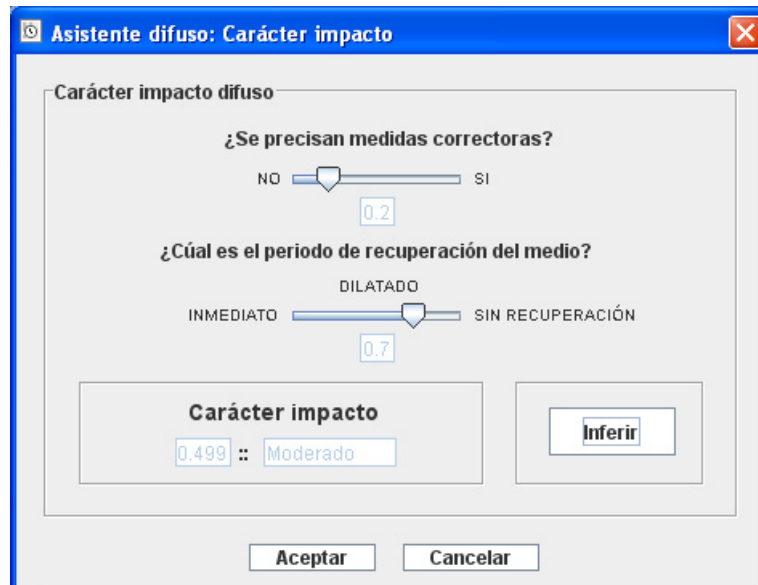


Figura 63: Asistente difuso para la inferencia del carácter del impacto

Seleccionamos para el valor de si se precisan medidas correctoras 0.2 y para el periodo de recuperación 0.7. Se pulsa inferir y obtenemos 0.499 lo que se traduce en que el carácter del impacto es moderado.

Para obtener la valoración total de la alternativa, volvemos a la ventana de efectos y pulsamos en el botón *Valorar*. Obtenemos que para los dos impactos que hemos considerado, la valoración total de la alternativa es de -4.171. Si queremos guardar estos resultados, en la ventana principal pulsamos en el menú *Proyecto* → *Guardar o Proyecto* → *Guardar como*.

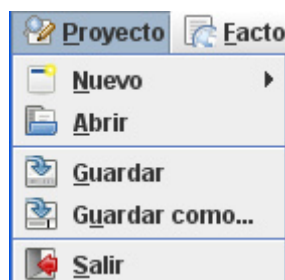


Figura 64: Menú "Proyecto"

Podemos continuar añadiendo más alternativas para comparar y poder llegar a la que tenga un efecto menor en el impacto ambiental. Se seguirían los mismos pasos para añadir el resto de alternativas. Nosotros hemos añadido dos más para que nuestro sistema pueda determinar cuál es la mejor de ellas. Eso lo podemos hacer usando la opción de *Valoración* del menú principal.

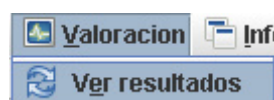


Figura 65: Menú "Valoración"

Nos devuelve que la mejor alternativa es la *Alternativa 3* como podemos ver en la siguiente imagen:

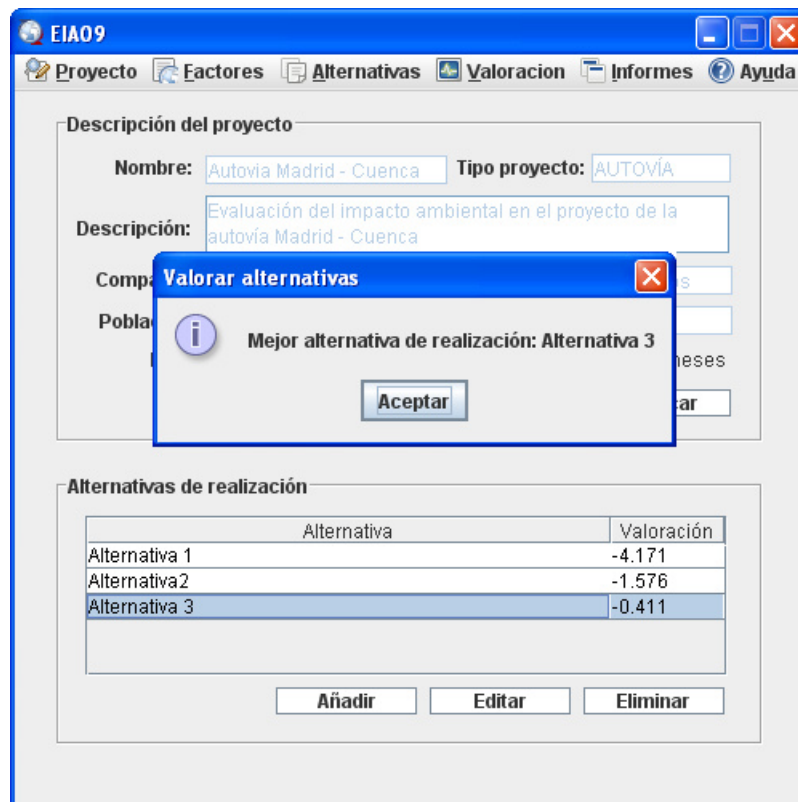


Figura 66: Ventana de información de la alternativa de realización óptima

4. Añadir acciones y edición factores

Cuando editamos una alternativa, podemos añadir acciones nuevas porque puede ocurrir que necesitemos alguna más de las que se muestran por defecto. Para ello, pulsamos debajo de la ventana del árbol de acciones el botón *añadir*.

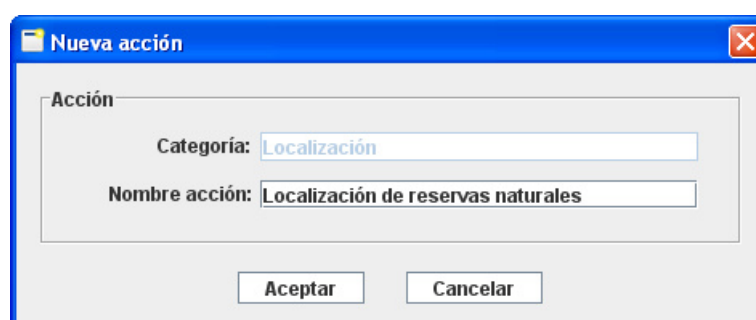


Figura 67: Creación de la acción “Localización de reservas naturales”

También podemos editar el peso de un factor de la lista. Si pulsamos en el menú principal *Factores* → *Modificar pesos*. Nos aparece el árbol de factores. Seleccionamos el que queremos modificar, pulsamos el botón *Modificar* e introducimos el nuevo valor. Pulsamos *Aceptar* para guardarlo. Si volvemos a realizar una valoración de un impacto en el que apareciera este factor modificado, obtendríamos un nuevo valor para ese efecto.

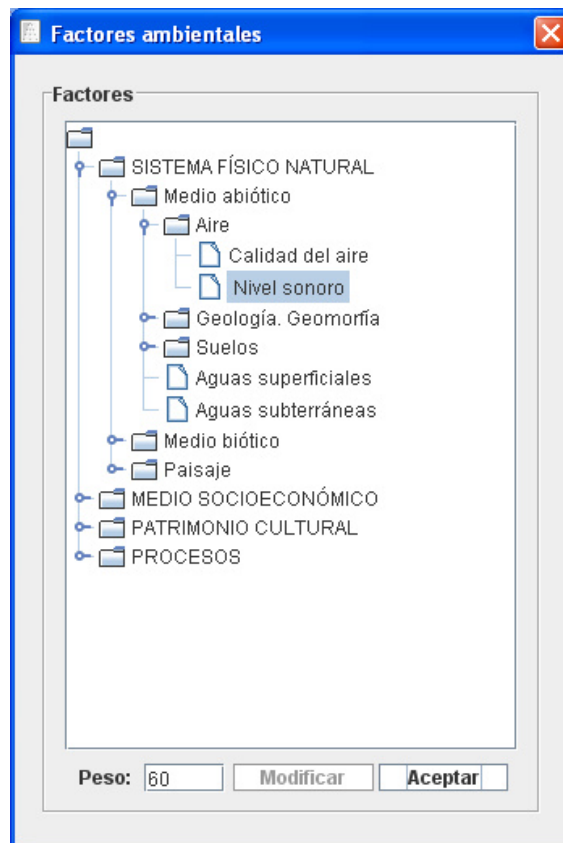


Figura 68: Detalle del peso del factor ambiental "Nivel sonoro"

5. Generación de informes.

Otro aspecto fundamental y de bastante utilidad de nuestra herramienta es la posibilidad de generar informes. Con ello se organiza toda esta información obtenida mediante las distintas valoraciones de las alternativas de una manera clara y precisa. Para ello pulsamos en el menú principal *Informes* → *Generar informe*.

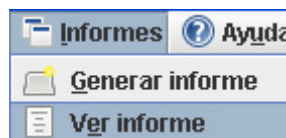


Figura 69: Menú "Informes"

Una vez hecho esto, el informe está listo para ser visto y podemos consultarlo cada vez que queramos.

Licencia de distribución, modificación y uso

El sistema desarrollado está cubierto por Licencia Pública General de GNU, GPLv3, cuyo propósito es declarar que este software es software libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.

Preámbulo

La Licencia Pública General GNU (GNU GPL) es una licencia libre, sin derechos para software y otro tipo de trabajos.

Las licencias para la mayoría del software y otros trabajos prácticos están destinadas a suprimir la libertad de compartir y modificar esos trabajos. Por el contrario, la Licencia Pública General GNU persigue garantizar su libertad para compartir y modificar todas las versiones de un programa--y asegurar que permanecerá como software libre para todos sus usuarios. Nosotros, La Fundación de Software Libre, usamos la Licencia Pública General GNU para la mayoría de nuestro software; y también se aplica a cualquier trabajo realizado de la misma forma por sus autores. Usted también puede aplicarla a sus programas.

Cuando hablamos de software libre, nos referimos a libertad, no a precio. Nuestras Licencias Públicas Generales están destinadas a garantizar la libertad de distribuir copias de software libre (y cobrar por ello si quiere), a recibir el código fuente o poder conseguirlo si así lo desea, a modificar el software o usar parte del mismo en nuevos programas libres, y a saber que puede hacer estas cosas.

Para proteger sus derechos, necesitamos evitar que otros le nieguen esos derechos o le pidan renunciar a ellos. Por lo tanto, usted tiene ciertas responsabilidades cuando distribuye copias del software, o si lo modifica: responsabilidades que persiguen respetar la libertad de otros.

Por ejemplo, si distribuye copias de tales programas, gratuitamente o no, debe transmitir a los destinatarios los mismos derechos que usted recibió. Debe asegurarse que ellos también reciban o puedan conseguir el código fuente. Y debe mostrarles estos términos y condiciones para que conozcan sus derechos.

Los desarrolladores que usen la GPL GNU protegen sus derechos de dos formas: (1) imponen derechos al software, y (2) le ofrecen esta Licencia para que legalmente lo copie, distribuya y/o modifique.

Para proteger a desarrolladores y autores, la GPL expone claramente que no existe garantía alguna para este software libre. Para beneficio de ambos, usuarios y autores, la GPL establece que las versiones modificadas deberán estar identificadas como tales, para que cualquier problema no sea atribuido por error a los autores de versiones anteriores.

Algunos dispositivos están diseñados para negar al usuario la instalación o la ejecución de versiones modificadas del software que usan internamente, aunque el fabricante sí pueda hacerlo. Esto es completamente incompatible con el objetivo de proteger la libertad de los usuarios para modificar el software. Este tipo de abuso sistemático ocurre con productos de uso personal, que es precisamente donde es menos aceptable. Por tanto, hemos diseñado esta versión de la GPL para prohibir estas prácticas en esos productos. Si apareciesen problemas similares en otros ámbitos, estaremos preparados para extender estas prestaciones a las próximas versiones de la GPL, tanto como sea necesario para proteger la libertad de los usuarios.

Por último, todo programa está constantemente amenazado por las patentes de software. Los estados no deberían permitir que las patentes restrinjan el desarrollo y el

uso de software en ordenadores de uso general; pero en aquellos que lo hagan, esperamos evitar el especial peligro que suponen las patentes, que aplicadas a un programa libre puedan hacerlo propietario en la práctica. Para prevenir eso, la GPL establece que las patentes no pueden usarse para convertir un programa en no-libre.

Términos y condiciones

0. Definiciones.

En adelante "Esta Licencia" se refiere a la versión 3 de la Licencia Pública General GNU.

"Copyright" también significa "leyes similares al copyright" que son aplicables a otro tipo de trabajos, tales como las máscaras de semiconductores.

"El Programa" se refiere a cualquier trabajo con copyright al que se haya aplicado esta Licencia. Cada beneficiario es asimilable a "usted". "Beneficiarios" y "destinatarios" pueden ser personas físicas u organizaciones.

"Modificar" un trabajo significa copiar o adaptar todo o parte de un trabajo, exceptuando la copia exacta, de manera que se requiera permiso de copyright. El trabajo resultante se denomina "versión modificada" de un trabajo anterior o trabajo "basado en" el trabajo anterior.

Un "trabajo amparado" puede ser tanto el Programa no modificado como un trabajo basado en el Programa.

"Difundir" un trabajo significa hacer cualquier cosa con él, sin permiso, que le haga directa o indirectamente responsable de infringir leyes cubiertas por copyright, excepto la ejecución en un ordenador o la modificación de una copia privada. La difusión incluye la copia, distribución (con o sin modificaciones), distribución pública, y en algunos países también otras actividades.

"Distribuir" un trabajo implica cualquier tipo de difusión que permite a la otra parte hacer o recibir copias. La mera interacción con un usuario mediante una red de ordenadores, sin transferir copia alguna, no se considera "distribución".

Una interfaz de usuario interactiva muestra "Avisos Legales Apropiados" siempre y cuando incluya características visuales apropiadas y destacadas que (1) muestren un aviso de copyright apropiado, y (2) indiquen al usuario que no existe garantía alguna para el trabajo (exceptuando las garantías que se hayan podido establecer), que los beneficiarios deben distribuir el trabajo según se establece en la presente Licencia, y cómo se puede ver una copia de esta Licencia. Si la interfaz muestra una lista de opciones o comandos, tales como menús, un elemento destacado en dicha lista cumple estos criterios.

1. Código Fuente.

El "código fuente" de un trabajo es el formato preferido para realizar modificaciones sobre él. "Código objeto" se refiere a cualquier formato del trabajo que no sea código fuente.

Una "Interfaz Estándar" se refiere a una interfaz que sea o bien un estándar oficial definido por una institución de estándares reconocida, o bien, en el caso de interfaces específicos para una determinado lenguaje de programación, una cuyo uso esté generalizada entre los desarrolladores que trabajan con ese lenguaje.

Las "Bibliotecas de Sistema" de un trabajo ejecutable incluyen a cualquier elemento, que no sea el trabajo completo, que (a) esté incluida/o de la misma forma que un componente principal, pero que no forme parte de ese componente principal, y (b) sólo sirva para habilitar la utilización del trabajo a través de ese componente

principal, o para implementar un Interfaz Estándar para el cual está disponible una implementación pública en código fuente. Un "Componente Principal", en este contexto, se refiere a un componente principal y esencial (núcleo, sistema de ventanas y similares) del sistema operativo particular (en su caso) sobre el cual funcione el ejecutable, o un compilador utilizado para generar el trabajo, o un intérprete del código objeto utilizado para ejecutarlo.

La "Fuente Correspondiente" de un trabajo en código objeto se refiere a todo código fuente necesario para generar, instalar, y (en el caso de trabajos ejecutables) ejecutar el código objeto y modificar el trabajo, incluyendo guiones que controlen esas actividades. Sin embargo, no se incluyen las Bibliotecas de Sistema del trabajo, o herramientas de propósito general o programas gratuitos habitualmente disponibles y usados sin ninguna modificación para realizar estas actividades pero que no forman parte del trabajo. Por ejemplo, la Fuente Correspondiente incluye los archivos de definición de interfaz asociados con archivos fuente del trabajo, y el código fuente de las bibliotecas compartidas o subprogramas enlazados dinámicamente que el programa requiere por diseño, como la comunicación de datos intrínseca o el control de flujo entre esos subprogramas y otras partes del trabajo.

La Fuente Correspondiente no incluye necesariamente aquello que los usuarios pueden regenerar automáticamente a partir de otras partes de la Fuente Correspondiente.

La Fuente Correspondiente de un trabajo en código fuente es ese mismo trabajo.

2. Permisos Básicos.

Todos los derechos garantizados por esta Licencia se otorgan como copyright del Programa, y se proporcionan de manera irrevocable siempre y cuando se cumplan las condiciones establecidas. Esta Licencia afirma explícitamente su permiso ilimitado para ejecutar el Programa sin modificaciones. El resultado de la ejecución de un programa amparado está cubierto por esta Licencia sólo en el caso de que la salida, por su contenido, constituya un trabajo amparado. Esta Licencia reconoce sus derechos de uso razonable u otro equivalente, tal y como determina la ley de copyright.

Usted podrá realizar, ejecutar y difundir trabajos amparados que no distribuya, sin condición alguna, siempre y cuando no tenga otra licencia más restrictiva. Podrá distribuir trabajos amparados a terceros con el mero objetivo de que ellos hagan modificaciones exclusivamente para usted, o para que le proporcionen ayuda para ejecutar esos trabajos, siempre que cumpla los términos de esta Licencia distribuyendo todo el material de cuyo copyright no posee el control. Aquellos que realicen o ejecuten los trabajos amparados para usted deben hacerlo exclusivamente en su nombre, bajo su dirección y control, con términos que les prohíban realizar copias de su material con copyright al margen de la relación con usted.

La distribución bajo otras circunstancias se permite únicamente bajo las condiciones establecidas más abajo. No está permitido sublicenciar; la cláusula 10 lo hace innecesario.

3. Protección de Derechos Legales de los Usuarios frente a Leyes Anti-Burla.

Ningún trabajo amparado debe considerarse parte de una medida tecnológica efectiva, a tenor de lo establecido en cualquier ley aplicable que cumpla las obligaciones expresas en el artículo 11 del tratado de copyright WIPO adoptado el 20 de diciembre de 1996, o leyes similares que prohíben o restringen la burla de tales medidas.

Cuando distribuya un trabajo amparado, renuncia a cualquier poder legal para prohibir la burla de medidas tecnológicas mientras tales burlas se realicen en ejercicio de derechos amparados por esta Licencia respecto al trabajo amparado; además, usted negará cualquier intención de limitar el uso o modificación del trabajo con el objetivo de imponer, al trabajo de los usuarios, sus derechos legales o de terceros para prohibir la burla de medidas tecnológicas.

4. Distribución de copias literales.

Usted podrá distribuir copias literales del código fuente del Programa tal y como lo ha recibido, por cualquier medio, siempre que publique de forma clara y llamativa en cada copia el correspondiente aviso de copyright; mantenga intactos todos los avisos que establezcan que esta Licencia y cualquier término no-permisivo añadido y acorde con la cláusula 7 son aplicables al código; mantenga intactos todos los avisos de ausencia de garantía; y proporcione a todos los destinatarios una copia de esta Licencia junto con el Programa.

Usted podrá cobrar cualquier importe o no cobrar nada por cada copia que distribuya, y podrá ofrecer soporte o protección de garantía mediante un pago.

5. Distribución de Versiones Modificadas de Código.

Usted podrá distribuir un trabajo basado en el Programa, o las modificaciones que lo producen a partir del Programa, como código fuente en virtud de los términos establecidos en la cláusula 4, siempre que cumpla todas las condiciones siguientes:

a) El trabajo debe incluir avisos destacados indicando que usted lo ha modificado y dando una fecha pertinente.

b) El trabajo debe incluir avisos destacados indicando que está realizado a tenor de lo dispuesto en la presente Licencia y en cualquier otra condición añadida en virtud de la cláusula 7. Este requisito modifica el requisito de "mantener intactos todos los avisos" expuesto en la cláusula 4.

c) En virtud del presente documento, usted deberá aplicar la licencia al trabajo completo, como un todo, a cualquier persona que esté en posesión de una copia. Por lo tanto, esta Licencia se aplicará junto con cualquier otra condición adicional aplicable de la cláusula 7, al conjunto completo del trabajo y todas y cada una de sus partes, independientemente de como sean agrupadas o empaquetadas. Esta Licencia no permite ser aplicada al trabajo de ninguna otra forma, pero no se anula dicho permiso si usted lo ha recibido por separado.

d) Si el trabajo tiene interfaces de usuario interactivos, cada uno debe mostrar Avisos Legales Apropriados; sin embargo, si el Programa tiene interfaces interactivos que no muestran Avisos Legales Apropriados, su trabajo no tiene porqué modificarlos para que lo hagan.

Un conjunto o recopilación formado por un trabajo amparado y otros trabajos distintos e independientes, que por su naturaleza no sean ampliaciones del trabajo amparado, que no se combinen con él de alguna forma para dar lugar a un programa mayor, y que estén ubicados en un medio de distribución o almacenamiento, se denomina "paquete" si la recopilación y su copyright al completo no son usados para limitar el acceso o los derechos legales de los usuarios de la recopilación, más allá de lo que permita el trabajo individual. La inclusión de un trabajo amparado en un paquete no hace aplicable esta Licencia al resto de elementos del paquete.

6. Distribución de código No-fuente.

Usted podrá distribuir el código objeto de un trabajo amparado en virtud de los términos de las cláusulas 4 y 5, siempre que también distribuya las Fuentes

Correspondientes en código máquina, de acuerdo con los términos establecidos en esta Licencia, de alguna de las siguientes maneras:

a) Distribuir el código objeto en, o embebido en, un producto físico (incluyendo medios de distribución físicos), acompañado de las Fuentes Correspondientes en un medio físico duradero y que sea utilizado habitualmente para el intercambio de software.

b) Distribuir el código objeto en, o embebido en, un producto físico (incluyendo medios de distribución físicos), acompañado de una oferta por escrito, válida al menos durante tres años y válida durante el tiempo en el que usted ofrezca recambios o soporte para ese modelo de producto, con el fin de ofrecer al poseedor del código objeto (1) una copia de las Fuentes Correspondientes a todo el software del producto que esté cubierto por esta Licencia, en un medio físico duradero habitual para el intercambio de software, a un precio no mayor que su coste razonable por distribuir físicamente las fuentes, o (2) acceso para copiar las fuentes correspondientes desde un servidor de red sin coste alguno.

c) Distribuir copias individuales del código objeto junto con una copia de la oferta por escrito para/con el fin de proporcionar las Fuentes Correspondientes. Esta alternativa sólo está permitida ocasionalmente, pero no de forma comercial, y solamente si usted recibió el código objeto junto con una oferta parecida, de acuerdo con la subcláusula 6b.

d) Distribuir el código objeto ofreciendo acceso desde un lugar determinado (gratuitamente o mediante pago), y ofrecer acceso equivalente a las Fuentes Correspondientes de la misma forma y en el mismo lugar sin cargo añadido. No es necesario exigir a los destinatarios que copien las Fuentes Correspondientes junto con el código objeto. Si el lugar para copiar el código objeto es un servidor de red, las Fuentes Correspondientes pueden estar en un servidor diferente (gestionado por usted o terceros) que ofrezca facilidades de copia equivalentes, siempre que mantenga instrucciones claras junto al código objeto especificando dónde encontrar las Fuentes Correspondientes. Independientemente de qué servidores alberguen las Fuentes Correspondientes, usted seguirá obligado a asegurar que estarán disponibles durante el tiempo necesario para cumplir estos requisitos.

e) Distribuir el código mediante transferencias entre usuarios, siempre que informe a otros usuarios dónde se ofrecen el código objeto y las Fuentes Correspondientes de forma pública sin cargo alguno, tal y como se establece en la subcláusula 6d.

Una parte separable del código objeto, cuyo código fuente esté excluido de las Fuentes Correspondientes como Biblioteca de Sistema, no necesita ser incluida en la distribución del código objeto del trabajo.

Un "Producto de Usuario" es tanto (1) un "producto de consumo", que se refiere a cualquier propiedad personal tangible habitualmente utilizada para fines personales, familiares o domésticos, o (2) cualquier cosa diseñada o vendida para ser incorporada como extensión/expansión para otro producto. Para determinar si un producto es un producto de consumo, los casos dudosos se resolverán favoreciendo el amparo. En el caso de un producto concreto recibido por un usuario particular, "de uso habitual" se refiere al uso típico o corriente de ese tipo de producto, independientemente de la situación del usuario particular o de la forma en que el usuario concreto utilice, o pretenda o se espere que pretenda utilizar, el producto. Un producto es un producto de consumo independientemente de si el producto tiene usos sustancialmente comerciales, industriales o distintos del consumo, a menos que tales usos representen la única forma posible de utilizar el producto.

Las "Instrucciones de Instalación" para un Producto de Usuario se refieren a cualquier método, procedimiento, clave de autorización, u otro tipo de información necesaria para instalar y ejecutar una versión modificada de un trabajo amparado en ese Producto de Usuario a partir de una versión modificada de las Fuentes Correspondientes. Las instrucciones deben ser suficientes para asegurar el funcionamiento continuo del código objeto modificado sin ningún tipo de condicionamiento o intromisión por el simple hecho de haber sido modificado.

Si, bajo las premisas de esta cláusula, usted distribuye el código objeto de un trabajo en, o con un Producto de Usuario o específicamente para ser usado en el mismo, y la distribución forma parte de una transacción donde los derechos de posesión y uso del Producto de Usuario se transfieren al destinatario a perpetuidad o durante un plazo fijo de tiempo (independientemente de las características de la transacción), las Fuentes Correspondientes distribuidas bajo estos supuestos deben acompañarse de las Instrucciones de Instalación. Sin embargo, estos requerimientos no se aplican si ni usted ni terceros tienen posibilidad de instalar el código objeto modificado en el Producto de Usuario (por ejemplo, el trabajo ha sido instalado en memoria de sólo lectura, ROM):

El requerimiento de proporcionar Información de Instalación no incluye el hecho de continuar proporcionando servicio de soporte, garantía, o actualizaciones para un trabajo que haya sido modificado o instalado por el destinatario, o para el Producto de Usuario en el que se haya modificado o instalado. El acceso a la red puede ser denegado cuando la propia modificación afecte materialmente y de forma adversa a la operación de la red o viole las reglas y protocolos de comunicación en la red.

Las Fuentes Correspondientes distribuidas, y las Instrucciones de Instalación proporcionadas de acuerdo con esta cláusula, deben figurar en un formato documentado públicamente (y con una implementación disponible para el público en código fuente), y no deben necesitar claves de acceso especiales para la descompresión, lectura o copia.

7. Condiciones adicionales.

Los "Permisos Adicionales" son condicionantes que amplían los términos de esta Licencia permitiendo excepciones a una o más de sus condiciones. Los Permisos Adicionales que son aplicables al Programa completo deberán ser tratados como si estuviesen incluidos en esta Licencia, hasta los límites de validez impuestos por las leyes aplicables. Si los permisos adicionales se aplicasen sólo a una parte del Programa, esa parte podría ser usada de forma independiente en virtud de dichos permisos, pero el Programa completo seguiría estando afectado por esta Licencia con independencia de los permisos adicionales.

Cuando distribuya una copia de un trabajo amparado, usted podrá opcionalmente eliminar cualquier permiso adicional de esa copia, o de alguna parte del mismo. (Los permisos adicionales pueden haber establecido que sea requerida su eliminación en ciertos supuestos si usted modifica el trabajo.) Usted puede establecer permisos adicionales en material añadido por usted a un trabajo amparado, sobre el cual tiene o podrá aportar sus permisos de copyright correspondientes.

Sin contravenir cualquier otra estipulación en esta Licencia, usted podrá, para el material que añada a un trabajo amparado, (si está autorizado por los poseedores de copyright de ese material) añadir condiciones a esta Licencia con los siguientes términos:

a) Ausencia de garantía o limitación de responsabilidad diferente de los términos establecidos en las cláusulas 15 y 16 de esta Licencia; u

b) Obligación de mantener determinados avisos legales razonables o atribuciones de autoría en el material o en los Avisos Legales Correspondientes mostrados por los trabajos que lo contengan; o

c) Prohibir la tergiversación del origen del material, o solicitar que las diferencias respecto a la versión original sean señaladas de forma apropiada en las versiones modificadas del material; o

d) Limitar la utilización de los nombres de los autores o beneficiarios del material con fines divulgativos; o

e) Negarse a ofrecer derechos afectados por leyes de registro para el uso de marcas empresariales, registradas o de servicio; o

f) Exigir indemnización a los autores y poseedores de la licencia de ese material, por parte de cualquier persona que distribuya el material (o versiones modificadas del mismo), estableciendo obligaciones contractuales de responsabilidad sobre el destinatario, para cualquier responsabilidad que estas obligaciones contractuales impongan directamente sobre los autores y poseedores de licencia.

Cualesquiera otras condiciones adicionales no-permisivas son consideradas "otras restricciones" en el contexto de la cláusula 10. Si el Programa, tal cual lo recibió, o cualquier parte del mismo, contiene un aviso indicando que está amparado por esta Licencia junto a una cláusula de restricción posterior específica, usted podrá suprimir esa cláusula. Si un documento de licencia contiene una restricción de este tipo pero permite modificar la licencia o la distribución en virtud de la presente Licencia, usted podrá añadirla al material de un trabajo amparado por los términos de ese documento de licencia, siempre que dicha restricción no se mantenga tras la modificación de la licencia o la distribución.

Si añade condiciones para un trabajo amparado, a tenor de lo establecido en la presente cláusula, usted deberá ubicar, en los archivos fuente involucrados, una declaración de los términos adicionales aplicables a esos archivos, o un aviso indicando dónde localizar los términos aplicables.

Las condiciones adicionales, permisivas o no, deben aparecer por escrito como licencias separadas, o figurar como excepciones; de todas formas, los requisitos anteriores siempre son aplicables.

8. Cancelación.

Usted no podrá distribuir o modificar un trabajo amparado salvo de la forma en la que se ha previsto expresamente en esta Licencia. Cualquier intento diferente de distribución o modificación será considerado nulo, y automáticamente cancelará sus derechos respecto a esta Licencia (incluyendo cualquier patente conseguida según el párrafo tercero de la cláusula 11).

Sin embargo, si deja de violar esta Licencia, entonces su licencia desde el poseedor del copyright correspondiente será restituida (a) provisionalmente, a menos que y hasta que el poseedor del copyright dé por terminada explícita y permanentemente su licencia, y (b) permanentemente, si el poseedor del copyright no le ha notificado por algún cauce de la violación no después de los 60 días posteriores al cese.

Además, su licencia desde el poseedor del copyright correspondiente será restituida permanentemente si el poseedor del copyright le notifica de la violación por algún cauce, es la primera vez que recibe la notificación de violación de esta Licencia (para cualquier trabajo) de ese poseedor de copyright, y usted subsana la violación antes de 30 días desde la recepción del aviso.

La cancelación de sus derechos según esta cláusula no da por canceladas las licencias de terceros que hayan recibido copias o derechos a través de usted con esta Licencia. Si sus derechos han finalizado y no han sido restituidos de forma permanente, usted no está capacitado para recibir nuevas licencias para el mismo material en virtud de la cláusula 10.

9. Aceptación no obligatoria por tenencia de copias.

No está obligado a aceptar esta Licencia por recibir o ejecutar una copia del Programa. La distribución de un trabajo amparado surgida simplemente como consecuencia de la transmisión entre usuarios para obtener una copia tampoco requiere aceptación. Sin embargo, únicamente esta Licencia le otorga permiso para distribuir o modificar cualquier trabajo amparado. Estas acciones infringen el copyright si usted no acepta los términos y condiciones de esta Licencia. Por lo tanto, al modificar o distribuir un trabajo amparado, usted indica que acepta la Licencia.

10. Herencia automática de licencia para destinatarios.

Cada vez que distribuya un trabajo amparado, el destinatario recibirá automáticamente una licencia desde los poseedores originales, para ejecutar, modificar y distribuir ese trabajo, al amparo de los términos de esta Licencia. Usted no será responsable de asegurar el cumplimiento por terceros de esta Licencia.

Una "transacción de entidad" es una transacción que transfiere el control de una organización, o todos los bienes sustanciales de una, o subdivide una organización, o fusiona organizaciones. Si la distribución de un trabajo amparado surge de una transacción de entidad, cada parte involucrada en esa transacción que reciba una copia del trabajo, también recibe todas y cada una de las licencias existentes del trabajo que la parte interesada tuviese o pudiese ofrecer según el párrafo anterior, además del derecho a tomar posesión de las Fuentes Correspondientes del trabajo a través de la parte interesada, si está en poder de dicha parte o se puede conseguir con un esfuerzo razonable.

Usted no podrá imponer restricciones posteriores en el ejercicio de los derechos otorgados o concedidos en virtud de la presente Licencia. Por ejemplo, usted no puede imponer a la licencia pagos, derechos u otros cargos por el ejercicio de los derechos otorgados según esta Licencia; además no podrá iniciar litigios (incluyendo demandas o contrademandas en pleitos) alegando que se infringen patentes por cambiar, usar, vender, ofrecer en venta o importar el Programa, o cualquier parte del mismo.

11. Patentes.

Un "colaborador" es un poseedor de copyright que autoriza el uso del Programa o un trabajo en el que se base el Programa bajo los términos y condiciones establecidos en la presente Licencia. El trabajo con esta licencia se denomina "versión en colaboración" con el colaborador.

Todas las reivindicaciones de patentes en posesión o controladas por el colaborador se denominan "demandas de patente original", ya sean existentes o adquiridas con posterioridad, que hayan sido infringidas de alguna forma permitida por esta Licencia, al hacer, usar o vender la versión en colaboración, pero sin incluir demandas que sólo sean infracciones como consecuencia de modificaciones posteriores de la versión en colaboración. Para aclarar esta definición, "control" incluye el derecho de conceder sublicencias de patente de forma que no contravenga los requisitos establecidos en la presente Licencia.

Cada colaborador le concede a usted una licencia de la patente no-exclusiva, global y libre de derechos bajo las reivindicaciones de patente de origen del colaborador, para el uso, modificación, venta, ofertas de venta, importación y otras

formas de ejecución, modificación y redistribución del contenido de la versión en colaboración.

En los siguientes tres párrafos, una "licencia de patente" se refiere a cualquier acuerdo o compromiso expreso y manifiesto, cualquiera que sea su denominación, que no imponga una patente (como puede ser el permiso expreso para ejecutar una patente o acuerdos para no imponer demandas por infracción de patente). "Conceder" estas licencias de patente a un tercero significa llegar a tal tipo de acuerdo o compromiso que no imponga una patente al tercero.

Si usted distribuye un trabajo amparado, conociendo que está afectado por una licencia de patente, y no están disponibles de forma pública para su copia las Fuentes Correspondientes, sin cargo alguno y bajo los términos de esta Licencia, ya sea a través de un servidor de red público o mediante cualquier otro medio, entonces usted deberá o bien (1) permitir que sean públicas las Fuentes Correspondientes, o (2) tratar de eliminar los beneficios de la licencia de patente para este trabajo en particular, o (3) tratar de extender, de una forma que no contravenga los requisitos de esta Licencia, la licencia de patente a terceros. "Conocer que está afectado" significa que usted tiene conocimiento real de que, para la licencia de patente, la distribución del trabajo amparado en un determinado país, o el uso del trabajo amparado por sus destinatarios en un determinado país, infringiría una o más patentes existentes en ese país que usted considera aplicables por algún motivo.

Si, de conformidad con alguna transacción o acuerdo(o en un proceso relacionado con ellos), usted distribuye o distribuye con fines de distribución , un trabajo amparado, concediendo una licencia de patente para algún tercero que reciba el trabajo amparado, y autorizándole a usar, distribuir, modificar o distribuir una copia específica del trabajo amparado, entonces la licencia de patente que usted otorgue se extiende automáticamente a todos los receptores del trabajo amparado y cualquier trabajo basado en el mismo.

Una licencia de patente es "discriminatoria" si no incluye dentro de su ámbito de cobertura, prohíbe el ejercicio, o está condicionada a no ejercitar uno o más de los derechos que están específicamente otorgados por esta Licencia. Usted no debe distribuir un trabajo amparado si está implicado en un acuerdo con terceros que estén relacionados con el negocio de la distribución de software, en el que usted haga pagos relacionados con su actividad de distribución del trabajo, y donde se otorgue, a cualquier receptor del trabajo amparado, una licencia de patente discriminatoria (a) en relación con las copias del trabajo amparado distribuido por usted (o copias hechas a partir de éstas), o (b) directa o indirectamente relacionadas con productos específicos o paquetes que contengan el trabajo amparado, a menos que usted forme parte del acuerdo, o que esa licencia de patente fuese otorgada antes del 28 de marzo de 2007.

Ninguna disposición de esta Licencia se considerará como excluyente o limitante de la aplicación de cualquier otra licencia o defensas legales contra la violación de las leyes de propiedad intelectual a que pudiera tener derecho bajo la ley de propiedad intelectual vigente.

12. No condicionamiento de la libertad de terceros.

Si a usted le son impuestas condiciones que contravienen las estipuladas en la presente Licencia (ya sea por orden judicial, acuerdo u otros), no quedará eximido de cumplir las condiciones de esta Licencia. Si usted no puede distribuir un trabajo amparado cumpliendo simultáneamente sus obligaciones con esta Licencia y con cualquier otra pertinente, entonces no podrá distribuirlo de ninguna forma. Por ejemplo, si usted se compromete con términos que le obligan a obtener derechos por la distribución a terceros, la única forma de satisfacer ambos condicionantes y esta Licencia es abstenerse completamente de distribuir el Programa.

13. Uso conjunto con la Licencia Pública General Affero GNU.

Sin contravenir las disposiciones de la presente Licencia, usted tendrá permiso para enlazar o combinar cualquier trabajo amparado con otro trabajo amparado por la versión 3 de la Licencia Pública General Affero GNU y formar un solo trabajo combinado, y distribuir el trabajo resultante. Los términos de esta Licencia seguirán siendo aplicables a la parte formada por el trabajo amparado, pero los condicionantes especiales de la Licencia Pública General Affero GNU, en su cláusula 13, relativos a la interacción mediante redes, serán aplicables a la combinación de ambas partes.

14. Versiones Revisadas de esta Licencia.

La Fundación para el Software Libre podrá publicar revisiones y/o nuevas versiones de la Licencia Pública General GNU de vez en cuando. Esas versiones serán similares en espíritu a la versión actual, pero podrán diferir en algunos detalles para afrontar nuevos problemas o situaciones.

A cada versión se le da un número distintivo. Si el Programa especifica que le es aplicable cierto número de versión de la Licencia Pública General o "cualquier versión posterior", usted tendrá la posibilidad de adoptar los términos y condiciones de la versión indicada o de cualquier otra versión posterior publicada por la Fundación para el Software Libre. Si el Programa no especifica un número de versión de la Licencia Pública General, usted podrá elegir cualquier versión que haya sido publicada por la Fundación para el Software Libre.

Si el Programa especifica que un apoderado/representante puede decidir qué versiones de la Licencia Pública General pueden aplicarse en el futuro, la declaración pública de aceptación que el apoderado/representante haga de una versión le autoriza a usted con carácter permanente a elegir esa versión para el Programa.

Versiones posteriores de la licencia podrán otorgarle permisos adicionales o diferentes. Sin embargo, no podrán imponerse obligaciones adicionales a cualquier autor o poseedor de copyright como consecuencia de que usted adopte una versión posterior.

15. Ausencia de Garantía.

El programa no tiene garantía alguna, hasta los límites permitidos por las leyes aplicables. Salvo cuando se establezca lo contrario por escrito, el poseedor del copyright y/o terceros proporcionarán el programa "tal cual" sin garantía de ningún tipo, ya sea explícita o implícita, incluyendo, pero sin limitarse a, las garantías implícitas mercantiles y de aptitud para un propósito determinado. Usted asumirá cualquier riesgo relativo a la calidad y rendimiento del programa. Si el programa fuese defectuoso, usted asumirá cualquier coste de servicio, reparación o corrección.

16. Limitación de Responsabilidad.

En ningún caso, salvo requerimiento por leyes aplicables o mediante acuerdo por escrito, podrá un poseedor de copyright, o un tercero que modifique o distribuya el programa según lo indicado anteriormente, hacerle a usted responsable de daño alguno, incluyendo cualquier daño general, especial, ocasional o derivado que surja del uso o la incapacidad de uso del programa (incluyendo pero sin limitarse a la pérdida de datos o la presentación no precisa de los mismos o a pérdidas sufridas por usted o terceros o al fallo del programa al interactuar con otros programas), incluso en el caso de que el poseedor o un tercero haya sido advertido de la posibilidad de tales daños.

17. Interpretación de las cláusulas 15 y 16.

Si la ausencia de garantía y la limitación de responsabilidad descrita anteriormente no tuviesen efecto legal a nivel local en todos sus términos, los juzgados aplicarán las leyes locales que más se aproximen a la exención de responsabilidad civil en lo relativo al Programa, a menos que la copia del Programa esté acompañada mediante pago de una garantía o compromiso de responsabilidad.

Conclusiones

Con la aplicación desarrollada se ha conseguido un software *open source* para realizar evaluaciones de impacto ambiental de una amplia gama de proyectos de ingeniería, con una interfaz amigable y apta para los no iniciados en la temática.

La principal innovación se encuentra en la inclusión de elementos de inferencia mediante lógica borrosa, metodología de investigación actualmente en auge, que resultan de una gran ayuda para la estimación de ciertas características que presentan gran subjetividad y suponen complicaciones para los no expertos en la materia.

Además, se ha facilitado la muestra, recopilación e impresión de los datos obtenidos mediante la utilización de un sistema de reportes multiformato, que nos proporciona documentos claros e intuitivos, fácilmente interpretables.

Actualmente, el mercado del software dedicado a esta rama es muy pobre, existen pocas aplicaciones desarrolladas y con grandes divergencias en las metodologías usadas. Además, la mayoría de ellas, no presentan licencias gratuitas, lo que repercute negativamente en el uso docente de las mismas. La aplicación desarrollada, al ser gratuita y ampliable, cubre esta laguna, permitiéndose su uso en el ámbito docente, lo que contribuirá a la formación de futuros ingenieros y licenciados.

Problemas abiertos y posibles ampliaciones

El sistema desarrollado presenta la metodología de EIA más básica, pudiendo ser ampliado en múltiples puntos.

Actualmente se presentan plantillas de proyectos de ingeniería de las obras más comunes, pudiéndose ampliar añadiendo una gama más amplia de estas.

El listado de factores ambientales que se ha considerado, en el proyecto desarrollado, actualmente es fijo, se ha intentado que englobe a los más usados. Se podría ampliar considerando otros cuyo uso no sea tan extendido.

Uno de los puntos finales y de importancia dentro de los proyectos EIA es la aplicación de medidas correctoras, protectoras y compensatorias, que desencadenaría una segunda valoración del impacto con el objetivo de reducir su impacto negativo, con la consiguiente mejora a nivel global del impacto ambiental del proyecto considerado. Este punto no se ha podido incluir en este desarrollo realizado, debido a la limitación temporal que presenta la realización del mismo.

La metodología EIA presenta subjetividad en algunos de sus conceptos, las definiciones pueden ser ampliamente interpretadas, por lo que la inclusión de métodos basados en lógica difusa puede ayudar a la toma de decisiones en estos aspectos. Por ejemplo, se podría incluir lógica difusa para la elección de las funciones de transformación de la valoración cuantitativa de los impactos. También se podría incluir para la elección de las características de las categorías consideradas en la valoración cualitativa.

Además sería interesante la ampliación con la aplicación de otras metodologías existente para el estudio del impacto ambiental, para que pueda ofrecerse una visión comparativa entre las mismas.

Presentaría gran interés la ampliación de la información a presentar en los informes generados (sistema de reportes). Dicha información a recopilar se encuentra limitada por las funcionalidades que ofrece la librería *JasperReports*. En las sucesivas revisiones del producto se van incrementando las posibilidades que éste ofrece, al incluir nuevos comandos *XPath*, más formatos compatibles, etc.

A niveles generales, se podría considerar otro proyecto de sistemas informáticos (SI), basado en la ampliación del presente, en los puntos concretados anteriormente.

Bibliografía y páginas Web de referencia

- *Evaluación de Impacto Ambiental*. 1ª Edición (2005). Garmendia Salvador, Alfonso. Salvador Alcaide, Adela. Crespo Sánchez, Cristina. Garmendia Salvador, Luis. Prentice Hall: Pearson Education. ISBN: 84-205-4398-5.
- *Evaluación de Impacto Ambiental: Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. 2ª Edición (2002). Gómez Orea, Domingo. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-084-7.
- *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. 3ª Edición (2003). Conesa Fernández-Vitoria, Vicente. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-7114-647-9
- *Sistema de riego inteligente borroso*. Sistemas Informáticos 2006/2007 - UCM. Guijarro Mata-García, María. Tortajada Agudo, Estefanía. González Rivas, Fernando, Garmendia Salvador, Luis.
- *Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental (AEEIA)*. <<http://www.eia.es/>> [Consulta: noviembre 2008].
- *JasperForge: iReport*. <<http://jasperforge.org/projects/ireport/>> [Consulta: diciembre 2008].
- *JasperForge: JasperReports*. <<http://jasperforge.org/projects/jasperreports/>> [Consulta: diciembre 2008].
- *Java: Le Funes*. <<http://lefunnes.wordpress.com/java/>> [Consulta: diciembre 2008].
- *Java SE Desktop Technologies: JavaHelp System*. <<http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/javahelp/>> [Consulta: febrero 2009].
- *JFreeChart*. <<http://www.jfree.org/jfreechart/>> [Consulta: diciembre 2008].
- *Licencia pública general GNU (GNU GPL)*. <<http://www.viti.es/gnu/licenses/gpl.html/>> [Consulta: marzo 2009].
- *Wikilibros: Impactos ambientales*. <http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales> [Consulta: noviembre 2008].
- *Wikipedia: Swing (biblioteca gráfica)*. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Swing_\(biblioteca_gr%C3%A1fica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Swing_(biblioteca_gr%C3%A1fica))> [Consulta: diciembre 2008].
- *Wikipedia: XPath*. <<http://es.wikipedia.org/wiki/XPath/>> [Consulta: diciembre 2008].
- *Xfuzzy Home Page*. <http://www.imse.cnm.es/Xfuzzy/index_sp.html/> [Consulta: marzo 2009].

Apéndice

Se adjuntan, a modo de apéndice, los siguientes documentos:

- *Guía de uso EIA09.*



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**FACULTAD DE INFORMÁTICA
SISTEMAS INFORMÁTICOS
CURSO 2008/2009**

APÉNDICE
GUÍA DE USO
EIA09



Vicente Cruz Mínguez
Enrique Gallego Martín
Luis González de Paula

Dirigido por:

Luis Garmendia Salvador

*Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial
Facultad de Informática - Universidad Complutense de Madrid*



Codirigido por:

Alfonso Garmendia Salvador

Instituto Agroforestal Mediterráneo

ETS del Medio Rural y Enología - Universidad Politécnica de Valencia



**UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE VALENCIA**

Índice

Introducción a EIA09.....	128
¿Qué es EIA09?	128
Instrucciones de ejecución	128
Interfaz de la aplicación.	129
Gestión de proyectos.....	131
Metodología	131
Creación de proyectos	131
Autoría de proyectos.....	132
Autoría de factores ambientales.....	133
Evaluación	133
Generación de informes.....	134
Guardar proyectos	134
Cargar proyectos	134
Alternativas de realización	136
¿Qué es una alternativa?	136
Creación de alternativas	136
Autoría de alternativas.	137
Autoría de acciones	137
Eliminación de alternativas.....	138
Valoración	139
Efectos/impactos sobre el medio	140
¿Qué es un efecto/impacto?	140
Creación de efectos.	140
Autoría de efectos.....	141
Eliminación de efectos	142
Valoración cualitativa	142
Valoración cuantitativa.....	144
Valoración global	146

Guía de uso EIA09

Introducción a EIA09

¿Qué es EIA09?

EIA09 es una aplicación open-source que facilita realización de proyectos de evaluación de impacto ambiental (EIA). Permite la definición de diferentes alternativas de realización del proyecto, en las cuales se indican y valoran los efectos/impactos ambientales según se considere apropiado, obteniendo distintas valoraciones globales, facilitando la elección de la alternativa más adecuada.

Instrucciones de ejecución.

Requerimientos

Para ejecutar EIA09 se requiere la instalación previa de la tecnología *Java* de *Sun Microsystems*, en su versión 6, que se encuentra disponible en <http://www.java.com/es/download/>

Versiones EIA09

La aplicación desarrollada se presenta en dos versiones:

- *EIA09.1.0-bin.zip*: comprimido que contiene la aplicación compilada y lista para su ejecución.
- *EIA09.1.0-src.zip*: comprimido que contiene el código fuente de la aplicación, compilada como proyecto JAVA importable en el entorno de desarrollo *Eclipse*. Se incluye además la documentación *javaDoc* con información detallada de la implementación seguida.

La primera versión está destinada para la utilización convencional de la aplicación, siendo la segunda versión válida para desarrolladores.

Distribución de la aplicación

La aplicación (versión *EIA09.1.0-bin*), una vez descomprimida, presenta la siguiente distribución:

- */help*: contiene los archivos que componen el sistema de ayuda interactiva de la aplicación.
- */images*: contiene las imágenes que utiliza la interfaz de la aplicación.
- */informes*: carpeta que se presenta por defecto para guardar los informes generados por la aplicación.
- */plantillas*: incluye las DTD y los archivos XML que contienen las plantillas de efectos y acciones que se han considerado.
- */proyectos*: carpeta que se presenta por defecto para guardar los proyectos tratados por la aplicación.
- */reportes*: carpeta para el almacenamiento de los archivos temporales que se crean durante la generación de los informes.
- *EIA09.1.0.jar*: Archivo ejecutable de la aplicación.

Información para ejecución

La aplicación puede ejecutarse mediante la apertura del fichero *EIA09.1.0.jar*, contenido en el comprimido *EIA09.1.0-bin.zip*.

Información para desarrolladores

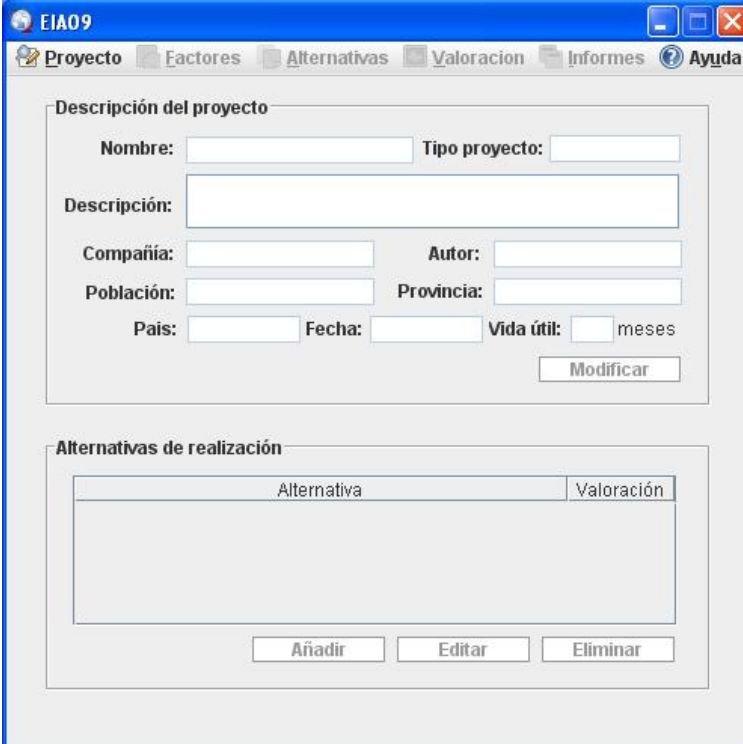
Para importar la aplicación, desde la versión para desarrolladores (*EIA09.1.0-src*), en el entorno de desarrollo *Eclipse*, basta con seleccionar '*Import*', marcar '*Existing project in workspace*', seleccionar la ubicación del proyecto, marcar su nombre '*EIA09-Swing*' y hacer click en '*import*'.

Interfaz de la aplicación.

EIA09 presenta una interfaz sencilla y amigable, basada en una serie de ventanas anidadas, facilitando su interacción manteniendo el foco en la ventana en uso.

Existen tres pantallas principales:

- Ventana principal "EIA09". Contiene la información global del proyecto (panel *Descripción del proyecto*) y el listado de alternativas de realización. Además consta de una barra de herramientas en la parte superior en la que se da acceso a las principales acciones que podemos realizar sobre el mismo.



The screenshot shows the EIA09 application window. The title bar reads 'EIA09'. Below the title bar is a menu bar with options: 'Proyecto', 'Factores', 'Alternativas', 'Valoración', 'Informes', and 'Ayuda'. The main content area is divided into two sections. The top section, titled 'Descripción del proyecto', contains several input fields: 'Nombre:', 'Tipo proyecto:', 'Descripción:', 'Compañía:', 'Autor:', 'Población:', 'Provincia:', 'País:', 'Fecha:', and 'Vida útil: [] meses'. A 'Modificar' button is located at the bottom right of this section. The bottom section, titled 'Alternativas de realización', features a table with two columns: 'Alternativa' and 'Valoración'. Below the table are three buttons: 'Añadir', 'Editar', and 'Eliminar'.

- Ventana "Alternativas de realización". Contiene la lista de acciones en la parte superior izquierda, la lista de factores en la parte superior derecha y la lista de efectos en la parte inferior.

- Ventana “Efecto”. Está compuesta por tres pestañas, en las que se facilitan las opciones de edición y valoración del efecto/impacto:
 - o *Ficha general.*
 - o *Valoración cualitativa.*
 - o *Valoración cuantitativa.*

Gestión de proyectos

Metodología.

A continuación se describen brevemente la metodología de uso de la aplicación.

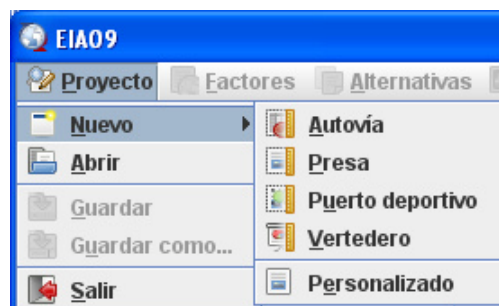
En primer lugar se debe crear un proyecto nuevo del tipo deseado, o cargar uno ya existente. Después se crean las alternativas del proyecto, teniendo en cuenta que en cualquier momento se podrán añadir más si se considera necesario.

A continuación nos dispondremos a editar las alternativas una a una para conseguir una medida de valoración de las mismas. Para ello debemos crear los efectos que creamos oportunos a partir de las acciones y factores ambientales que deseemos. Estos efectos pueden ser de varios tipos de enjuiciamiento: despreciable, especial, impredecible y significativo. Sólo los efectos significativos podrán someterse a valoración, siendo este el siguiente paso, editar los efectos de cada alternativa generando su valoración cuantitativa, cualitativa, a partir de las cuales obtener su valoración global y su carácter. Una vez valorados todos los efectos de cada alternativa, obtendremos la valoración global de la misma.

Una vez valoradas todas las alternativas, podremos determinar la alternativa de realización más adecuada para nuestro proyecto y generar, si se desea, un informe detallado del todo el proceso.

Creación de proyectos.

Para crear un nuevo proyecto EIA09, pulsar sobre la pestaña *Proyecto* de la ventana principal de la aplicación, que muestra las siguientes opciones: *Nuevo*, *Abrir* y *Salir*. Si seleccionamos sobre *Nuevo* permitirá elegir entre varios modelos de proyectos. Elegir la adecuada. La diferencia entre cada uno de los tipos de proyectos es la lista de acciones predefinida, que se adecua al modelo elegido. La plantilla *Personalizado* permite definir al usuario enteramente la lista de acciones a considerar.



Aparecerá la siguiente pantalla, en la cual habrá que indicar el nombre del proyecto y una breve descripción. Una vez completados los campos pulsaremos *Aceptar*. Si pulsamos *Cancelar* el proyecto no se creará, y volveríamos a la pantalla principal.

Una captura de pantalla de la ventana 'Nuevo proyecto'. La ventana tiene un título 'Nuevo proyecto' y un botón de cerrar. El contenido principal es un formulario con el título 'Información del proyecto'. Hay tres campos de texto: 'Nombre:' con el valor 'Autovía Segovia-Madrid', 'Descripción:' con el texto 'Consiste en la construcción de una autovía que una las localidades de Segovia y Madrid, atravesando la sierra de Guadarrama.', y 'Tipo:' con el valor 'AUTOVÍA'. En la parte inferior hay dos botones: 'Aceptar' y 'Cancelar'.

Una vez creado el proyecto, observamos que la información aparece en la pantalla principal. Los datos no se pueden editar simplemente con pulsar sobre cada uno de los campos, es necesario pulsar sobre el botón *Modificar* que se encuentra justo debajo de los datos.

Ahora se pueden ver y modificar la lista de factores de este proyecto y añadir, editar o eliminar alternativas de realización.

The screenshot shows the EIA09 software window with the following elements:

- Project Description Form:**
 - Nombre:** Autovía Segovia-Madrid
 - Tipo proyecto:** AUTOVÍA
 - Descripción:** Consiste en la construcción de una autovía que una las localidades de Segovia y Madrid, atravesando la sierra
 - Compañía:** (empty)
 - Autor:** (empty)
 - Población:** (empty)
 - Provincia:** (empty)
 - Pais:** (empty)
 - Fecha:** 01-01-2009
 - Vida útil:** 0 meses
 - Modificar** button
- Alternativas de realización:**
 - Table with columns: Alternativa, Valoración
 - Buttons: Añadir, Editar, Eliminar

Nota: Observamos que inicialmente, cuando no se está trabajando en ningún proyecto, no se puede realizar ninguna acción hasta que no se cree uno nuevo o se cargue uno ya existente.

Autoría de proyectos.

Sobre un proyecto EIA09, podemos realizar distintas acciones de edición: editar la ficha de datos, editar la lista de factores considerada, o añadir/eliminar alternativas de realización.

Se permite editar la ficha de datos del proyecto. Para ello pulsar el botón *Modificar* que se encuentra en el panel *Descripción del proyecto*, y tras realizar los cambios pertinentes, confirmar la modificación pulsando sobre el botón *Aceptar*.

The screenshot shows the EIA09 software window with the following elements:

- Project Description Form:**
 - Nombre:** Autovía Segovia-Madrid
 - Tipo proyecto:** AUTOVÍA
 - Descripción:** Consiste en la construcción de una autovía que una las localidades de Segovia y Madrid, atravesando la sierra
 - Compañía:** EIACarreteras
 - Autor:** Pedro Gacía
 - Población:** Madrid
 - Provincia:** Madrid
 - Pais:** España
 - Fecha:** 01-01-2009
 - Vida útil:** 60 meses
 - Aceptar** and **Modificar** buttons

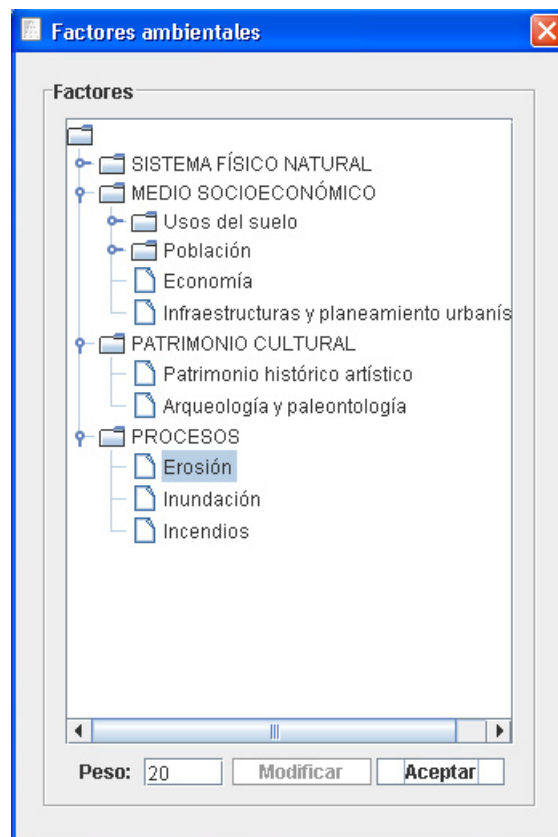
Además también se puede ver y modificar la lista de factores del proyecto, y añadir/eliminar las diferentes alternativas del proyecto para su posterior edición (ver siguientes secciones de esta guía para ver detalles de dichos procesos).

Autoría de factores ambientales.

Desde la ventana principal de la aplicación podemos ver el listado de factores y modificar los pesos de estos pulsando sobre la opción que deseemos de la pestaña *Factores* del menú principal.

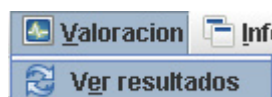


Con las dos opciones llegaremos a una ventana de similares características a la que se muestra. Para modificar el peso de un factor, seleccionamos un factor (debe ser una hoja del árbol) y pulsamos el botón *Modificar*. Escribir el valor número del peso que deseemos y pulsaremos *Aceptar* para confirmar esta acción. Para salir, basta con cerrar la ventana.



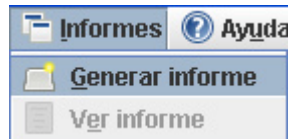
Evaluación.

Una vez valoradas todas las alternativas de realización del proyecto dispondremos de la opción de evaluarlas. Para ello pulsaremos sobre *Ver resultados* dentro del submenú de *Valoración* del menú de la ventana principal.

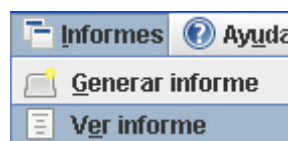


Generación de informes.

Cuando se ha realizado de manera completa la valoración del proyecto de evaluación de impacto ambiental (todas las alternativas de realización han sido valoradas), se da la posibilidad de generar informes. Para ello pulsar *Informes* en el menú principal de la aplicación, y seleccionar *Generar informe*.

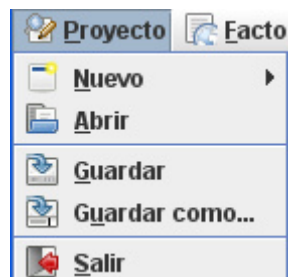


El resultado es la creación del informe con toda la información del proyecto en formato PDF, que será ubicado en el directorio *informes*, dentro del directorio de la aplicación. Posteriormente a dicha generación, en el mismo menú se activará la opción de *Ver informe*, que nos posibilita mostrar en una ventana de la aplicación el informe generado, mediante una utilidad que facilita su visualización.



Guardar proyectos.

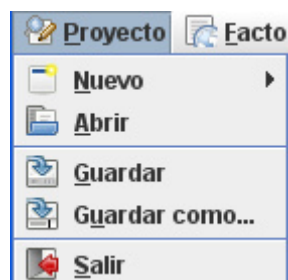
En cualquier momento de la ejecución de la aplicación podremos salvar el estado del proyecto, pulsando *Guardar* o *Guardar como* de la pestaña *Proyectos* del menú principal. La carpeta que aparece por defecto es el directorio */proyectos* situado en la carpeta raíz de la aplicación.



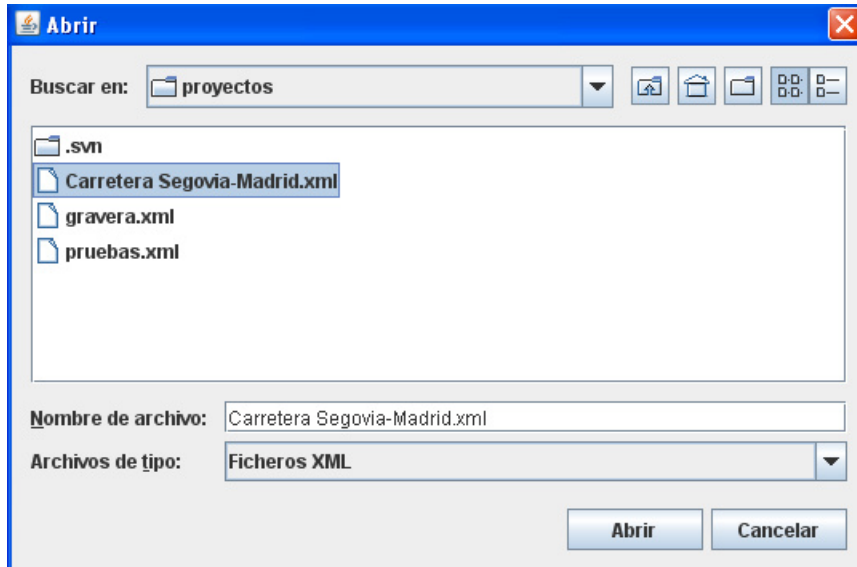
Nota: Cuando el proyecto se guarda por primera vez solo se tendrá la opción *Guardar como* que exige al usuario dar un nombre al proyecto y elegir donde desea guardarlo. También se debe destacar que al comienzo de la ejecución del programa, al no estar trabajando sobre ningún proyecto, no están habilitadas estas opciones.

Cargar proyectos.

Para cargar un proyecto ya existente pulsamos sobre la opción *Abrir* de la pestaña *Proyecto*, del menú principal de la aplicación.



Aparecerá una ventana como la siguiente, en la que podremos seleccionar el proyecto que deseamos cargar. Por defecto se parte de la carpeta */proyectos* del directorio raíz.



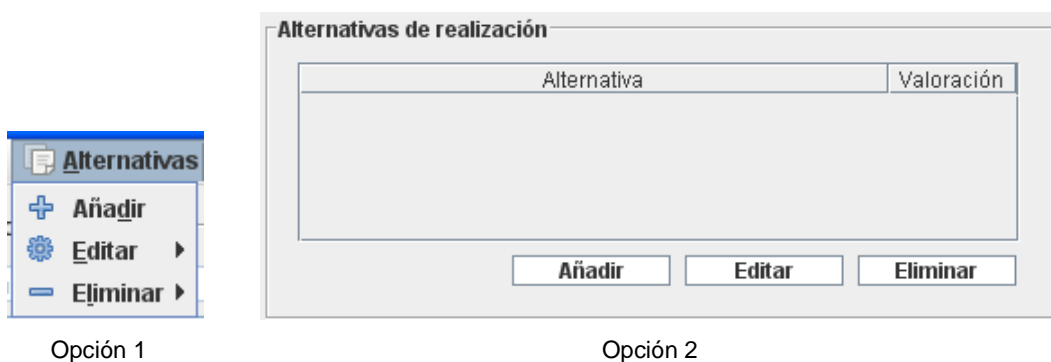
Alternativas de realización

¿Qué es una alternativa?

Una alternativa de realización es un proyecto de evaluación de impacto ambiental determinado para un proyecto/obra. Un proyecto por tanto está constituido por distintas alternativas de realización, y cada alternativa puede tener diferentes impactos sobre el medio ambiente. En el ejemplo de la autovía Segovia-Madrid, una alternativa podría ser realizar una vía por encima de la sierra y otra realizar un túnel para atravesar la montaña.

Creación de alternativas.

Existen dos maneras de crear una alternativa: pulsar el botón *Añadir* de la pestaña *Alternativas* del menú principal, o pulsar sobre el botón *Añadir* del panel *Alternativas de realización* de la parte inferior de la pantalla principal.



Nota: No se podrán crear alternativas si todavía no existe un proyecto con el que trabajar. De tal manera, al iniciar el programa, estas opciones están deshabilitadas.

A continuación se presenta una ventana en la que definir el nombre identificativo de la alternativa a crear. Pulsar *Aceptar* para confirmar los datos.

Nueva alternativa de realización

Información del proyecto

Proyecto: Autovía Segovia-Madrid

Nombre alternativa: Túnel dos sentidos

Aceptar Cancelar

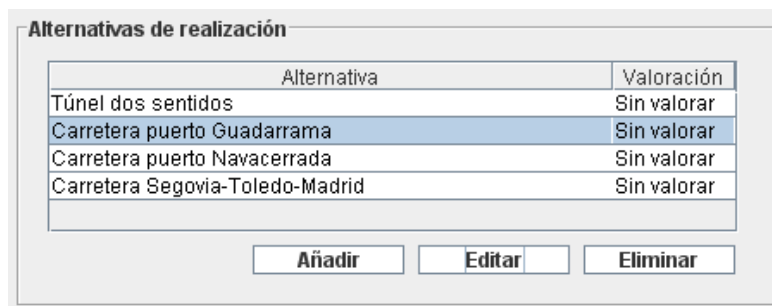
Las alternativas añadidas se muestran en la pantalla principal de la aplicación, en el panel *Alternativas de realización*, inicialmente sin valorar.

Alternativa	Valoración
Túnel dos sentidos	Sin valorar
Carretera puerto Guadarrama	Sin valorar
Carretera puerto Navacerrada	Sin valorar

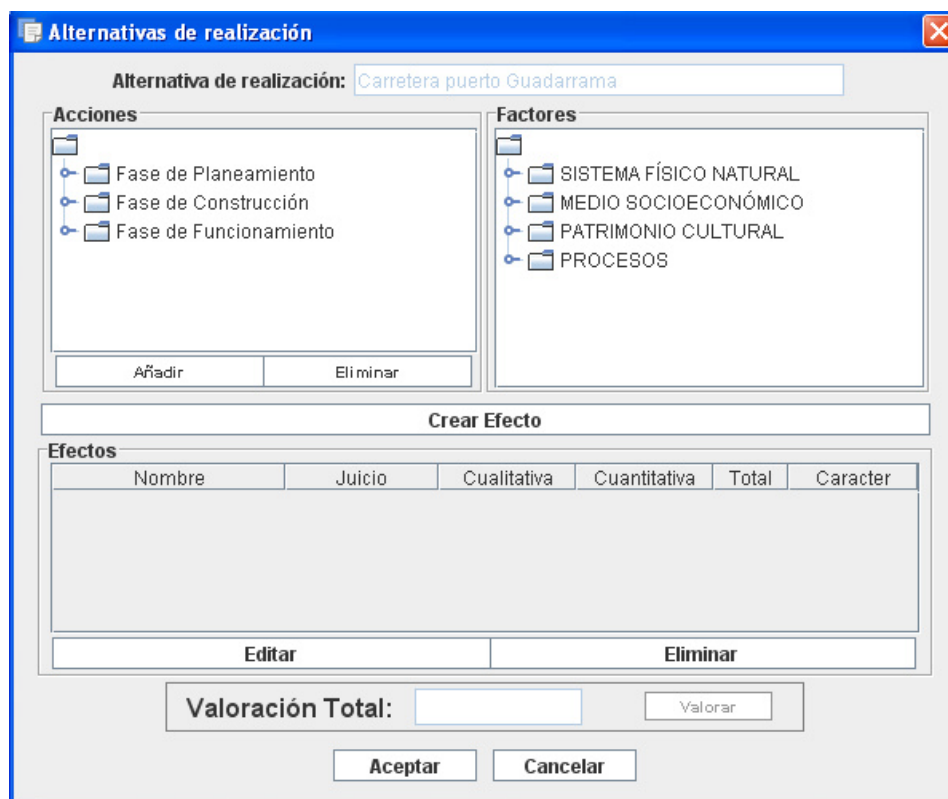
Añadir Editar Eliminar

Autoría de alternativas.

Para realizar la edición/valoración de cada alternativa debemos seleccionar la alternativa que deseamos editar.



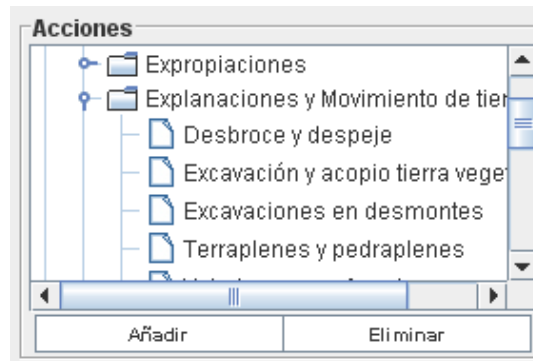
A continuación pulsamos sobre el botón *Editar*. Nos aparecerá la siguiente ventana, en la que podemos observar la lista de acciones en la parte superior izquierda, la lista de factores en la parte superior derecha y la lista de efectos en la parte inferior.



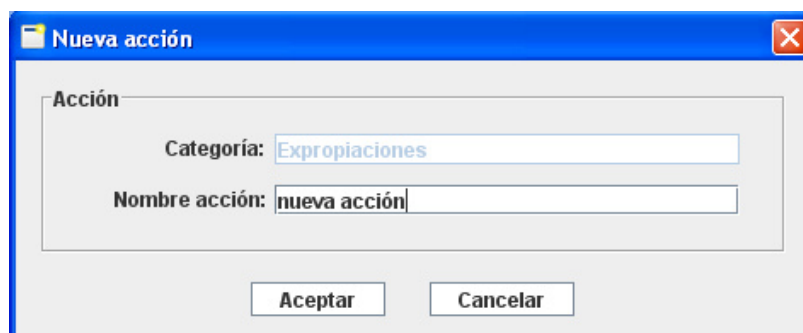
Observamos que en esta ventana se pueden añadir y eliminar acciones, y crear y eliminar efectos. Una vez se creen y valoren los efectos, se podrá valorar la alternativa, y se mostrará en la parte inferior la valoración total de la misma.

Autoría de acciones.

En la ventana *Alternativas de realización*, en el panel *Acciones*, disponemos de la opción de eliminar y añadir acciones a la lista existente. Para eliminar seleccionaremos una acción, o una carpeta de acciones y pulsaremos el botón *Eliminar*.

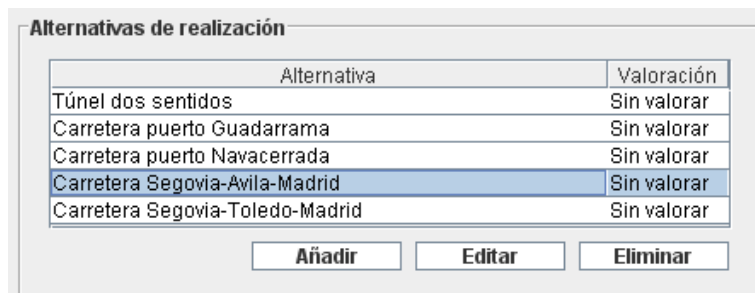


Para añadir, seleccionaremos el punto del árbol donde queremos que “cuelgue” la nueva acción y pulsaremos el botón *Añadir*. Nos aparecerá una ventana como la siguiente, donde indicar el nombre de la nueva acción.



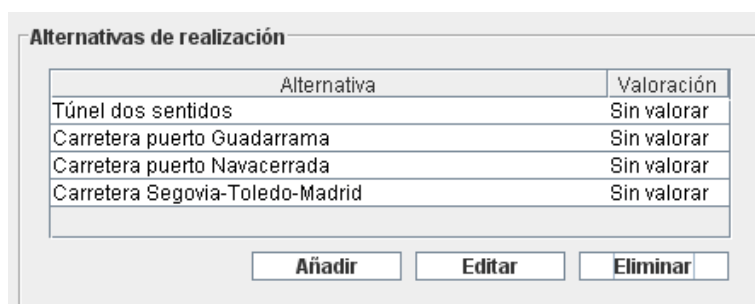
Eliminación de alternativas.

Al igual que se pueden añadir alternativas, también se pueden eliminar. Para ello se selecciona pulsando encima de ella en el panel *Alternativas de realización*, y a continuación se pulsa sobre el botón *Eliminar*.



La aplicación nos pregunta si estamos seguros de querer eliminarla, donde confirmaremos la operación.

Podemos observar que la alternativa ha sido eliminada.



Valoración.

Una vez estén valorados todos los efectos de los que se compone la alternativa de realización, se podrá valorar la misma, para ello pulsamos el botón *Valorar* de la parte inferior de la ventana *Alternativas de realización*, y mostrará la valoración total de la alternativa.

Valoración Total:	<input type="text" value="4.607"/>	<input type="button" value="Valorar"/>
--------------------------	------------------------------------	--

Efectos/impactos sobre el medio



¿Qué es un efecto/impacto?

Un efecto ambiental es la modificación en el ambiente, o en alguno de sus componentes, de cierta magnitud y complejidad producido por los efectos de la acción o actividad humana (proyecto de ingeniería). Cada alternativa de realización, por tanto, tendrá su propio listado de efectos, compuestos por una acción y por un factor.

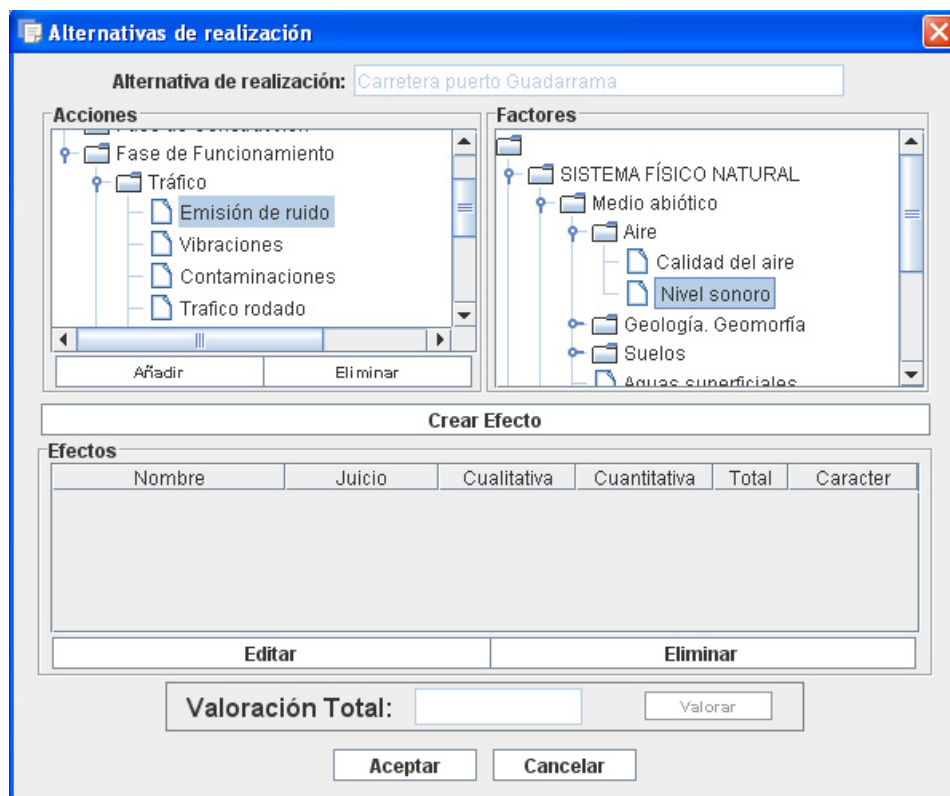
Se suele determinar la notación de impacto a un efecto considerado como significativo.

Creación de efectos.

Para crear un efecto, debemos situarnos en el modo edición (ventana *Alternativas de realización*) de la alternativa en la que se desea crear el efecto.

Se procede a seleccionar una acción y el factor del medio ambiente que modifica esa acción, cada uno de su panel correspondiente. Seguidamente pulsar en el botón *Crear Efecto*. Tanto la acción como el factor deben ser una hoja  de su árbol correspondiente, es decir, no puede ser un elemento clasificador .

En este ejemplo tomamos la acción *Fase de funcionamiento – Trafico – Emisión de ruido* y el factor *Sistema físico natural – Medio abiótico – Aire – Nivel sonoro*.



Posteriormente aparecerá una ventana como la siguiente, en la que indicaremos el nombre del efecto, así como una breve descripción del mismo. Además deberemos indicar el carácter del efecto por simple enjuiciamiento, eligiendo entre los siguientes valores: despreciable, especial, impredecible o significativo. Si no se dispone del conocimiento suficiente para tal asignación, se puede utilizar el asistente difuso.

Si optamos por utilizar la lógica difusa, pulsar el botón *Difuso*. Aparecerá el asistente difuso, que nos preguntará sobre este efecto. Podremos responder cada pregunta moviendo el *slider* que aparece debajo de ella, ajustando la respuesta a la más idónea. Una vez marcadas las respuestas, pulsar el botón *Inferir* para proceder a realizar dicha acción. Finalmente pulsaremos el botón *Aceptar*.

Finalmente pulsaremos *Aceptar* para confirmar la creación del efecto.

Autoría de efectos.

Cada alternativa de realización está compuesta por un listado de efectos/impactos, cuya apariencia gráfica en la aplicación será similar a la siguiente.

Efectos						
Nombre	Juicio	Cualitativa	Cuantitativa	Total	Caracter	
Ruido1	despreciable	No	No	No	No	
Contaminación de ríos	significativo					
Olor de humos	significativo					
Incendios	impredecible	No	No	No	No	
Editar		Eliminar				

Observamos que los efectos con juicio significativo (impactos) inicialmente están en color rojo, cuando estos sean valorados, su color será negro. Los efectos no significativos, como no es necesaria su valoración, se presentan en color negro.

En caso de querer modificar las características de un efecto, este se puede modificar seleccionando el mismo y pulsando el botón *Editar*. Aparecerá la ventana *Efecto* que tiene tres pestañas: *Ficha general*, *Valoración cualitativa* y *Valoración cuantitativa*. Dependiendo del simple enjuiciamiento del efecto, podremos acceder o no a estas pestañas, ya que sólo se permite realizar las valoraciones sobre impactos (efectos significativos). No obstante se podrá modificar el simple enjuiciamiento pulsando sobre el botón *Modificar*.

Eliminación de efectos.

Para eliminar un efecto, se selecciona el mismo en el panel *Efectos* de la ventana *Alternativas de realización* de la alternativa del proyecto donde se incluye el efecto a eliminar. Se pulsa el botón *Eliminar*. Se procede a confirmar o no la acción, en la ventana de consulta.

Efectos						
Nombre	Juicio	Cualitativa	Cuantitativa	Total	Caracter	
Ruido1	despreciable	No	No	No	No	
Contaminación de rios	significativo					
Olor de humos	significativo					
Incendios	impredecible	No	No	No	No	

Valoración cualitativa.

En el caso de los efectos significativos (impactos) podremos realizar una valoración tanto cualitativa como cuantitativa. Para el caso de la valoración cualitativa se utiliza el modelo de valoración completo con las siguientes características:

VALORACIÓN CUALITATIVA COMPLETA	
SIGNO	ACUMULACIÓN (A)
Impacto beneficioso: + Impacto perjudicial: -	Simple: 1 Acumulativo: 3 Sinérgico: 6
EXTENSIÓN (E)	INTENSIDAD (IN)
Puntual: 1 Parcial: 2 Extenso: 4 Total: 6 Crítica: +4	Baja: 1 Media: 4 Alta: 4 Muy alta: 6 Total: 10
PERSISTENCIA (P)	REVERSIBILIDAD (RV)
Fugaz: 1 Temporal: 2 Permanente: 4	Corto plazo: 1 Medio plazo: 2 Largo plazo: 3 Irreversible: 4
RECUPERABILIDAD (RC)	PERIODICIDAD (PR)
Recuperable inmediatamente: 1 Recuperable a medio plazo: 2 Mitigable: 4 Recuperable a largo plazo: 6 Irrecuperable: 8	Aperiódico o discontinuo: 1 Periódico: 2 Continuo: 4
MOMENTO (MO)	EFFECTO (EF)
Largo plazo: 1 Medio plazo: 2 Inmediato: 4 Crítico: +4	Directo: 3 Indirecto secundario: 2 Indirecto terciario: 1

En la pestaña de *Valoración cualitativa* podremos variar los diferentes parámetros de la forma adecuada con las características del efecto. Finalmente pulsar el botón *Calcular* para obtener la incidencia en la situación indicada.

The screenshot shows a software window titled "Efecto" with three tabs: "Ficha general", "Valoración cualitativa", and "Valoración cuantitativa". The "Valoración cualitativa" tab is active. It contains the following parameters and their values:

- Signo: positivo
- Acumulación: no asignar
- Extensión: extenso
- Intensidad: baja
- Persistencia: permanente
- Reversibilidad: largo plazo
- Efecto: no asignar
- Periodicidad: periódico
- Recuperabilidad: irrecuperable
- Momento: no asignar
- Crítico:

At the bottom, there is a "Calcular" button and a display area for "Incidencia" showing the value 0.533. At the very bottom are "Aceptar" and "Cancelar" buttons.

Nota: Los parámetros se podrán no tener en cuenta dejando la opción “no asignar”. Además la acumulación y la recuperabilidad se podrán marcar como críticas en el caso que se considere necesario.

Valoración cuantitativa.

En el caso de los efectos significativos (impactos) podremos realizar una valoración tanto cualitativa como cuantitativa. Se han considerado las siguientes funciones de transformación en el modelo de la valoración cuantitativa:

Lineal creciente:

$$y = \frac{x - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}}$$

Lineal decreciente:

$$y = \frac{\text{Max} - x}{\text{Max} - \text{Min}}$$

Parabólica creciente I:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot \text{Max} \cdot x + \text{Min}^2 - 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica decreciente I:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot \text{Max} \cdot x + \text{Max}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica creciente II:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot \text{Min} \cdot x + \text{Min}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica decreciente II:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot \text{Min} \cdot x + \text{Max}^2 - 2 \cdot \text{Min} \cdot \text{Max}}{(\text{Max} - \text{Min})^2}$$

Parabólica doble creciente I:

$$y = \begin{cases} \frac{-2x^2 + 2(\text{Max} - \text{Min}) \cdot x - 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2} & \text{si } \text{Min} \leq x \leq \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \\ \frac{2x^2 - 2(\text{Max} - \text{Min}) \cdot x + 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2} & \text{si } \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

Parabólica doble decreciente I:

$$y = \begin{cases} \frac{2x^2 - 2(\text{Max} - \text{Min}) \cdot x + 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2} + 1 & \text{si } \text{Min} \leq x \leq \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \\ \frac{-2x^2 + 2(\text{Max} - \text{Min}) \cdot x - 2 \cdot \text{Max} \cdot \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})^2} & \text{si } \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

Parabólica doble creciente II:

$$y = \begin{cases} \frac{2x^2 - 4 \cdot \text{Min} \cdot x + 2 \cdot \text{Min}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2} & \text{si } \text{Min} \leq x \leq \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \\ \frac{-2x^2 + 4 \cdot \text{Max} \cdot x - 2 \cdot \text{Max}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2} + 1 & \text{si } \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

Parabólica doble decreciente II:

$$y = \begin{cases} \frac{-2x^2 + 4 \cdot \text{Min} \cdot x - 2\text{Min}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2} + 1 & \text{si } \text{Min} \leq x \leq \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \\ \frac{2x^2 - 4 \cdot \text{Max} \cdot x + 2\text{Max}^2}{(\text{Max} - \text{Min})^2} & \text{si } \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

Máximo intermedio:

$$y = \frac{-x^2 + 2 \cdot a \cdot x + \text{Min}^2 - 2 \cdot a \cdot \text{Min}}{(a - \text{Min})^2}$$

Mínimo intermedio:

$$y = \frac{x^2 - 2 \cdot a \cdot x + a^2}{(a - \text{Min})^2}$$

Umbral creciente:

$$y = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{Min} \leq x < \text{Umbral} \\ 1 & \text{si } \text{Umbral} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

Umbral decreciente:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{si } \text{Min} \leq x < \text{Umbral} \\ 0 & \text{si } \text{Umbral} \leq x \leq \text{Max} \end{cases}$$

En la pestaña de *Valoración cuantitativa* podremos elegir el tipo de función de transformación (de forma manual o utilizando el asistente) e indicar los campos del indicador, sus valores máximo y mínimo, y el umbral en el caso que sea necesaria para la función de transformación. Finalmente pulsamos el botón *Calcular* para obtener la magnitud final.

The screenshot shows a software window titled "Efecto" with three tabs: "Ficha general", "Valoración cualitativa", and "Valoración cuantitativa". The "Valoración cuantitativa" tab is active. It contains a form with the following elements:

- Indicador:** Input field with value 50.
- Valor máximo indicador:** Input field with value 100.
- Valor mínimo indicador:** Input field with value 0.
- Umbral / a:** Empty input field.
- Calcular:** A wide button below the input fields.
- Función de transformación:** A dropdown menu currently showing "Parabólica decreciente II".
- Asistente:** A button next to the dropdown menu.
- Magnitud:** Input field showing the result 0.75.
- Gráfico:** A button next to the Magnitud field.
- Aceptar / Cancelar:** Two buttons at the bottom of the window.

Para elegir la función de transformación utilizando el asistente pulsaremos sobre el botón *Asistente* y responderemos a las preguntas hasta que obtengamos la función deseada.

Una vez calculada la magnitud podemos visualizar la grafica de la función obtenida pulsando sobre el botón *Grafico*.



Valoración global.

Una vez realizadas la valoración cualitativa y cuantitativa sobre un impacto, en la *Ficha general* del efecto (modo edición del mismo) podremos elegir el carácter del efecto tanto de forma manual como por medio de un asistente utilizando lógica difusa. El carácter puede ser: compatible, crítico, moderado o severo.

Si optamos por utilizar la lógica difusa, pulsar el botón *Difuso*. Aparecerá el asistente difuso, que nos preguntará sobre el impacto. Podremos responder cada pregunta moviendo el *slider* que aparece debajo de ella, ajustando la respuesta a la más idónea. Una vez marcadas las respuestas, pulsar el botón *Inferir* para proceder a realizar dicha acción. Finalmente pulsaremos el botón *Aceptar*.

Asistente difuso: Carácter impacto

Carácter impacto difuso

¿Se precisan medidas correctoras?

NO SI

0.5

¿Cuál es el periodo de recuperación del medio?

DILATADO

INMEDIATO SIN RECUPERACIÓN

0.5

Carácter impacto

::

Inferir

Aceptar Cancelar