

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas  
Facultad de Matemática, Física y Computación**



**Sistema informático de apoyo a los Estudios de Impacto Ambiental  
realizados en la Consultoría Pro-Ambiente de la Empresa Nacional  
de Investigaciones Aplicadas**

**Trabajo para optar por el Título Académico de Máster en  
Informática para la Gestión Medioambiental**

**Autor:** Ing. Isyed De La Caridad Rodríguez Trujillo

**Tutores:** Dr. Gheisa Ferreira Lorenzo

Dr. Elena Regla Rosa Domínguez

**Consultante:** Lic. Miriam Romero Nasiff

Santa Clara

Febrero, 2014

“Año 55 de La Revolución”

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Por este medio declaramos que Isyed de la Caridad Rodríguez Trujillo es la única autora de este trabajo y autorizo a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de 2014.

\_\_\_\_\_  
Firma del Autor

\_\_\_\_\_  
Dr. Elena Rosa Domínguez  
Firma del Tutor

\_\_\_\_\_  
Dr. Gheisa Ferreira Lorenzo  
Firma del Tutor

*"Si supiera que el mundo se ha de acabar mañana, yo hoy aún plantaría un árbol".*

*Martin Luther King, Jr.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*...A mi padres, a mi mamá Deysi Trujillo Bermúdez y a mi papá Jorge A Rodríguez Díaz, por apoyarme, por estar siempre a mi lado y por exigirme ser mejor cada día.*

*...A la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas Enia-InvesCons, en especial a la Directora de la Consultora Ambiental ProAmbienteo Miriam Romero Nasiff por confiar en mí, por su apoyo incondicional, por su dedicación y por ser mi amiga.*

*...A los profesores del claustro de la Maestría Informática para la Gestión Medioambiental por el conocimiento aportado, por sus recomendaciones y consejos, especialmente a mis dos tutoras Dr. Gheisa Ferreira Lorenzo y Dr. Elena Rosa Domínguez.*

*...A mis compañeros y amigos de estudio en la maestría por hacer que esta tarea fuera más fácil y por brindarme su ayuda siempre que la necesité.*

*De una manera u otra a todas las personas y organizaciones sin la cual este trabajo no hubiese sido posible.*

*A todos ellos... Gracias*

## RESUMEN

La presente investigación consiste en un sistema informático desarrollado mediante herramientas de software libre, con el objetivo de agilizar y mejorar la realización de estudios de impacto ambiental llevados a cabo por la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Cuba. El software facilita la recopilación y análisis de los datos de las diferentes alternativas de un proyecto a partir de la identificación, evaluación y corrección de los posibles impactos ambientales. La implementación del sistema está sustentado sobre la metodología de Evaluación de Impacto Ambiental, Conesa y la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba. La aplicación desarrollada ofrece la posibilidad de valorar las alternativas de un proyecto, teniendo en cuenta varios criterios de decisión y las preferencias del decisor, mediante el método multicriterio PRES II; unos de los criterios utilizados y de gran impacto fue el Análisis Costo-Beneficio aportando una valoración económica del proyecto. La presentación de los resultados obtenidos se ofrece a través de la generación de informes, donde se detallan los elementos recopilados de cada alternativa y la valoración del proyecto a partir de los indicadores obtenidos a lo largo del estudio; con el propósito de apoyar las decisiones ambientales respecto a la puesta en práctica del proyecto.

**Palabras Clave:** Estudio de Impacto Ambiental; Evaluación de Impacto Ambiental; impacto ambiental; decisión multicriterio.

## **ABSTRACT**

This research is a computer system developed by free software tools, in order to streamline and improve the implementation of environmental impact studies conducted by the Pro-Environment Consulting Company National Applied Research Cuba. The software facilitates the collection and analysis of data from the different alternatives of a project from the identification, evaluation and correction of potential environmental impacts. The implementation of the system is supported on the methodology of Environmental Impact Assessment, Conesa and Resolution 132/2009" Regulation Process Environmental Impact Assessment ", Ministry of Science, Technology and Environment of Cuba. The developed application provides the ability to assess the alternatives of a project, taking into account multiple decision criteria and preferences of the decision maker, using the multicriteria method PRES II, one of the criteria used and the major impact was providing Cost-Benefit Analysis an economic assessment of the project. The presentation of the results is provided through reporting, where the collected elements of each alternative and the detailed assessment of the project from the indicators obtained throughout the study, with the purpose of supporting environmental decisions regarding the implementation of the project.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment, Environmental Impact Assessment, environmental impact, multicriteria decision.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	<b>7</b>
1.1 Evolución histórica y marco legal	7
1.2 Conceptos asociados al dominio del problema	10
1.3 Soluciones similares	14
1.3.1 Ámbito internacional	14
1.3.2 Ámbito nacional	19
1.3.3 Contribuciones al sistema a partir del estudio de soluciones similares realizado	20
1.4 Metodologías y Métodos de EIA	20
1.4.1 Método Leopold	21
1.4.2 Listas de Chequeo	22
1.4.3 Método Batelle-Columbus	23
1.4.4 Análisis Costo-Beneficio	24
1.4.5 Método del CNYRPAB	24
1.4.6 Método de Hill-Schechter	24
1.4.7 Sistema de información geográfica	25
1.4.8 Metodología Conesa	26
1.4.9 Guía general para realizar estudios de impacto ambiental	27
1.4.10 Metodología de EIA seleccionada	30
1.5 Consideraciones finales	31
<b>CAPÍTULO 2 BASE TEÓRICA DEL SISTEMA</b>	<b>32</b>
2.1 Estructura base del sistema informático	32
2.1.1 Identificación de acciones del proyecto potencialmente impactantes	32
2.1.2 Identificación de los factores del medio potencialmente impactados	33
2.1.3 Identificación de las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y factores del medio	34
2.1.4 Predicción de la magnitud del impacto ambiental y evaluación cuantitativa	39
2.1.5 Prevención y corrección de impactos. Análisis Costo-Beneficio	40
2.1.6 Valoración de alternativas	43

2.1.7 Emisión del informe final _____	51
2.2 Consideraciones finales _____	52
<b>CAPÍTULO 3 DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA _____</b>	<b>53</b>
3.1 Ambiente de desarrollo _____	53
3.1.2 Lenguaje de Modelado Unificado _____	54
3.1.3 Herramienta CASE para el modelado _____	55
3.1.4 Lenguaje de programación _____	56
3.1.5 Herramienta de desarrollo del software _____	57
3.1.6 Bibliotecas del lenguaje _____	58
3.1.7 Sistema Gestor Base de Datos _____	58
3.1.8 Interfaz de Programación de Aplicaciones _____	59
3.2 Artefactos y características de la solución _____	60
3.2.1 Modelo de Dominio _____	60
3.2.2 Requerimientos _____	61
3.2.4 Diagrama de Casos de Uso del Sistema _____	64
3.2.4 Patrón de arquitectura de software _____	65
3.2.5 Patrones de diseño _____	67
3.2.6 Estándares de codificación _____	70
3.2.7 Diagrama de Clases del Diseño _____	71
3.2.8 Modelo de Datos _____	71
3.3 Reseña de implementación _____	72
3.4 Contribuciones del SIAEIA _____	74
3.5 Pruebas _____	75
3.5.1 Pruebas unitarias automatizadas _____	76
3.5.2 Pruebas de aceptación _____	78
3.5.3 Pruebas a partir de casos de estudio _____	79
3.5.4 Resultados arrojados por las pruebas _____	80
3.6 Consideraciones finales _____	81
<b>CONCLUSIONES _____</b>	<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES _____</b>	<b>83</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>90</b>
Anexo 1: Cuestionarios	90
Anexo 2: Patrones	98
Anexo 3: Casos de pruebas unitarias	99
Anexo 4: Casos de pruebas de aceptación	102
Anexo 5: Prueba del caso de estudio: EsIA “Las Ánimas”	106
EsIA-MANUAL	106
EsIA-SOFTWARE SIAEIA	109
Anexo 6: Modelo de Dominio	115
Anexo 7: Diagrama de Casos de Uso del Sistema	116
Anexo 8: Diagrama de Clases del Diseño	117
Anexo 9: Modelo de datos	118
Anexo 10: Caracterización de los atributos cualitativos	119

## INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo, el cuidado del medio ambiente junto con el uso irracional de los recursos naturales ha sido el centro de discusión en numerosos eventos a nivel mundial. El desarrollo sostenible se ha convertido en el eje conductor del progreso y la variable ambiental constituye una parte esencial de todo proyecto<sup>1</sup> que se lleve a cabo. En el proceso de construcción, los materiales usados inciden en el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, desde su extracción hasta su tratamiento como residuo. Las actividades de la obra constructiva provocan alteraciones perjudiciales sobre el medio ambiente, debido a la falta de inclusión de medidas preventivas en favor del entorno. El terreno en la etapa constructiva se encuentra vulnerable al cambio, debido al desbroce de tierra, deforestación, vertido de lubricantes y residuos, excavaciones y voladuras. La circulación de vehículos y uso de maquinarias provoca ruido, congestión vial y suciedad, provocando daños también a los habitantes de la zona.

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 EIA, 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 (Cruz, 2009). Sin embargo, cabe resaltar que el empleo de la EIA radica sobre proyectos o planes que se vayan a ejecutar y no sobre obras realizadas, debido al carácter predictivo y preventivo que manifiesta.

Desde 1976 la Constitución de la República de Cuba contempla de forma legal el cuidado por el medio ambiente en el artículo 27, del Capítulo 1 “Fundamentos políticos, sociales y económicos del Estado”, donde se postula que:

*El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida*

---

<sup>1</sup> Según la tercera edición (2004) del libro, publicado por Project Management Institute, “Guía de los Fundamentos de la Dirección de proyectos” se define como esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.

*humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza (MINJUS, 2008).*

Sin embargo, Cuba no ha escapado de tener sus propios problemas ambientales. Estos se han visto influidos negativamente por una falta de conciencia ambiental en un porcentaje considerable de la población, lo que ha traído como consecuencia en muchas ocasiones, su agravamiento. El desarrollo de estos elementos, que inciden directamente en la manera de actuar del ser humano sobre el medio ambiente, no ha estado a la altura de otras obras colosales llevadas a cabo por la Revolución, de ahí que constituya un factor esencial de trabajo a corto y mediano plazo, para lograr resultados positivos en la implementación de la política ambiental y una gestión eficiente.

Debido a lo anterior, han sido tomadas medidas para proteger el medio ambiente contra los impactos ocasionados por la mano del hombre; una de ellas es exigir que todo proyecto constructivo tenga una licencia ambiental que otorga el Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA), la misma es imprescindible para el otorgamiento de la licencia de construcción por parte de Planificación Física, permiso sin el cual no se puede ejecutar ningún proyecto. En algunos casos debido a las características del proyecto es necesario realizar previamente un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA). Algunos estudios de impacto ambiental son realizados por las unidades de la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) adscrita al Ministerio de la Construcción (MICONS), debidamente acreditadas ante el CICA y amparadas por la Resolución 189/2012 y la Ley 81 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Dicho organismo rige la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), teniendo como base las Guías para la Solicitud de Licencia Ambiental y las Guías Metodológicas para la realización de Estudios de Impacto Ambiental, sustentadas en la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”.

Según la Resolución 189/2012 del CTIMA, la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas-INVESCONS está acreditadas para realizar estudios de impacto ambiental, a los nuevos proyectos de obras o actividades que aparecen relacionados en el artículo 5, en los incisos a), e), h), i), l), m), p), q), r), u) y v) de la Resolución 132/2009:

- a) Presas o embalses, canales de riego, acueductos, y obras de drenaje, dragado, u otras obras que impliquen la desecación o alteración significativa de cursos de agua.
- e) Actividades mineras.
- h) Construcción de líneas ferroviarias, terraplenes, pedraplenes, rutas autopistas, gasoductos y oleoductos.
- i) Aeropuerto y Puertos.
- l) Instalaciones turísticas, en particular las que se proyecten en ecosistemas costeros.
- m) Instalaciones poblacionales masivas.
- p) Cambios en el uso de suelo que puedan provocar deterioro significativo en éste o en otros recursos naturales, o afectar el equilibrio ecológico.
- q) Colectores y emisores de efluentes sanitarios urbanos.
- r) Perforación de pozos de extracción de hidrocarburos.
- u) Rellenos sanitarios.
- v) Cementerios y crematorios.

Analizando la situación actual de los sistemas respecto a la valoración de los impactos ambientales implícita en el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) se determina que:

### Internacionalmente

- Las aplicaciones<sup>2</sup> desarrolladas presentan grandes divergencias en las metodologías usadas y la mayoría no presentan licencia gratuita, lo que repercute negativamente en el uso de las mismas para Cuba.

### Nacionalmente

- No existe variedad de productos <sup>3</sup>informáticos y los existentes no cumplen con las expectativas de la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA; por tal motivo el proceso se realiza de forma manual trayendo consigo:
  - Lento y engorroso trabajo al realizar el Estudio de Impacto Ambiental.

---

<sup>2</sup> Remitirse al epígrafe 1.3 Soluciones Similares, específicamente al 1.3.1 Ámbito internacional.

<sup>3</sup> Remitirse al epígrafe 1.3 Soluciones Similares, específicamente al 1.3.2 Ámbito nacional.

- No se sigue íntegramente lo establecido en las Guías Metodológicas para la realización de Estudios de Impacto Ambiental, por tanto:
  - La evaluación de los impactos ambientales no se realiza de forma cuantitativa, solo cualitativa y de forma reducida.
  - La línea base ambiental que se toma en cuenta para la identificación de impactos es muy general.
  - No se realiza un Análisis Costo-Beneficio del proyecto.
  - No se tienen en cuenta varias alternativas de un mismo proyecto.
- No existe almacenamiento automatizado de los EsIA, imposibilitando la reutilización de la información, el control y el análisis estadístico.

Lo anterior, constituye la situación problemática identificada que fundamentó la investigación, cuyo **problema científico** radica en: ¿Cómo facilitar la elaboración de EsIA en correspondencia con la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”, en la Consultoría Pro-Ambiente de la ENIA?

En correspondencia con lo planteado anteriormente y derivado de la construcción del marco teórico de la investigación, se formuló como **hipótesis**: La informatización del proceso de elaboración de Estudio de Impacto Ambiental llevado a cabo por la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, disminuye el tiempo de ejecución y facilita el cumplimiento de la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” en cuanto al análisis de alternativas de un proyecto para la identificación de la más favorable para el medio ambiente y el análisis de las relaciones entre los costos económicos y los efectos ambientales de cada alternativa.

Por lo que el **objetivo general** de la investigación es: Desarrollar un Sistema Informático de apoyo para los Estudios de Impacto Ambiental realizados en la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, de manera que facilite el cumplimiento la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”.

### **Objetivos específicos:**

- Identificar la(s) metodología(s) de Evaluación de Impacto Ambiental que caractericen mejor el problema de la investigación.

- Obtener las funcionalidades del sistema a desarrollar, a partir del estudio de las soluciones similares y las necesidades de la Consultoría Ambiental de la ENIA.
- Diseñar e implementar un sistema informático para el estudio de los impactos ambientales que ocasionará la puesta en marcha de un proyecto constructivo.
- Validar el sistema propuesto a través de pruebas y EsIA realizados por la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA.

### **Preguntas de investigación:**

- ¿Qué metodología(s) de Evaluación de Impacto Ambiental permiten un estudio de los impactos ambientales, ocasionados por la ejecución de un proyecto, en concordancia con lo reglamentado por el CICA?
- ¿Qué funcionalidades son fundamentales en un sistema informático para la evaluación de impactos ambientales?
- ¿Qué criterios de decisión se deben tener en cuenta para elegir alternativas que conlleven al desarrollo de proyectos sostenibles?

### **Justificación y viabilidad**

El valor teórico de la investigación radica en la base que sustenta el desarrollo del software, debido a que combina una metodología de evaluación de impacto ambiental y la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” para el desarrollo del sistema. Por otra parte la investigación manifiesta un valor práctico pues facilita a las unidades de la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA evaluar cualitativamente y cuantitativamente los impactos ambientales y el análisis de las alternativas de un proyecto a partir de varios indicadores. Las posibilidades de realización de la investigación parten del apoyo del Director de Ingeniería de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, INVESCONS, de la Directora Consultora Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA y de las unidades de esta empresa ubicadas en Pinar del Río y Camagüey principalmente. Contando con el apoyo de la dirección de la ENIA, el sistema se pondrá en práctica en las ocho unidades ubicadas en distintas provincias de Cuba. Además, el sistema está diseñado para ser utilizado en cualquier proyecto y en cualquier unidad consultora, independientemente del tipo de proyecto y de la certificación de la entidad.

A continuación se **estructura** el trabajo investigativo realizado, el cual se dividió en cuatro capítulos:

*Capítulo1 Fundamentación teórica:* Se aborda la evolución del proceso de EIA y los principales conceptos relacionados con el tema de investigación. Se analizan las soluciones similares existentes en Cuba y el resto del mundo para obtener características afines y necesarias de implementar. Por último se realiza un estudio de las metodologías de EIA para su previa utilización.

*Capítulo2 Base teórica del sistema:* En este capítulo se describe la estructura base del sistema informático, a partir de la selección de una metodología de EIA y se detallan los cambios propuestos para la implementación del sistema según las resoluciones consultadas.

*Capítulo3 Desarrollo y validación del sistema:* Se realiza el diseño e implementación del sistema. Se identifican las funcionalidades a implementar, a partir de las cuales se modela el diagrama de casos de uso del sistema. Se selecciona el lenguaje de programación, plataforma de desarrollo, herramientas, bibliotecas y gestor de base datos para el desarrollo de la aplicación. Se expone el diagrama de clases del diseño, modelo de datos y se describen brevemente algunos patrones utilizados. Por último se aplican pruebas unitarias automatizadas para comprobar la calidad del código fuente. Para comprobar la integridad de los datos y confiabilidad de los resultados se valida el sistema a través de varios EsIA realizado por unidades de la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA, aunque sin tener en cuenta algunos aspectos que aporta el sistema.

# **CAPÍTULO 1** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se muestra la evolución del proceso de EIA y se exponen los principales conceptos relacionados con el tema de investigación. A partir del análisis de las soluciones similares existentes, en Cuba y el resto del mundo, se obtienen funcionalidades claves para el sistema a desarrollar. Por otra parte se aborda un estudio sobre de las metodologías de EIA para conformar la base teórica del sistema.

## **1.1 Evolución histórica y marco legal**

La gestión ambiental que hoy se conoce se ha construido mediante la interacción de un complejo conjunto de factores económicos, sociales, culturales, políticos y ambientales. En (Oyarzún, 2008) se expone que Estados Unidos fue el primer país en incluir en sus reglamentos el tema de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) en enero de 1969 con la promulgación de la ley Nacional de Políticas sobre el Medio Ambiente, conocida como ley NEPA (por sus siglas en inglés - National Environmental Policy Act). En su sección 102, esta ley exige a todas las agencias federales utilizar un enfoque de EIA a todas sus intervenciones que puedan afectar el medio ambiente, establecer métodos y procedimientos con tal fin y elaborar los respectivos estudios de impacto ambiental.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humanos en 1972, conocida como Conferencia de Estocolmo, constituyó el primer esfuerzo global para enfrentar los problemas ambientales transfronterizos y domésticos. Se planteó la necesidad de que las políticas de desarrollo económico y social incorporaran las nociones de la conservación y buen uso del medio ambiente. Pero si bien esta aproximación llegó a quedar plasmada en algunos códigos y normas de algunos países, en la práctica lo que se impulsó fue la visión de una gestión ambiental de Estado. Se otorgó un papel central a la formulación y puesta en marcha de un conjunto de políticas públicas dirigidas a prevenir y mitigar la degradación del medio ambiente y en recuperar los ambientes deteriorados. En esta visión no se hacía cuestionario de las fuerzas degradantes y destructoras del medio ambiente, inscritas en el modelo y estilo de desarrollo. Esa era la aproximación hacia la gestión ambiental que se había adoptado inicialmente en los Estados Unidos en 1970 a partir de NEPA y de la creación de la Environmental Protection Agency,

una legislación y una agencia estatal que tuvieron una gran influencia en América Latina y el Caribe (Koollen, 1995).

A partir de 1972 se pusieron en marcha en América Latina y el Caribe legislaciones e instituciones ambientales y se expidieron las primeras políticas nacionales entorno al medio ambiente. Venezuela fue el primer país de la región en crear oficialmente un ministerio para la administración ambiental denominado Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) en 1977; sin embargo, la EIA como instrumento preventivo, sólo sería incluida en 1992 como norma técnica en la Ley Penal del Ambiente, como aparecen en (United Nations, 2001).

En Europa también fueron adoptadas medidas legales en este sentido. La primera conocida es la Directiva 85/337/CEE “relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente”, del 27 de junio de 1985. Esta directiva fue modificada el 3 de marzo de 1997 por la Directiva 97/11/CEE, con el objetivo de completar y mejorar las normas relativas al procedimiento de evaluación.

Por otra parte la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, en 1992, planteó el concepto de *desarrollo sostenible* como una necesidad apremiante en todos los países.

En el informe de Cuba a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río + 20 (CITMA, MINREX, MINCEX & ACNU, 2012) se plantea que apenas concluida la Cumbre de Río y tomando como base los compromisos contraídos por el país, Cuba modificó el artículo 27 de la Constitución de la República, en el que se incorpora el concepto de desarrollo sostenible. En ese mismo año se firman la Convención sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En 1994, se crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), organismo de la Administración Central del Estado que se encarga de proponer la política ambiental y dirigir su ejecución sobre la base de la coordinación y control de la gestión ambiental del país. Posteriormente, en 1997, la Asamblea Nacional del Poder Popular aprobó la Ley 81 del medio ambiente, que ha servido de base a importantes legislaciones complementarias, normas y otros instrumentos de la gestión ambiental, lo que incluye los elementos regulatorios y de supervisión estatal. Para la implementación de la política ambiental, el país cuenta con la Estrategia Ambiental Nacional (en sus tres sucesivas ediciones), las Sectoriales y las Territoriales. Estas herramientas han devenido en instrumentos eficaces, dirigidos a ejecutar acciones a favor de mejorar el desempeño ambiental. En su

concepción y aplicación, estas estrategias interrelacionan los aspectos económicos, sociales y ambientales, lo que las convierte en estrategias para el desarrollo sostenible

En Cuba se han establecido varios mecanismos y normativas para proteger el medio ambiente:

- Ley 33 “De Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales”, del 10 de enero de 1981, representa una temprana e importante expresión normativa de los principios de la política ambiental cubana que sentó las bases para el desarrollo del ordenamiento jurídico nacional en esta esfera. (Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba, 1997).
- Resolución 168/95 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) “Reglamento para la realización y aprobación de las Evaluaciones de Impacto Ambiental y el otorgamiento de las Licencias Ambientales”. A partir de este momento, se incorporó la evaluación de impactos ambientales al procedimiento de consulta establecido para la preparación y aprobación de las nuevas inversiones. Esto significó un importante cambio en el proceso inversionista, en el país, y contribuyó a la consolidación del Proceso de EIA (CICA, 2009).
- Ley N° 81 “Del Medio Ambiente”, promulgada el 11 de julio de 1997 donde se establece la EIA como un instrumento de la política y la gestión ambiental. (CICA, 2009). Dicha Ley tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental, las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país. (Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba, 1997)
- Sobre la base de la experiencia acumulada desde 1995 hasta 1997 y teniendo en cuenta los preceptos que se establecen en la Ley N° 81, se procedió a revisar la Resolución 168/95 del CITMA, que dio por resultado la Resolución 77/99, del propio organismo, “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”. (CICA, 2009). Las experiencias derivadas de la instrumentación de la Resolución No. 77 del 28 de julio de 1999, así como la necesidad de profundizar en la regulación del proceso de EIA dado el nivel de desarrollo alcanzado, tanto a nivel nacional como internacional, demandaron la adopción de modificaciones en el orden legislativo y la implementación de un instrumento a tono con las condiciones del desarrollo socioeconómico, para contribuir a elevar la eficacia en la aplicación de sus preceptos. En tal sentido, se dictó la resolución 132/2009.

- Otras resoluciones a favor del medio ambiente son: (Álvarez, 2012)
  - Resolución 34/96. Normas para la Evaluación y Aprobación de Propuestas de Ejecución de Expediciones, Investigativas y Visitas de Carácter Científico-Técnico e Interés Ambiental.
  - Resolución 111/96. Regulaciones sobre la Diversidad Biológica.
  - Resolución 87/96. Reglamento para el Cumplimiento de los Compromisos Contraídos por la República de Cuba en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).
  - Resolución 136/2009. Reglamento para el Manejo Integral de desechos Peligrosos.
  - Resolución 116/2005. Cronograma para el Control de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.
- En los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución recientemente aprobados, se identifican 94 lineamientos cuya implementación guarda relación con la política ambiental (Caballero, 2012). Por ejemplo el número 133 plantea: ...sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social...

Como se puede apreciar el cuidado del medio ambiente es un aspecto que se contempla de forma legal en la Constitución, Legislación Ambiental y lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución.

### 1.2 Conceptos asociados al dominio del problema

A continuación se muestran varias definiciones de los términos más empleados en la mayoría de los procesos de impacto ambiental, para lograr unificar criterios, familiarizar al lector con la terminología empleada y evitar interpretaciones equivocadas. Para ello se tuvo en cuenta diferentes fuentes bibliográficas con el objetivo de comparar y encontrar similitudes.

#### **Medio ambiente**

Está concebido como un sistema abierto de formación histórica, conformado como un producto de las relaciones bilaterales entre la sociedad y la naturaleza, y de relaciones en la sociedad. El medio ambiente es entonces, el sistema de elementos abióticos, bióticos y socio- económicos con el que el hombre entra

en contacto, modificándolo y utilizándolo para la satisfacción de sus necesidades y a las que él mismo se adapta" (Arcia, 1994).

Se entiende por medioambiente o medio ambiente al entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del hombre y en las generaciones venideras (Urquiza, 2010).

Se define en la Ley 81 "Del Medio Ambiente" en su artículo 8 del Capítulo II "Conceptos Básicos" como sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

Se puede apreciar en estas definiciones que el medio ambiente involucra a la naturaleza, al hombre y al todo el proceso interacción hombre-naturaleza.

### **Impacto ambiental<sup>4</sup>**

Según (Conesa, 2000), el impacto ambiental ocurre cuando una acción o actividad produce una alteración favorable o desfavorable en el medio o en algunos de sus componentes. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, plan, ley o disposición administrativa con implicaciones ambientales.

Se define en la Ley 81 "Del Medio Ambiente" en su artículo 8 del Capítulo II "Conceptos Básicos" como: "toda pérdida, disminución, deterioro o menoscabo significativo, inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes, que se produce contraviniendo una norma o disposición jurídica".

### **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)**

Procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo 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 (Conesa, 2000).

Según (Gómez, 1988), la EIA admite varias aproximaciones en su definición:

---

<sup>4</sup> Se utilizará indistintamente el término impacto ambiental o efecto ambiental para referirse al mismo concepto.

- Aproximación conceptual: Percibe la EIA como un proceso de análisis conducente a la formación de un juicio previo, lo más objetivo posible, acerca de la importancia que tienen los impactos generados por actividades desarrolladas por el hombre -proyectos- y las posibilidades existentes para su prevención de ocurrencia, o reducción a niveles aceptables.
- Aproximación administrativa: Se enfoca la EIA como un procedimiento de carácter administrativo, que conduce a la aceptación, modificación o rechazo definitivo de un proyecto sometido a evaluación, con base en la incidencia que éste tenga en el medio.
- Aproximación técnica: Entiende la EIA como un proceso analítico que busca identificar (relaciones causa-efecto), predecir (cuantificar), valorar (interpretar), prevenir y comunicar (participación pública) el impacto ambiental de un proyecto en caso de que éste sea ejecutado.

La Ley 81 “Del Medio Ambiente” establece en su artículo 8 del Capítulo II “Conceptos Básicos” el término Evaluación de Impacto Ambiental como “el procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas y proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del medio ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlos o su concesión bajo ciertas condiciones. Incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control para asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas”.

Las definiciones planteadas coinciden en puntos claves, en el papel preventivo de la EIA y en su función administrativa (rechazo, modificación o aceptación de un proyecto). La última hace parte de su definición al sistema de monitoreo y control.

### **Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)**

Estudio Técnico, de carácter interdisciplinar, 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. (Conesa, 2000)

Constituye el documento básico para el proceso de EIA. Es un estudio técnico, objetivo, de carácter pluri e interdisciplinario, que se realiza para predecir los impactos ambientales que pueden derivarse de la ejecución de un proyecto, actividad o decisión política permitiendo la toma de decisiones sobre la viabilidad ambiental del mismo (Palomino, 2008).

La Ley 81 Del Medio Ambiente establece en su artículo 8 del Capítulo II “Conceptos Básicos” el término Estudio de Impacto Ambiental como la descripción pormenorizada de las características del proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo su tecnología y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación del impacto ambiental del proyecto y describir las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar los efectos adversos, así como el programa de monitoreo que se adoptará.

### **Evaluación de los impactos ambientales**

Parte del EsIA en la que se estima o evalúa la magnitud de los impactos (Conesa, 2000).

### **Factores ambientales**

Componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en nuestro planeta. Son el soporte de toda actividad humana (Conesa, 2000).

### **Indicador ambiental**

Son elementos o parámetros que proporcionan la medida de la magnitud del impacto en su aspecto cualitativo y si es posible cuantitativo (Conesa, 2000).

La OCDE, lo define como un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, con un significado más amplio que el directamente asociado a la configuración del parámetro. El significado añadido que conlleva un indicador precisa de una definición clara de su función. De ahí que exista diversidad de tipos de indicadores para el desarrollo de la política ambiental. Algunos de los cuales pueden agruparse en: (Manteiga, 2000)

- Indicadores de evaluación ambiental. Reflejan el estado del medio ambiente en relación a una preocupación ambiental, la presión que este soporta y la respuesta social. Estos indicadores suelen organizarse en un marco temático, entendido como preocupación ambiental (cambio climático, eutrofización, pérdida de biodiversidad, etc.) o por grandes sistemas ecológicos (agua, atmósfera, suelo, etc.).
- Indicadores de integración sectorial. Informan sobre la interrelación entre los efectos ambientales sectoriales (agricultura, turismo, transporte, etc.) y las condiciones ambientales.

- Indicadores de integración económica. Informan sobre el coste ambiental asociado a la actividad económica.

### 1.3 Soluciones similares

#### 1.3.1 Ámbito internacional

Para desarrollar una adecuada aplicación informática para los EsIA es necesario hacer un análisis de sistemas homólogos. Esto permite conocer qué funcionalidades son comúnmente utilizadas en el tipo de sistema que se pretende desarrollar.

#### **Herramientas específicas para el Análisis del Ciclo de Vida (ACV):**

**LCManager:** Herramienta sencilla, práctica y rigurosa para el cálculo de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y Huella de Carbono (HC) de productos y procesos industriales. Está basada en la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040/44:2006) para productos y procesos industriales.

Las principales características de LCManager son las siguientes:

- Utilización muy sencilla, para técnicos y no necesariamente expertos en ACV.
- Modificación y creación muy rápida de nuevos productos/procesos a evaluar.
- El nivel de detalle de los datos/resultados es elección y decisión del usuario.
- Fácil interpretación de resultados a partir de menús, tablas y gráficos.
- Exportación directa de los resultados a hojas de cálculo y los gráficos a imágenes.
- Es posible el uso de cualquier base de datos que sea convertible a formato Excel.
- La información es compartible y accesible con/para otros usuarios.
- Su desarrollo está basado en las normas ISO de ACV (14040/44:2006).

Se divide en 6 etapas de cálculo:

1. Caracterización: Entrada de datos del producto a evaluar.
2. Inventario: Obtención automática del inventario.
3. Indicadores: Selección de los indicadores a calcular.
4. Impactos: Obtención automática de las matrices de impacto.
5. Resultados: Obtención automática de los resultados.
6. Gráficos: Definición del tipo de gráficos a ser mostrados.

(Maragall, 2011)

Desventaja:

- Es necesario pagar una tarifa para poder utilizar el sistema, provocando que para las consultorías cubanas no sea rentable su implantación, al ser Cuba un país subdesarrollado y bloqueado.

Sin embargo, ofrece aspectos que deben estar presentes en el sistema a desarrollar, como el uso de indicadores y obtención automática de los resultados.

**SIMAPRO:** Sistema de Medición y Avance de la Productividad, es una herramienta profesional desarrollada por la empresa PRÉConsultants, que permite el ACV de un producto. En este campo tiene como aplicaciones más importantes que posibilita el análisis de la contribución de estados de ciclos de vida a la carga ambiental general, usualmente con el objetivo de dar trato preferente al mejoramiento de productos o procesos; y la comparación entre productos para comunicaciones internas y externas. Con esta herramienta se facilita el análisis y la representación gráfica de ciclos complejos basándose en la Norma ISO 14040 (PRÉConsultants, 2004).

Es ampliamente utilizada a nivel mundial, pero tiene como inconveniente que es un software propietario.

**ECOCEM:** Desarrollada a través de un proyecto dentro del Programa GAITEK, de apoyo al desarrollo de nuevos productos del Departamento de Industria, Innovación, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco. Liderado por la empresa Ekotek, el proyecto, denominado “Desarrollo de una herramienta para la producción sostenible en el sector cementero”, ha contado con la investigación del centro tecnológico Tekniker-IK4. La herramienta permite que el usuario vaya configurando su proceso de fabricación, introduciendo información sobre el crudo, combustible, horno, cocción, y posibles dispositivos de depuración. Asimismo, ECOCEM ofrece la posibilidad de evaluar los impactos ambientales y económicos generados durante el proceso más crítico de la fabricación del cemento, el horno rotatorio. De este modo, el usuario no solo podrá conocer los impactos ambientales y costos asociados a su proceso, sino que podrá simular y analizar los impactos ambientales y costos que se generarían al modificar los porcentajes de las diferentes materias primas, o combustibles, al introducir un nuevo sistema de depuración, etc. (Unzalu, 2010).

Cabe destacar que la evaluación medioambiental que realiza se basa en el Análisis de Ciclo de Vida, más concretamente, en el método de evaluación Eco-Indicator 99, mientras que la evaluación económica se basa en el análisis de los costos.

Desventajas:

- Es un software propietario.
- Enfocado solamente a la producción del cemento.

La herramienta brinda resultados relativos sobre los impactos ambientales y los costos económicos, característica que tributa al desarrollo de un buen sistema de EIA.

### **Puntos débiles que presentan el ACV:**

Según (Gonçalves, 2004), su desarrollo como método de valoración está todavía en sus etapas iniciales y cargado de polémica:

- El ACV es una herramienta que por su complejidad resulta en procesos que requieren tiempo y recursos materiales y humanos, muchas veces incompatibles con la capacidad actual de la industria de desarrollar este tipo de iniciativas.
- La información relativa a los inventarios de impactos ambientales en el ACV requiere un elevado nivel de información sobre materiales y procesos, que puede no estar disponible para un amplio espectro de situaciones.
- La aplicación del ACV en productos complejos, en los que los límites del sistema se extienden en una multiplicidad de actividades, puede resultar en grados de complejidad incompatibles con evaluaciones fiables del Ciclo de Vida. Es este el caso de la construcción en el que la complejidad es evidente.

Con relación al tema de esta investigación, las herramientas o sistemas que utilizan el ACV se enfocan en el impacto ambiental de los materiales constructivos u de otro tipo utilizados en el proyecto, no en las consecuencias o efectos sobre el medio ambiente de la posible ejecución del proyecto.

### **Herramientas para la evaluación de los impactos ambientales:**

**AIEIA:** Aplicación Integral de Evaluación de Impacto Ambiental es un software propietario resultado de un proyecto llamado “Integración de modelos cualitativos y cuantitativos a la evaluación de impacto ambiental” dirigido por investigadores de la Universidad de Granada, España (Caballero, 2012). Fue diseñado siguiendo una estrategia orientada a objetos, utilizando C++ y concebida para la plataforma Windows. Es una herramienta sumamente útil y práctica que integra el proceso de EsIA (García, 2004). Este sistema implementa funcionalidades claves para el marco de esta investigación; sin embargo, su condición de propietario atenta contra su uso.

Las principales características que contribuyen al sistema a desarrollar son:

- Permite la evaluación absoluta y relativa de los impactos.
- Toma de decisiones ambientales multicriterio.

**EIA09:** Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, es un software libre desarrollado en el 2009 en la Universidad Complutense de Madrid. El proyecto evalúa el impacto que sobre el medio ambiente causa una determinada actividad u obra. El software se apoya en técnicas de lógica borrosa para aumentar la potencia a la hora de estimar conceptos de gran subjetividad, útil para el personal técnico carente de experiencia. Además, facilita la presentación de los datos del proceso y conclusiones obtenidas mediante la generación de informes detallados del proyecto en estudio (Cruz 2009).

Desventajas:

- Analiza varias alternativas de un mismo proyecto, pero en base a un único elemento de decisión.
- Toda la información referente a un proyecto se guarda en ficheros, imposibilitando el análisis estadístico.
- No tienen en cuenta una valoración económica de las alternativas.

Las principales características que aporta esta aplicación y que se tendrán en cuenta en el sistema a desarrollar son:

- Permite el uso de indicadores para analizar los factores ambientales que se ven afectados por las acciones del proyecto.
- Ofrece la posibilidad de comparar diferentes impactos entre sí, debido a que implementa 14 funciones de transformación para convertir el valor de la magnitud de cada impacto en unidades homogéneas (comparables).
- Genera un informe de los resultados obtenidos.
- Muestra la lista de acciones del proyecto y lista de factores ambientales con estructura de árbol.

**IMPRO3 Versión 3.03:** Aplicación de índole propietaria diseñada para realizar Estudios de Impacto Ambiental de un proyecto y sus alternativas de forma sistemática y ordenada, desarrollada por el Dr. Domínguez Gómez Orea y basado en la metodología definida por dicho autor.

Según (Gómez, 1991) este programa permite:

- Definir detalladamente el proyecto y trabajar con varias alternativas.
- Identificar de manera sistemática los posibles efectos del proyecto, caracterizándolos en los términos que establece el Reglamento de EIA Europeo.
- Valorar cuantitativa y cualitativamente los impactos.
- Obtener informes, en pantalla o de forma impresa, con los resultados de la evaluación, para incluirlos directamente en el estudio de impacto ambiental.

A pesar de sus facilidades, su uso se ha sido restringido a prácticas de cursos académicos de EIA.

**RIAM:** Matriz de Rápida de Evaluación de Impactos Ambientales (RIAM, Rapid Assessment Matrix), desarrollado por Christopher M.R. Pastakia y Kristian N. Madsen, del Instituto Danés DHI Water & Environment, en 1995. Permite, que los datos de diferentes componentes sean analizados contra criterios comunes, dentro de una misma matriz, ofreciendo una evaluación rápida de los impactos. Los criterios de evaluación caen en dos grupos principales. En el primer grupo (A) están los criterios relacionados con la importancia de la condición (medida que es evaluada contra las fronteras espaciales o intereses humanos que afectará) y que pueden cambiar individualmente la puntuación obtenida (multiplicación). El segundo grupo (B) están los criterios que son de valor para la situación (medida del beneficio/perjuicio de un impacto o una condición), pero que individualmente no son capaces de cambiar la puntuación obtenida (suma). La suma del grupo (B) es entonces multiplicada por el resultado del grupo (A) para proveer el resultado final de la evaluación (ES) para cada condición. El proceso puede ser expresado de esta manera:

$$a_1 \cdot a_2 = a_t$$

$$b_1 + b_2 + b_3 = b_t$$

$$a_t \cdot b_t = ES$$

Donde:

$a_1$  y  $a_2$  son las puntuaciones individuales de los criterios para el grupo (A).

$b_1, b_2, b_3$  son las puntuaciones individuales de los criterios para el grupo (B).

$a_t$  es el resultado de la multiplicación de todas las puntuaciones de (A).

$b_t$  es el resultado de la sumatoria de todas las puntuaciones de (B).

$ES$ , es el puntaje de evaluación para la condición.

(Zúñiga, 2012).

Ventajas:

- Fácil y rápida evaluación de impactos ambientales.
- Permite la generación de un informe con los detalles del proyecto.

Desventajas:

- Poco rigor matemático.
- La evaluación del impacto se realiza con un limitado número de variables (2 criterios en el grupo A y 3 en el grupo B).

- No contempla el análisis de alternativas.

### **1.3.2 Ámbito nacional**

A partir de una exhaustiva búsqueda bibliográfica, entrevistas con especialistas y directivos de las unidades de la Consultoría Ambiental de la ENIA, se evidenció que en Cuba no existe variedad de productos informáticos sobre la EIA y que el tema ha sido poco explotado. Sin embargo, se encontraron algunos sistemas como:

**SIEVIMP:** Sistema Informático para el Estudio de Impactos Ambientales, es un Paquete Digital compuesto por Software y Multimedia, cuya aplicación de gestión y procesamiento de datos, permite aplicar y procesar todo el algoritmo relativo a los estudios, con amplias posibilidades de intercambio de información por ficheros externos entre especialistas, sobre los diferentes estudios que se estén realizando. Permite al usuario realizar consultas sobre diferentes aspectos del tema en un producto multimedia diseñado de manera agradable y útil (Campos, 2007).

Ventajas:

- Facilita la búsqueda y consulta de información sobre metodologías, procedimientos, responsabilidades institucionales, normativas y regulaciones para la evaluación y estudios de impacto ambiental.
- Muestra reportes en forma gráfica.

Desventajas:

- No presenta análisis de alternativas de un proyecto.
- No se realiza una valoración cuantitativa de los impactos.

Vale señalar que existe poca información publicada sobre SIEVIMP y que no es utilizado por las unidades consultoras cubanas. Los especialistas de la ENIA, que fueron entrevistados, y que tenían conocimiento sobre dicho sistema, plantean que el software no cumple con las necesidades de los estudios de impacto ambiental que se llevan a cabo.

**IEA:** Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales, un sistema web que implementa un procedimiento que permite identificar y evaluar aspectos ambientales a través de la unión de normativas ambientales vigentes, facilitando la toma de decisiones en la etapa de planificación del Sistema de Gestión Ambiental de la organización (Caballero, 2012).

Este producto informático está enfocado en la evaluación aspectos ambientales<sup>5</sup> según sus impactos asociados, es decir evalúa el comportamiento de las entradas y salidas de un proceso ya establecido en una organización.

### 1.3.3 Contribuciones al sistema a partir del estudio de soluciones similares realizado

A partir del estudio realizado, se evidencia la necesidad de una aplicación informática que cumpla con los requisitos de los estudios de impacto ambiental y con las expectativas de las unidades de la Consultoría Ambientales Pro-Ambiente de la ENIA. Para ello se identificaron las funcionalidades más comunes e importantes de los sistemas descritos, las cuales se muestran a continuación:

- Obtención automática de los resultados.
- Uso de indicadores para analizar los factores ambientales que se ven afectados por las acciones del proyecto.
- Brindar resultados relativos sobre los impactos ambientales y sus costos económicos.
- Evaluar de forma absoluta y relativa de los impactos.
- Análisis multicriterio para la selección de las alternativas de realización de un proyecto.
- Generación de los resultados obtenidos mediante un informe.
- Mostrar la lista de acciones del proyecto y lista de factores ambientales con estructura de árbol.

### 1.4 Metodologías y Métodos de 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 (Conesa, 2000).

Las metodologías no proporcionan respuestas a todas las preguntas sobre los impactos de un posible proyecto o conjunto de alternativas. Aunque uno de sus propósitos, es asegurar que se han incluido en el estudio todas las relaciones entre las acciones y los factores ambientales que dan origen a un impacto ambiental. Se han desarrollado numerosos tipos de metodologías, sin embargo, no existe una metodología estándar aplicable a todo tipo de proyecto; por tanto el tema clave es seleccionar

---

<sup>5</sup> Según la Norma Cubana ISO 14050, se define como elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

adecuadamente la metodología o las características de estas que permitan cumplir con los aspectos establecidos en los estudios de impacto ambiental que se lleven a cabo.

Entre las metodologías existentes las más usuales son:

### 1.4.1 Método Leopold

Desarrollado por el Servicio Geológico del Departamento del Interior de Estados Unidos, inicialmente fue diseñado para evaluar los impactos asociados con proyectos mineros y posteriormente ha resultado útil en proyectos de construcción de obras. Se desarrolla una matriz al objeto de establecer relaciones causa-efecto de acuerdo con las características particulares de cada proyecto, a partir de dos listas de chequeo que contiene 100 posibles acciones proyectadas y 88 factores ambientales susceptibles de verse modificados por el proyecto (Leopold, 1971). Se considera el primer método que se estableció para las evaluaciones de impacto ambiental.

Es una en una matriz de doble entrada, donde las columnas son acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las filas, factores del medio susceptible de ser alterados (Abellán, 2006).

Cada cuadrícula marcada con una diagonal admite dos valores:

Magnitud: Valoración del impacto o de la alteración potencial al ser provocada; grado extensión o escala; se coloca en la mitad superior izquierda. Hace referencia a la intensidad, a la dimensión del impacto en sí mismo y se califica del 1 al 10 de menor a mayor, anteponiendo un signo + para los efectos/impactos positivos y un signo – para los negativos (García, 2004).

Importancia: Valor ponderal, que da el peso relativo del potencial impacto, se escribe en la mitad inferior derecha del cuadro. Hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio, y a la extensión o zona territorial afectada, se califica también del 1 al 10 en orden creciente de importancia (García, 2004).

En (Oyarzún, 2008) respecto a la asignación de valores, se recomienda utilizar el Método Delphi: Cinco o siete personas discuten la situación para cada celda. Luego asignan independientemente puntajes y ellos son contrastados. Si no hay grandes diferencia, se asigna el promedio de las cifras obtenidas. En caso contrario, se repite la discusión y se procede a promediar las nuevas cifras.

Ventajas:

- Considera los posibles impactos de acciones de un proyecto sobre diferentes factores ambientales (relaciones causa-efecto).

- Incorpora la valoración cualitativa y cuantitativa de un impacto ambiental, aunque con limitaciones debido a la escala de clasificación.
- Permite comparar alternativas, realizando diferentes matrices.

Desventajas:

No contempla un procedimiento para calcular la magnitud ni la importancia de un impacto, su determinación se basa solo en seleccionar un valor entre 1 y 10, dando un carácter altamente subjetivo al método.

### 1.4.2 Listas de Chequeo

La fase de identificación de los impactos es muy importante porque una vez conocidos los efectos se pueden valorar las consecuencias, con más o menos precisión por diferentes sistemas, para no omitir ningún aspecto importante, se hace útil elaborar una lista de chequeo lo más amplia posible, tanto de los componentes o factores ambientales como de las actividades del proyecto (León, 2002).

Según (Conesa, 2000) son un método de identificación muy simple, por lo que se usa para evaluaciones preliminares. Sirven primordialmente para llamar la atención sobre los impactos más importantes que puedan tener lugar como consecuencia de la realización de un proyecto.

Está constituida por un listado de todas las acciones del proyecto susceptibles de dar lugar a impactos. Puede usarse en combinación con cualquier metodología más compleja. Por sí sola, la lista de chequeo sólo ayuda a no olvidar ningún detalle (si está bien confeccionada). Si se sitúa el resultado de dos listas de chequeo en dos ejes de coordenadas (x, y) se forma una matriz, funcionamiento base del método de Leopold.

Ventajas:

- Constituyen una forma concisa y organizada de relacionar los impactos.
- Ofrecen cubrimiento o identificación de casi todas las áreas de impacto.

Desventajas:

- No permiten la identificación de las interrelaciones entre los factores ambientales, es decir no propicia el establecimiento de los vínculos causa-efecto en las diferentes actividades del proyecto y los factores ambientales (Aigaje, 2012).
- Representan básicamente un método de identificación cualitativo.
- No incluye una interpretación global del impacto.

### **1.4.3 Método Batelle-Columbus**

Desarrollado por el Instituto de Investigaciones Batelle en su sede de Columbus, Ohio, aparece descrito en la publicación de N.Deer y otros (1972), “An Environmental Evaluation System for Water Resource Planning”. Su objetivo principal fue incrementar la consistencia entre las EIA que debía realizar el U.S. Bureau of Reclamations, al introducir aspectos más amplios y cuantitativos en el análisis de los efectos de sus acciones remediales (Oyarzún, 2008).

El método consiste en un esquema ramificado que contiene 78 parámetros ambientales (indicadores de impacto), representativos de cada uno de los aspectos del medio y del impacto ambiental de las acciones de un proyecto determinado. Estos parámetros se ordenan según 18 componentes ambientales y 4 categorías ambientales que son: Ecología, Contaminación, Aspectos estéticos y Aspectos de interés humano. En conclusión aparecerá un esquema con los factores ambientales degradados en cuatro niveles de información diferentes. Los factores del primer nivel se denominan categorías, segundo componentes, tercero parámetros y los del cuarto medidas. Cada uno de estos niveles debe ser representativo de la calidad ambiental (Abellán, 1993).

Una vez obtenido los parámetros se transformarán sus valores correspondientes en unidades conmensurables y por tanto comparables, mediante técnicas de transformación. Las medidas de cada parámetro en sus unidades características, inconmensurables, se trasladan a una escala de puntuación 0 a 1, que representa el índice de calidad ambiental en unidades conmensurables. A cada parámetro (factor ambiental) en unidades de calidad ambiental, se le asigna un valor resultado de la distribución de 1000 unidades, la cual se estima según su mayor o menor contribución al medio ambiente. Efectuando entonces la suma ponderada de los factores, se obtiene el valor de cada componente, categoría y el valor ambiental total (Conesa, 2000).

Ventajas:

- Mediante funciones de transformación permite comparar la magnitud del daño ocasionado sobre diferentes factores.
- Permite el cálculo del impacto ambiental global del proyecto.
- Permite comparar alternativas al proyecto.

Desventajas:

- Fue diseñado para determinar el impacto ambiental de proyectos hidráulicos.
- No se modela la incertidumbre de los datos.

### 1.4.4 Análisis Costo-Beneficio

Un Análisis Costo-Beneficio, puede permitir valorar un problema ambiental mediante una comparación de los costos por daños frente a los costos para evitarlos. Cuando existen datos, este sistema analítico, de tipo económico, puede ser usado para comparar opciones alternativas.

En un Análisis Costo-Beneficio, los costos se sitúan en oposición a los beneficios. Aunque este concepto posee elementos engañosos, ya que el contrario de los beneficios son los desbeneficios. El procedimiento costos-beneficios supone un intercambio a dos bandas cuando en la realidad es un trato a tres bandas. Los desbeneficios, como tercer elemento, han estado claramente desvinculados de este proceso de análisis (Aigaje, 2012).

Actualmente, los problemas ambientales forman una arista del Análisis Costo-Beneficio. En muchas ocasiones, la solución de problemas ambientales está ligada a la aplicación de medidas preventivas y/o correctoras que traen consigo un costo. Desde el punto de vista económico pudiera entenderse como una pérdida de tiempo o como un gasto que atenta contra los ingresos; sin embargo, el beneficio aunque no inminente, si estaría presente a largo plazo, contribuyendo así a un desarrollo sostenible.

### 1.4.5 Método del CNYRPAB

CNYRPAB (Departamento de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York) es un método de identificación de los impactos que ocasiona un proyecto, obra o actividad. Se utilizan dos matrices, la primera de las cuales es semejante a la de Leopold, en la que se relacionan las condiciones iniciales del ambiente y el estado de los recursos naturales con las posibles acciones sobre el medio. Se marcan las cuadrículas a las que corresponde un impacto directo y se les califica con un número de orden. Estos impactos calificados se interrelacionan entre ellos mediante el empleo de una segunda matriz con objeto de identificar los impactos indirectos. Así se destacan los impactos directos e indirectos que produce una determinada acción y también a la inversa, es decir, se pueden analizar las causas que dan lugar a un impacto dado. Este método se estático, ya que no se incluye la variable tiempo (Conesa, 2000).

### 1.4.6 Método de Hill-Schechter

Este método parte de una reflexión crítica de los métodos de análisis costos-beneficios, estimando que no permiten integrar todos los elementos y en particular los efectos intangibles. Este análisis trata de evaluar y sopesar globalmente los beneficios y costos sociales, reducidos a valores actuales, que se

derivarán de una o varias opciones. Dicha evaluación de costos y beneficios se hace normalmente con ayuda de precios ficticios o imputados para aquellos bienes y servicios que no tienen un mercado que los fije, como es el caso de los bienes y servicios medioambientales. No obstante, se puede prescindir de ellos si los costos y beneficios admiten directamente comparaciones que permitan obtener conclusiones sin necesidad de valorarlos en unidades monetarias (Conesa, 2000).

### 1.4.7 Sistema de información geográfica

Existen múltiples definiciones de diferentes autores acerca de un Sistema de información Geográfica (SIG), por ejemplo:

- Según Rhind, 1981 el término SIG es: “Sistema informatizado de propósito general para el manejo (captación, almacenamiento, consulta, análisis y representación) de información localizada geográficamente”
- Clarke, 1986 define SIG como "Sistemas asistidos por ordenador para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y visualización de datos espaciales".
- Según Cowen, (1988): Un sistema de ayuda a la decisión que integra datos referenciados espacialmente en un contexto de solución de problemas.
- Conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2010).

En resumen un SIG es un sistema de hardware y software que tiene como objetivo el análisis de datos espaciales georreferenciados, con el fin de apoyar, resolver, representar y tomar decisiones sobre problemas e información que requieran de datos espaciales.

Ventajas:

- Permite desplegar mapas, gráficas e información tabular sobre la zona en estudio, esto permite al usuario una mejor presentación de resultados.
- Elaboración de un inventario de los recursos ambientales de un territorio concreto o la realización de la cartografía básica topográfica o temática.
- Permiten crear modelos digitales de terrenos o elevaciones, cuencas visuales, etc.
- Permite conocer y analizar algún aspecto ambiental o paisajístico determinado, sin tener como propósito final la predicción, planificación o gestión.

- Se usan para conocer, estudiar y predecir los factores de riesgos ambientales, por ejemplo los análisis de peligrosidad sísmica, predicción de movimientos de tierras, análisis de riesgos de inundación, etc.

A pesar de las muchas ventajas de los SIG, presentan algunas limitantes para el tema en investigación como:

- Los SIG de propósito general, no siempre van a cumplir con las características del EIA, necesitando que se desarrolle uno especialmente para ello.
- La información que se utiliza en un EsIA, no está disponible en la forma que requiere un SIG.
- Necesidad de una base de datos geográficos para cada zona donde se vaya a realizar un EsIA.
- El costo económico que esta tecnología requiere para su uso operativo.

Además poder explotar esta tecnología requiere:

1. Equipos de computación (computadoras, impresoras, scanners, digitalizadores y plotters).
2. Software con sus manuales, tutoriales y sus licencias.

#### **1.4.8 Metodología Conesa**

En la tercera edición de la “Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental” por el Dr. Vicente Conesa Fernández-Vítora se realiza un estudio crítico de algunas de las metodologías planteadas y se propone una Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, conocida como Metodología Conesa.

Está basada en el método de Leopold para los resultados cualitativos y en el método del Instituto Batelle-Columbus, para los resultados cuantitativos, reuniendo los principales aportes de esas metodologías.

Las fases por las que se desarrolla el EsIA incluido en la EIA, se sintetizan en las siguientes:

1. Análisis del proyecto y sus alternativas.
2. Definición del entorno del proyecto.
3. Previsiones de los efectos.
4. Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactantes.
5. Identificación de los factores del medio potencialmente impactados.
6. Identificación de las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y factores del medio.

7. Predicción de la magnitud del impacto.
8. Valoración cuantitativa del impacto ambiental.
9. Definición de las medidas correctoras, precautorias y compensatorias y del programa de vigilancia ambiental.
10. Proceso de participación pública, tanto de particulares como agentes sociales y organismos interesados.
11. Emisión del informe final.
12. Decisión final del órgano competente.

(Conesa, 2000)

Las primeras tres fases tiene por objetivo conocer las características del proyecto y sus alternativas, así como una pequeña estimación de sus efectos ambientales. La fase 4, 5 y 6 forman parte de la evaluación cualitativa. La fase 7, 8 y 9 corresponden a la evaluación cuantitativa. Estas primeras 9 fases se conocen como EsIA. La fase 10, 11 y 12 forman parte del proceso de EIA, pero como están íntimamente ligadas se pusieron en la estructura.

Ventajas:

- Toma lo positivo de otras metodologías.
- La valoración cualitativa de un impacto ambiental se realiza mediante 11 atributos cualitativos.
- Permite la valoración cuantitativa de un impacto ambiental.
- Mide el impacto ambiental sobre un factor determinado.
- Mide el impacto ambiental de las acciones de un proyecto sobre el entorno.
- Permite el cálculo del impacto ambiental global del proyecto.
- Comparación de alternativas.
- Prevención y corrección de impactos.

Desventajas:

- La valoración cualitativa utiliza variables cuantitativas.
- No se modela la incertidumbre de los datos.

### **1.4.9 Guía general para realizar estudios de impacto ambiental**

El artículo 2 de la Resolución 132/2009 del CITMA plantea que la Evaluación de Impacto Ambiental tiene los objetivos siguientes:

- Asegurar que los potenciales impactos ambientales sean debidamente previstos en una etapa temprana del diseño y la planificación del proyecto, mediante la identificación de las medidas para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar los posibles impactos negativos y realzar los posibles impactos positivos, así como la presentación de alternativas que los eviten o minimicen al máximo, para la toma de decisiones.
- Examinar en qué forma el proyecto puede causar impactos a las comunidades, a otros proyectos de desarrollo social y al medio ambiente en general.
- Propiciar la evaluación y la valoración económica de los efectos ambientales previstos y el costo de la reducción de los efectos ambientales negativos.

Conforme el artículo 27 de la Ley 81 el proceso de EIA comprende:

1. Solicitud de la licencia ambiental.
2. Estudio de Impacto Ambiental en los casos que proceda.
3. Evaluación propiamente dicha, a cargo del CITMA.
4. Otorgamiento o no de la licencia ambiental.

Para la etapa 2 de la EIA, el Centro de Inspección y Control Ambiental de Cuba elaboró una guía para la realización de estudios de impacto ambiental, con el objetivo de establecer un procedimiento metodológico que garantice el desarrollo homogéneo del proceso de EIA en todo el territorio nacional y su control a través del Sistema de Inspección Ambiental Estatal. De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 14, del Capítulo II de la Resolución N° 77/99 y la disposición especial de la Resolución 132/2009.

La estructura de la guía está distribuida en 9 fases:

1. Resumen ejecutivo.
2. Descripción completa del proyecto (justificación económica y social, descripción del sistema constructivo y de la tecnología, organización y ejecución de las etapas constructivas).
3. Descripción general de la línea base ambiental.
4. Identificación y análisis de los impactos.
5. Medidas preventivas y correctoras.
6. Plan de monitoreo.
7. Valoración económica.

8. Consulta pública (entrevista y encuestas a técnicos, directivos de instituciones o cualquier persona, ubicadas dentro de la zona del proyecto, sobre cuestiones ambientales).
9. Bibliografía.

(CICA, 2009)

Las primeras 3 fases de esta guía son semejantes a las planteadas anteriormente, el objetivo es igualmente conocer con profundidad el proyecto; es decir describir con detalles el proyecto (justificación social, descripción del sistema constructivo y de la tecnología, integración del proyecto al entorno, etc.), describir el medio ambiente donde se va a ejecutar el proyecto, conocer el equipo de trabajo que realizará el EsIA, etc. La fase 4 se refiere a la identificación de los impactos, clasificaciones y evaluación, semejante a la fase de evaluación cualitativa de Conesa. La fase 5 y 6 son equivalentes a la fase 9 de la metodología Conesa. Se puede apreciar que en ambas metodologías se le da participación al público de una forma u otra.

Ventajas:

- Plantea en la fase 7 (Valoración económica) una evaluación comparativa entre los beneficios por los impactos positivos que genera el proyecto y los costos por las medidas preventivas, de mitigación y de restauración para cada uno de los impactos que se provocan en cada uno de los elementos del medio ambiente y el programa de monitoreo para ver si el resultado es viable o debe tener otra alternativa (CICA, 2009).

Desventajas:

- No establece ningún procedimiento para realizar las fases 4, 5 y 7, solo plantea los aspectos que deben tratarse.
- No incluye ningún mecanismo de valoración cualitativa, ni cuantitativa. Solo expone las posibles clasificaciones que pueden tomar los impactos ambientales.

Vale aclarar que la guía elaborada por el CICA, sugiere la integración adecuada de técnicas cualitativas y cuantitativas, pero al no establecer un procedimiento de valoración, las unidades consultoras cubanas solo se limitan a realizar una evaluación cualitativa de los impactos ambientales. El procedimiento adoptado a nivel nacional para ello, ha sido el definido por la metodología Conesa en sus fases 4, 5 y 6 (aunque no las cumplen íntegramente). Sin embargo, se obvia la evaluación cuantitativa; una de las razones es la falta de una herramienta informática que agilice la conversión de las unidades

heterogéneas, de los valores de cada indicador, a unidades homogéneas que permita comparar la magnitud de los impactos.

#### **1.4.10 Metodología de EIA seleccionada**

Se decide seleccionar la metodología Conesa como base para el desarrollo del sistema. A pesar de las desventajas planteadas, dicha metodología cumple con los tres requisitos del modelo ideal<sup>6</sup> de valoración (adecuación conceptual y adecuación de la información, de manera total, y adecuación matemática, de manera parcial), sacrificando, no obstante, parte del rigor matemático en favor de la posibilidad de considerar una mayor cantidad de información.

Vale aclarar que el sistema de EsIA a desarrollar implementará las fases de la 4 a la 9 de Conesa, sin incluir el programa de vigilancia de la última. Recordar que las fases 1, 2 y 3 se refieren a una descripción del proyecto y del entorno donde se localiza.

Se pudo apreciar que la “Guía general para realizar estudios de impacto ambiental”, elaborada por el CICA, tiene varios puntos de contacto con la metodología de Conesa, por lo que la selección realizada complementa lo establecido en la Resolución 77/99 y 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”. Esta última plantea en su artículo 26 inciso b), del Capítulo III, que un EsIA debe contener el análisis de alternativas de un proyecto para la identificación de la más favorable para el medio ambiente. De igual modo refleja en el mismo artículo en el inciso i) el análisis de las relaciones entre los costos económicos y los efectos ambientales de cada alternativa.

Para dar cumplimiento al inciso b) se implementará un método de decisión multicriterio con el objetivo de apoyar las decisiones ambientales respecto a la puesta en práctica de determinadas alternativas; para el inciso i) se brindará la posibilidad de realizar un Análisis Costo-Beneficio de cada alternativa.

Para una mayor claridad se plantea la estructura que conforma la base del sistema informático:

- Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactantes.
- Identificación de los factores del medio potencialmente impactados.
- Identificación de las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y factores del medio.
  - Matriz de Importancia.

---

<sup>6</sup> Según expresa el Dr. Vicente Conesa en la tercera edición del libro: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

- Valoración cualitativa: Determinación de la importancia (I).
- Matriz depurada.
- Valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados.
- Valoración relativa.
- Valoración absoluta.
- Predicción de la magnitud del impacto ambiental y evaluación cuantitativa.
  - Valoración cuantitativa: Determinación de la magnitud (M).
  - Valor del impacto sobre un factor determinado.
  - Impacto ambiental total.
- Prevención y corrección de impactos. Análisis Costo-Beneficio.
- Valoración de alternativas.
  - Paso 1: Análisis de las alternativas.
  - Paso 2: Selección de criterios.
  - Paso 3: Ponderación de los criterios.
  - Paso 4: Valoración de las alternativas para cada criterio.
  - Paso 5: Aplicación de una técnica para la ordenación o selección de las alternativas.
  - Paso 6: Análisis de sensibilidad.
  - Paso 7: Informe final y aprobación del decisor.
- Emisión del informe final.

### **1.5 Consideraciones finales**

Se obtuvo un marco legal que evidencia la evolución de los países en materia de medio ambiente y el desarrollo de Cuba con respecto a leyes y resoluciones de protección ambiental. Se realizó un estudio de nueve metodologías de EIA, conformándose la base teórica del software a partir de la Metodología Conesa y la Resolución 132/2009. Se analizaron nueve sistemas informáticos homólogos, obteniendo siete funcionalidades claves y comunes en sistemas de EsIA.

## **CAPÍTULO 2** BASE TEÓRICA DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describen los elementos que componen la base del sistema informático según la metodología Conesa. Se detalla los cambios propuestos en la estructura del software como el Análisis Costo-beneficio y la valoración de alternativas según el método multicriterio PRES, dando respuesta a lo establecido en la Resolución 132/2009 del CITMA.

### **2.1 Estructura base del sistema informático**

El sistema informático está sustentado en la Metodología Conesa como base rectora, sin embargo en correspondencia con las normativas cubanas y las preferencias de las unidades para la investigación de la construcción pertenecientes a la ENIA fueron omitidos algunos puntos y agregados otros de prioridad para los especialistas. A continuación se describe los elementos de la estructura que conforma la base del sistema informático.

#### **2.1.1 Identificación de acciones del proyecto potencialmente impactantes**

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 (Cruz, 2009).

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.

En este trabajo solo se utilizará 2 niveles:

Primer nivel: Fases, se refiere a las que forman la estructura vertical del proyecto.

Las fases fueron determinadas a partir de un cuestionario realizado a los especialistas y la revisión de los estudios de impacto ambiental efectuados por las unidades (Ver Anexo 1).

- Fase de Planificación.
- Fase de Construcción.
- Fase de Explotación.
- Fase de Abandono.

Segundo nivel: Acciones, se refiere a una causa simple, concreta, directa, bien definida y localizada de impacto.

### **2.1.2 Identificación de los factores del medio potencialmente impactados**

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 (Cruz, 2009).

La complejidad del entorno y su carácter de sistema, aconseja disponer los factores relevantes en forma de árbol.

En el sistema informático se utilizará dos niveles principales:

- Primer nivel: Sistema (forma organizativa para los componentes del medio ambiente).
- Segundo nivel: Factores (corresponden a los conceptos más importantes y básicos en la evaluación o subfactores para una definición más nítida y concreta).

El primer nivel está formado por 3 sistemas fijos:

1. Sistema Medio Físico.
2. Sistema Medio Socioeconómico.
3. Sistema Patrimonio Cultural.

El segundo nivel está formado por varios factores ambientales o componentes ambientales contenidos en los sistemas anteriores, por ejemplo:

1. Sistema Medio Físico:

- 1.1. Ruido.
- 1.2. Suelo.
- 1.3. Aguas superficiales.
- 1.4. Aguas subterráneas.
- 1.5. Flora.
- 1.6. Fauna.
- 1.7. Paisaje.
- 1.8. Clima.

2. Sistema Medio Socioeconómico:

- 2.1. Población.
- 2.2. Economía.
- 2.3. Infraestructura.

3. Sistema Patrimonio Cultural:

- 3.1. Patrimonio histórico cultural.

### 3.2. Arqueología.

Estos sistemas y factores ambientales forman parte de la línea base general del medio ambiente que mostrará el software. Los mismos fueron determinados por los especialistas a partir de un cuestionario realizado (Ver Anexo 1). Con respecto a los factores ambientales el software permitirá agregar, modificar o eliminar los que estime conveniente el usuario.

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. Los pesos se atribuyen repartiendo 1000 puntos entre los factores de cada nivel (Conesa, 2000).

#### 2.1.3 Identificación de las relaciones causa-efecto entre las acciones del proyecto y factores del medio

##### 2.1.3.1 Matriz de Importancia

Por otra parte se conforma la matriz 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 receptores de los impactos. La valoración cualitativa se efectuara a partir dicha matriz. Cada casilla de cruce en la matriz nos dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor ambiental impactado. Al ir determinando la importancia del impacto, de cada casilla de cruce, se irá construyendo la matriz de importancia.

##### 2.1.3.2 Valoración cualitativa: Determinación de la importancia (I)

En la “Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental” por el Dr. Vicente Conesa Fernández-Vítora, se plantea para la valoración cualitativa lo siguiente:

Símbolo	Denominación y significado
NA	<b>Naturaleza del Impacto</b> (Efecto beneficioso, perjudicial o difícil de cualificar).
I	<b>Intensidad del impacto</b> (Grado de afectación)
EX	<b>Extensión del impacto</b> (Área que será afectada)
SI	<b>Sinergia</b> (Reforzamiento de dos o más efectos simples)
PE	<b>Persistencia</b> (Permanencia del efecto)
EF	<b>Efecto</b> (Relación Causa – Efecto)

<b>MO</b>	<b>Momento del impacto</b> (Plazo de manifestación)
<b>AC</b>	<b>Acumulación</b> (Incremento progresivo)
<b>MC</b>	<b>Recuperabilidad</b> (posibilidad de introducir medidas correctoras y protectoras)
<b>RV</b>	<b>Reversibilidad</b> (Posibilidad de regresar a las condiciones iniciales por medios naturales)
<b>PR</b>	<b>Periodicidad</b> (Regularidad de manifestación del efecto)

**Tabla 1.**<sup>7</sup> Caracterización de los atributos cualitativos para determinar la importancia de un impacto.

La importancia del impacto es una medida cualitativa del mismo que se obtiene a partir del grado de incidencia (Intensidad) de la alteración producida y de la caracterización obtenida a través de los diferentes atributos. Se obtiene a través de la expresión:

$$I = \pm[3I + 2EX + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR]$$

La importancia de un impacto toma valores entre 13 y 100, por lo que cada impacto tiene un carácter o clasificación de acuerdo a su importancia (*I*) en:

**CO** Compatible ( $I \leq 25$ )

**M** Moderado ( $25 < I \leq 50$ )

**S** Severo ( $50 < I \leq 75$ )

**C** Crítico ( $I > 75$ )

### 2.1.3.3 Matriz depurada

Una vez obtenida la matriz de importancia, pueden aparecer impactos de diversos tipos en cuanto a su relevancia y posibilidad de cuantificación, que aconsejan un tratamiento individualizado al margen de la matriz, ellos son: (Conesa, 2000)

- Casillas de cruce que presentan impactos con valores poco relevantes y que en EsIA concretos interesa no tener en cuenta. Estos impactos despreciables se excluyen del proceso de cálculo y se ignoran en el conjunto de la evaluación. La instrumentación en el modelo consiste en la introducción de un valor de importancia por debajo del cual no se consideran los impactos.
- Casillas de cruce que presentan impactos sumamente importantes y determinantes. Estos impactos se excluyen del proceso de cálculo, ya que en base a su relevancia, entidad y significación, su tratamiento homogéneo con los demás impactos plasmados en la matriz, podría

<sup>7</sup> Para mayor claridad en la caracterización e interpretación de los atributos cualitativos remitirse al Anexo 10

enmascarar su papel preponderante. Se consideran paralelamente al modelo, interviniendo de forma determinante en la toma de decisiones.

- Casillas de cruce que presentan impactos cualitativos que corresponden a impactos de naturaleza intangible y para los que no se dispone de un indicador razonablemente representativo. Estos impactos se excluyen del proceso de cálculo, pero se consideran paralelamente al modelo, y como componente del mismo en el proceso de evaluación, interviniendo en la toma de decisiones.

Quedaran finalmente las casillas de cruce que presentan impactos normales, no tomando como tales a los incluidos en los puntos anteriores. El conjunto de casillas de cruce que presentan impactos normales, componen la matriz de importancia depurada, con dicha matriz se realiza la valoración cuantitativa y la valoración cualitativa absoluta y relativa que se explica a continuación.

#### **2.1.3.4 Valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados**

Aquí se establecerá la valoración cualitativa de cada una de las acciones que han sido causa de impacto y a su vez de los factores ambientales que han sido objeto de impacto. Los distintos factores del medio presentan importancias distintas de unos respecto a otros, en cuanto a su mayor o menor contribución a la situación ambiental. Con el fin de llevar a cabo la ponderación de la importancia relativa de los factores, se atribuye a cada factor un peso o índice ponderal, expresado en unidades de importancia (UIP) y el valor asignado a cada factor resulta de la distribución relativa de mil unidades asignadas al total de factores ambientales (Medio Ambiente de calidad óptima). Considerando que los índices ponderales o de importancia del factor representan su importancia o interés dentro de un sistema global, que es el mismo, según Batelle para todos los proyectos, aquellos no deben variar de una actividad a otra dentro de zonas geográficas y contextos socio-económicos similares, evitándose con esto, además, interpretaciones subjetivas (Conesa, 2000).

#### **2.1.3.5 Valoración relativa**

Una vez ponderados los distintos factores del medio contemplados en el estudio, se desarrolla el modelo de valoración cualitativa, en base a la importancia  $I_{ij}$  de los impactos que cada acción  $A_i$  de la actividad produce sobre cada factor del medio  $F_j$ . La suma ponderada de la importancia  $I_{ij}$  del impacto de cada casilla por columnas, identificará las acciones más agresivas (altos valores negativos), las poco agresivas

(bajos valores negativos) y las beneficiosas (valores positivos), pudiendo analizarse las mismas según sus efectos sobre los distintos subsistemas. La suma ponderada de la importancia del impacto de cada casilla por filas, indicara los factores ambientales que sufren, en mayor o menor medida las consecuencias del funcionamiento de la actividad considerando su peso específico, o lo que es lo mismo el grado de participación que dichos factores tienen en el deterioro del medio ambiente. Pese a la cuantificación de las casillas llevada a cabo para calcular la importancia del impacto, la valoración es meramente cualitativa, ya que el algoritmo creado para su cálculo, es función del grado de manifestación cualitativa de los atributos que en el intervienen (Conesa, 2000).

#### 2.1.3.6 Valoración absoluta

Los valores de importancia de impacto en las casillas de la matriz no son comparables entre sí, o sea, la proporción que sus valores numéricos indican, no es la misma que la de las importancias reales (variables no proporcionales). El hecho de que una importancia sea mayor que otra, sí implica que el impacto de la primera acción sobre el factor considerado es mayor que el de la segunda sobre el mismo factor (variables ordinales). Cuando se comparan las importancias de dos impactos correspondientes a los efectos producidos por dos acciones sobre dos factores, siendo uno mayor que el otro, expresa simplemente que la importancia del primer impacto es mayor que la del segundo, pero con carácter cualitativo, no en la proporción que sus valores numéricos indican. De la misma manera, al no ser comparables unas casillas con otras, dentro de la misma matriz, los resultados de las sumas de filas o columnas, son cualitativos y no cuantitativos.

La utilidad de la valoración absoluta, radica principalmente en la detección de factores que, presentando poco peso específico en el medio estudiado (baja importancia relativa), son altamente impactados (gran importancia absoluta). Si solo se estudiara la importancia relativa, quedaría enmascarado el hecho del gran impacto que se puede producir sobre un factor, pudiendo llegar incluso a representar su destrucción total.

Una vez realizada la valoración cualitativa por los dos métodos descritos quedan definidos algunos los indicadores que suelen emplearse para estimar el impacto simultáneo de varios impactos. Se ha supuesto una matriz de  $n$  factores  $m$  acciones, y donde  $I_{ij}$  es la importancia del impacto de la acción  $A_i$  sobre el factor  $F_j$ , cuya importancia relativa es relativa al entorno es  $P_{ij}$ .

- La importancia de los impactos  $I_i$  debido a la acción  $A_i$

$$I_i = \sum_{j=1}^n I_{ij}$$

- La importancia relativa al entorno de los impactos  $I_{Ri}$  debido a la acción  $A_i$

$$I_{Ri} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}$$

- La importancia de los impactos  $I_j$  sufridos por el factor  $F_j$

$$I_j = \sum_{i=1}^m I_{ij}$$

- La importancia relativa al entorno de los impactos  $I_{Rj}$  sufrido por el factor  $F_j$

$$I_{Rj} = \frac{\sum_{i=1}^m I_{ij} \cdot P_j}{\sum_{i=1}^m P_j}$$

- La importancia total del proyecto  $I$

$$I_T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_{ij}$$

- La importancia total del proyecto relativa al entorno

$$I_{RT} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_{ij} \cdot P_j$$

En conclusión, el método del valor absoluto indica el deterioro intrínseco de un factor, y el método del valor relativo, la participación del deterioro intrínseco de ese factor en el deterioro total del medio (Conesa, 2000).

Los indicadores planteados permiten establecer puntos de comparación entre las alternativas de un proyecto y entre variaciones que se hagan de una misma alternativa. En caso que la matriz no se hubiese depurado, los impactos determinantes (críticos y severos) pueden provocar que el resultado de las valoraciones absolutas y relativas no sea representativo, debido sus características predominantes. El software brinda la posibilidad de tratar estos impactos paralelamente y excluirlos de este tratamiento.

## 2.1.4 Predicción de la magnitud del impacto ambiental y evaluación cuantitativa

### 2.1.4.1 Valoración cuantitativa: Determinación de la magnitud ( $M$ )

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 obvio, 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 (Conesa, 2000).

Es decir, la Magnitud de un impacto es la estimación cuantitativa del efecto que éste tendrá sobre el factor ambiental, medida según el valor que se espera que tome el indicador de dicho factor. A veces asociarle un indicador representativo a un impacto se hace difícil, esto provoca que solo se puedan evaluar cualitativamente, por tal razón la valoración cuantitativa se realiza una vez depurada la matriz de importancia.

Para 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 utilizará 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. Lo importante de las funciones de transformación es el concepto, la claridad con que expresan la diferencia entre la modificación de un elemento o proceso del medio y el significado ambiental de tal modificación (Cruz, 2009).

Aplicando 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. El listado de las funciones de transformación que se pretende ofrecer para la valoración cuantitativa son las usadas en el software EIA09, sistema estudiado en el epígrafe de soluciones similares, estas son: Lineal creciente, Lineal decreciente, Parabólica creciente I, Parabólica decreciente I, Parabólica creciente II, Parabólica decreciente II, Parabólica doble creciente I, Parabólica

doble decreciente I, Parabólica doble creciente II, Parabólica doble decreciente II, Máximo intermedio, Mínimo intermedio, Umbral creciente, Umbral decreciente.

La decisión respecto a la forma de la curva deben ser decididos por el especialista sobre la base de su conocimiento, experiencia y criterio o bien tomados de referencias publicadas.

A cada casilla de cruce de la matriz de impactos depurada le corresponderá una cifra de importancia  $I_{ij}$  y de magnitud  $M_{ij}$ . Como un mismo factor puede ser impactado simultáneamente por varias acciones, la magnitud del impacto total recibido por ese factor es la agregación de las magnitudes de los impactos individuales. De ahí la siguiente expresión:  $M_j = Ag_j(M_{j1}, M_{j2}, \dots, M_{jm})$  donde  $Ag_j$  es la función de agregación del factor  $F_j$ , y se han supuesto  $m$  acciones.

La forma de la función de agregación depende del factor impactado; en este trabajo se tiene en cuenta para calcular la magnitud total del impacto la función de agregación, suma,  $M_j = \sum_{i=1}^m M_{ij}$

#### 2.1.4.2 Valor del impacto sobre un factor determinado

Los valores de importancia del impacto se trasladan a una escala de 0 a 1, de manera que cada factor le corresponde una importancia de  $I_j/Imax$ , siendo  $Imax$  el máximo valor de las importancias.

Mediante la expresión:  $V_j = (I_j/Imax \cdot M_j^2)^{1/3}$  se obtendrá de manera cuantificada y en una escala de 0 a 1, el valor total del impacto  $V_j$  sufrido por cada factor  $j$ , del medio, consecuencia del conjunto de acciones de la actuación o proyecto sobre el factor considerado (Conesa, 2000).

#### 2.1.4.3 Impacto ambiental total

Al multiplicar el valor del impacto sobre cada factor  $V_j$ , por su índice ponderal  $UIP_j$  o coeficiente de ponderación  $P_j$ , se obtiene el impacto ambiental total que se produce sobre cada factor  $IA_j$ .

$$IA_T = \sum_{j=1}^n P_j \cdot V_j$$

Sumando de forma ponderada el valor del impacto sufrido por los diferentes factores, se puede obtener el impacto sobre el sistema que los compone.

#### 2.1.5 Prevención y corrección de impactos. Análisis Costo-Beneficio

De acuerdo con lo expresado por el Dr. Vicente Conesa en la Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, prevenir, paliar o corregir un impacto ambiental significa introducir medidas

preventivas y/o correctoras en la actuación del proyecto. Cuando las características que describen un impacto ambiental rebasan el límite admisible, se deben prever 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 procede a la recomendación de la anulación o sustitución de la acción que causa esos efectos.

Las medidas consisten en modificaciones de localización, tecnología, tamaño, diseño, materiales del proyecto o en la incorporación de elementos nuevos, su objetivo es:

- Explotar en mayor medida las oportunidades que brinda el medio en aras al mejor logro ambiental del proyecto o actividad.
- Anular, atenuar, evitar, corregir o compensar los efectos negativos que las acciones derivadas del proyecto producen sobre el medio ambiente, en el entorno de aquellas.
- Incrementar, mejorar y potenciar los efectos positivos que pudieran existir.

El Análisis Costo-Beneficio es entendido como un análisis de cantidades de productos y servicios generados por el megaproyecto, que genera beneficios y costos económicos, algunos internalizables a través del mecanismo de economía de mercado y otros para los que no se puede determinar el valor con el mecanismo de precios de bienes privados (Just, 2004).

Cualquier megaproyecto que genere beneficios sociales netos positivos es recomendable para la sociedad. Un megaproyecto con un indicador beneficio costo mayor que 1 significa que el retorno social de invertir un peso en el megaproyecto supera sus costos (incluyendo los ambientales) (CEDE y MAVDT).

El CICA plantea lo siguiente para el Análisis Costo-Beneficio (ACB):

Se cuantificará (costo) las medidas preventivas, de mitigación y restauración para cada uno de los impactos que se provocan en los elementos del medio ambiente.

Para el análisis de los beneficios se tomarán los impactos positivos que se generan en el proyecto (los valores serán dados en las monedas correspondientes). A continuación se presentan algunos aspectos que pueden ser considerados como beneficios:

- Fuerza de trabajo directa o indirecta (pago en salario).
- Infraestructura social (atención a las necesidades básicas de la población):
  - Salud, educación.
  - Abastecimiento de agua, alcantarillado.

- Manejo de desechos sólidos.
- Viviendas.
- Desarrollo de otros sectores de la economía (compra de insumos y materiales de construcción).
- Creación de empleo.
- Cambio en la fertilidad de las tierras.
- Servicios de energía eléctrica y transporte.
- Prestaciones de servicio de carácter personal, material o técnico (por ejemplo centros comerciales, centros de investigación científica).
- Contribución a la recreación, el disfrute y descanso de las personas.
- Sistema de tratamientos de residuales.
- Incremento de áreas verdes.

(CICA, 2009)

Se realizará una evaluación comparativa entre los beneficios por los impactos positivos que genera el proyecto y los costos por las medidas preventivas, de mitigación y de restauración para cada uno de los impactos que se provocan en cada uno de los elementos del medio ambiente para ver si el resultado es viable o debe tener otra alternativa (CICA, 2009). Como se puede apreciar la guía de CICA no plantea uso de indicadores que permita comparar una alternativa con respecto a otra desde el punto de vista económico. Por tal razón se hace uso de lo expresado en el Manual Técnico de Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Proyectos Sujetos a Licenciamiento Ambiental, de varios autores del Centro de Estudios para el Desarrollo Económico y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

En el manual se plantea que una vez identificado el costo<sup>8</sup> final y los beneficios de cada alternativa, un indicador muy utilizado es el cociente de costos y beneficios asociados al logro de un objetivo. De esta manera, se dice que determinada alternativa es viable, si logra alcanzar el objetivo propuesto al menor costo. Una vez que se tiene el flujo de costos y beneficios, se debe descontar la tasa social de descuento, para obtener el Valor Actual Neto (VAN) de los beneficios/costos. Los beneficios y costos se deben agregar de forma anual, teniendo en cuenta los períodos sobre los cuales se presenta el impacto y el

---

<sup>8</sup> Se toma como punto de partida que se tiene el valor monetario de las medidas de los impactos y de los beneficios generados por los impactos positivos, los métodos usados para determinar dichos valores es responsabilidad del equipo de especialistas.

número de afectados. Lo anterior se debe especificar para cada costo y beneficio valorado. La expresión para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_i \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Donde,  $B_i$  son los beneficios del proyecto en el año  $i$ ;  $C_i$  son los costos del proyecto en el año  $i$ ;  $r$  es la tasa social de descuento;  $i$  es el indicador del año.

Es necesario aclarar que en este caso el ACB hace referencia a los beneficios netos generados a la sociedad por las afectaciones de bienes y servicios ambientales impactados. Además debe ser presentado por el período de vida útil del proyecto.

Valor Actual Neto	Interpretación
$VAN > 0$	Los beneficios del proyecto son mayores que sus costos, por lo tanto, se acepta el proyecto y se dice que este genera ganancias en bienestar social.
$VAN = 0$	El proyecto no produce beneficios ni costos, Por lo tanto, no genera cambios sustanciales en bienestar social.
$VAN < 0$	Los costos del proyecto son mayores a sus beneficios. Por lo tanto, se debe rechazar el proyecto ya que provoca pérdidas en bienestar social.

**Tabla 2.** Indicador para Análisis Costo-Beneficio.

Para la toma de decisiones se tendrán en cuenta el resultado de dicho indicador.

### 2.1.6 Valoración de alternativas

Las técnicas de toma de decisión multicriterio (MCDM, Multiple Criteria Decision Making), como tal, han sido materia de investigación desde los años 50 y han tenido un importante desarrollo en las dos últimas décadas. Los primeros apuntes teóricos surgen a finales de los 50 con los trabajos de Charnes, Cooper & Ferguson y se consolidan y publican en 1972 con la realización de la I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio, punto de arranque del planteamiento científico del problema (Romero, 1993).

El Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA, Multiple Criteria Decision Analysis) es una valiosa herramienta que ayuda al decisor durante el proceso de toma de decisión. Los métodos propuestos desde

esta disciplina permiten abordar, de forma sistemática y ordenada, un problema en el que subyace una gran subjetividad. Ayudan a que todas las partes afectadas por el proceso de decisión participen en el mismo, suministran una gran cantidad de información, facilitan la búsqueda de consenso, permiten que el decisor aprenda sobre el propio problema de decisión y, en definitiva, ayudan a racionalizar un proceso complejo (Aragonés, 2010).

Dentro de este problema general se pueden plantear diferentes tipos de problemas, los cuales se suelen clasificar de varias formas. Atendiendo a las características del conjunto de alternativas, se puede establecer la siguiente clasificación:

1. El conjunto de alternativas posibles es numerable. En este caso, el problema de decisión es discreto. El número de alternativas puede ser finito o infinito. Salvo que se mencione expresamente, se suele asumir que las alternativas consideradas están definidas explícitamente y su número no es muy elevado. También se considera que el número de alternativas está definido explícitamente.
2. El conjunto de alternativas posibles no es numerable. En este caso el problema de decisión es continuo y las alternativas están definidas de una forma implícita.

(Aragonés, 2010)

Bajo esta clasificación básica del problema, Korhonen et al. (1992) realizan un detallado estudio sobre las distintas situaciones de decisión multicriterio que se suelen plantear y que a continuación se resumen:

1. Problema discreto con las alternativas explícitamente definidas. Desde una perspectiva práctica los problemas de tipo discreto se pueden clasificar según los siguientes dilemas:
  - Número de alternativas pequeño vs grande.
  - Número de criterios pequeño vs grande.
  - Valores de los criterios conocidos vs no conocidos con certeza.
  - Las alternativas son conocidas vs no conocidas a priori.
  - Los criterios están explícitamente vs implícitamente especificados.

Estas clasificaciones generan en total 32 combinaciones distintas de problemas.

2. Problema continuo con las alternativas definidas implícitamente. También se puede realizar una clasificación de este tipo de problemas:
  - El modelo subyacente es lineal vs no lineal.
  - El número de criterios es grande vs pequeño.

- El tamaño del problema (nº de restricciones y/o variables) es de gran escala vs pequeña escala.
- Las relaciones entre variables son cuantitativas vs cualitativas.
- Las alternativas de decisión son conocidas vs desconocidas a priori.

Se generan un total de 64 combinaciones de problemas.

(Aragónés, 2010)

Según las clasificaciones anteriores, el **problema de decisión** del tema de investigación es un problema de decisión discreto con alternativas definidas explícitamente. El número de alternativas es finito y pequeño. La cantidad de criterio no es elevada (menor que 10) y los valores de los criterios y las alternativas se conocen a priori.

Henig y Buchanan, 1996, proponen un proceso general de toma de decisiones multicriterio cuyos pasos son los siguientes:

1. Identificación de las alternativas.
2. Identificación de los criterios de decisión.
3. Construcción de un modelo matemático que representa las preferencias del decisor.
4. Resolución del modelo.
5. Validación de los resultados

Este proceso se puede concretar más al caso discreto con los siguientes pasos:

1. Análisis de las alternativas.
2. Selección de los criterios.
3. Ponderación de los criterios: Asignación de pesos (según método).
4. Valoración de las alternativas para cada criterio.
5. Aplicación de una técnica para la ordenación o selección de las alternativas.
6. Análisis de sensibilidad.
7. Informe final y aprobación del decisor.

#### 2.1.6.1 Análisis de las alternativas

Mediante este paso se determina el conjunto de alternativas y sus características.

### 2.1.6.2 Selección de criterios

Para una mejor comprensión se expone algunos conceptos tomados de la Tesis Doctoral Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales por el autor Luis Alberto García Leyton:

- Atributos, son valores que se pueden medir, independientemente de los deseos del centro decisor y normalmente se expresan como una función matemática de las variables de decisión; por ejemplo el beneficio y el volumen de ventas.
- Objetivos, representan direcciones de mejora de los atributos, es decir maximizar o minimizar las funciones que corresponden a los atributos que reflejan los valores del centro decisor; por ejemplo  $\text{Max } f(x)$  o  $\text{Min } g(x)$ , maximizar las ventas, minimizar los riesgos, minimizar costes, etc.
- Criterios, constituyen los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes para un cierto problema de decisión.

Otros conceptos son:

- Los atributos son las características que definen a las alternativas, tales como, por ejemplo, el precio, la forma, el peso, la estética, la solidez, etc. Cuando a los atributos se les añade un mínimo de información relativa a las preferencias del decisor, entonces se está definiendo un criterio (Aragonés, 2010).
- Un objetivo es una frase sobre “algo” importante que se desea alcanzar como consecuencia de tomar la decisión. Indica la dirección de mejora preferida (Aragonés, 2010).

Los objetivos principales en los EsIA para proyectos constructivos son:

- Minimizar costos.
- Reducir el impacto ambiental.
- Contribuir al beneficio de la sociedad.

Los atributos que se tendrán en cuenta para cuantificar el logro de estos objetivos fueron obtenidos mediante el conceso de especialistas de la ENIA:

1.  $I_{Ri}$  Las tres mayores importancia ponderada de los impactos debido a las acciones.
2.  $I_{Rj}$  Importancia ponderada de los impactos sufridos por los 3 factores de mayor peso.
3.  $I_R$  Importancia total del proyecto relativa al entorno.

4. Índice costo-beneficio.
5. Costo de las alternativas.
6. Cantidad de impactos críticos.
7. Cantidad de impactos residuales.

Los criterios estarán dados por las preferencias del o los especialistas sobre los atributos, en el momento de tomar la decisión, por ejemplo minimizar costo de las alternativas, maximizar índice costo-beneficio, etc.

### 2.1.6.3 Ponderación de los criterios

En los problemas de Toma de Decisiones Multicriterio es muy frecuente que unos criterios tengan más o menos relevancia o importancia para el decisor. Esto no significa que los criterios menos importantes no deban ser considerados (Aragonés, 2010).

Los pesos o ponderaciones son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Existen diferentes métodos para la asignación de peso, en este trabajo se tendrá en cuenta el método tasación simple en caso de ser un solo decisor.

El método de tasación simple consiste en que se le pide al decisor que dé una valoración de cada criterio en una cierta escala. Una vez obtenidas las valoraciones se normalizan dividiendo cada valor por la suma de todos ellos (Aragonés, 2010).

En caso que sea un grupo de decisores se aplicará el procedimiento del método PRES II Multiexperto:

- $$W_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}}$$
- $$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_{ij}}$$

Donde:

$m$ : Número de jueces o expertos (decisores).

$n$ : Número de criterios.

$P_{ij}$ : Votación para el criterio  $j$  emitido por el experto  $i$ .

$W_{ij}$ : Peso del criterio  $j$  emitido por el experto  $i$ .

$w_j$ : Peso del criterio  $j$ .

El sistema de puntuación para los criterios debe cumplir con dos condiciones básicas

1. La separación matemática entre los números escogidos debe ser consecuente con los niveles a los que los criterios estén controlados, con lo cual se logrará un sistema de puntuación que respete las diferencias existentes entre un nivel y otro (Aragonés, 2010).
2. El sistema de puntuación escogido debe ser de fácil interpretación. Se recomienda que no se utilicen números decimales y que los números utilizados no excedan las dos cifras (Aragonés, 2010).

En el presente trabajo, para la asignación de pesos, se tendrá en cuenta la siguiente escala<sup>9</sup> propuesta en el libro “Apuntes para la Toma de Decisiones en Proyectos” por el Dr. Pablo Aragonés Beltrán:

1 -Muy Baja.

3 -Baja.

5 -Media.

7- Alta.

9 -Muy Alta.

En caso que el decisor o decisores no quiera tener en consideración un criterio establecido, se le dará la opción de clasificarlo como indiferente.

#### **2.1.6.4 Valoración de las alternativas para cada criterio**

Se valora cada alternativa según el grado de satisfacción de cada criterio, para los criterios cuya valoración se realice en base a datos objetivos (por ejemplo costo), no es necesario su valoración por parte del especialista, ya que valor del atributo es lo que se tiene en cuenta. Para el caso de criterios cualitativos o de valoración subjetiva, la escala de valoración debe haber sido establecida con anterioridad.

En la presente investigación dicho paso no será necesario, ya que todos los criterios seleccionados tienen un valor (cuantitativo), la mayoría determinados por expresiones matemáticas.

---

<sup>9</sup> A cada valor se le asocio un nombre para un mayor entendimiento de la escala.

**2.1.6.5 Aplicación de una técnica para la ordenación o selección de las alternativas**

El algoritmo PRES de ayuda a la decisión multicriterio ha sido desarrollado por Gómez-Senent en la Unidad de Proyectos de Ingeniería, Innovación, Desarrollo y Diseño del Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Valencia y publicado en (Gómez-Senent, 1991). Este algoritmo se puede aplicar al caso en el que el conjunto de alternativas es discreto.

Para aplicar el algoritmo PRES se parte de la base que a los criterios se le ha asignado un peso y que cada alternativa fue valorada para cada criterio, conformando una matriz de valoración como la siguiente tabla, donde hay  $n$  criterios y  $m$  alternativas.

<b>Matriz de Valoración</b>	<b>Criterios</b>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	(...)	C <sub>j</sub>	C <sub>n</sub>
	<b>Peso</b>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	...	W <sub>j</sub>	W <sub>n</sub>
<b>Alternativas</b>	A <sub>1</sub>	g <sub>1</sub> (A <sub>1</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>1</sub> )	...	g <sub>j</sub> (A <sub>1</sub> )	g <sub>n</sub> (A <sub>1</sub> )
	(...)	...	...	...	...	...
	A <sub>m</sub>	g <sub>1</sub> (A <sub>m</sub> )	g <sub>2</sub> (A <sub>m</sub> )	...	g <sub>j</sub> (A <sub>m</sub> )	g <sub>n</sub> (A <sub>m</sub> )

**Tabla 3.** Matriz de valoración.

Donde:

W<sub>j</sub>, es el peso asignado por el decisor al criterio  $j$ ,  $j = 1,2,3 \dots n$

g<sub>j</sub>(x), es la valoración de la alternativa  $x$  según el criterio  $j$ ,  $x = 1,2,3 \dots m$

El primero paso que plantea el algoritmo PRES es normalizar los pesos y los valores de la matriz, mediante las expresiones siguientes:

- $$w_j = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

w<sub>j</sub>,<sup>10</sup> Peso normalizado del criterio  $j$ .

- $$V_j(x) = \frac{g_j(x)}{\max g_j(x)}$$

V<sub>j</sub>(x), es la valoración normalizada de la alternativa  $x$  según el criterio  $j$ ,  $x = 1,2,3 \dots m$

Recordar en caso sea un grupo de decisores se aplicará el procedimiento de la metodología PRES II Multiexperto que plantea que una vez establecidos, por parte de cada experto, los pesos de los criterios,

<sup>10</sup> En este paso del algoritmo PRES, no hay que normalizar los pesos en caso que se haga en el Paso 2: Ponderación de criterios, explicado con anterioridad.

se calculan los pesos globales correspondientes a cada uno de los criterios calculando el valor medio de los pesos que, para cada criterio, hayan asignado los expertos.

El segundo paso es la obtención de matriz dominación. Con los datos de la matriz de valoración normalizada, se compara cada alternativa con todas las demás y se forma la matriz dominancia, matriz cuadrada de  $m \times m$ , donde  $m$  es el número de alternativas. En cada posición se obtiene un valor  $T_{ij}$  dado por la comparación entre la alternativa  $i$  y la alternativa  $j$  en base a cada uno de los criterios.

Dicho valor se obtiene mediante la suma de las diferencias entre los valores correspondientes aquellos criterios en los que la alternativa  $i$  domina a la alternativa  $j$ , multiplicadas por los pesos de los criterios. Se entiende que la alternativa  $i$  domina a la  $j$  para el criterio  $k$ , si la diferencia entre el valor  $i$  y el  $j$  para el criterio  $k$  es positiva si el criterio es de maximizar o negativa si es de minimizar.

El valor correspondiente a cada posición  $T_{ij}$  de la matriz representa hasta qué punto la alternativa  $i$  domina o es preferida a la alternativa  $j$ . Los valores correspondientes a la fila  $i$  representan hasta qué punto la alternativa  $i$  domina o se prefiere a cada una de las demás alternativas. Los valores correspondientes a la columna  $j$  indican hasta qué punto la alternativa  $j$  es dominada o preferida por las demás alternativas.

El tercer paso es calcular el Índice PRES. A partir de la matriz de dominación se obtienen, para cada alternativa, dos valores. El valor  $D_i$  se obtiene para cada alternativa  $i$  sumando los valores correspondientes a la fila  $i$ . Este valor representa hasta qué punto la alternativa  $i$  domina a todas las demás. El valor  $d_i$  se obtiene sumando los valores correspondientes a la columna  $i$ . Representa hasta qué punto la alternativa  $i$  es dominada por todas las demás. El índice PRES establece la proporción entre el grado con que la alternativa  $i$  domina al resto de las alternativas y el grado con que la alternativa  $i$  es dominada por las demás.

- $D_i = \sum_{j=1}^m T_{ij}$
- $d_i = \sum_{i=1}^m T_{ij}$
- $I_i = \frac{D_i}{d_i}$  (Índice PRES)

En el sistema se ordenará las alternativas en cuanto al valor del Índice PRES, siendo la que más satisfactoria la de mayor índice. Este resultado estará dado por los valores que toman los criterios y por las preferencias del decisor en cuanto a la selección y ponderación de estos.

#### **2.1.6.6 Análisis de sensibilidad**

Permite analizar qué sucede con el resultado si se modifican algunos parámetros del modelo. Por ejemplo al variar en determinados porcentajes el peso de un criterio, manteniendo constante los pesos del resto de los criterios, al variar el número de alternativas, etc.

#### **2.1.6.7 Informe final y aprobación del decisor**

En este paso se elabora un resumen sobre los resultados que se han ido obteniendo a lo largo del proceso como los atributos que se tuvieron en cuenta y un listado ordenado de las alternativas, según las preferencias tenidas por el especialista o el equipo de especialistas; con el objetivo de ayudar al decisor a tomar una decisión más aceptada. Dicho resumen formará parte del informe general del proyecto en estudio. La aprobación del decisor no compete a la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA, sino al CICA.

#### **2.1.7 Emisión del informe final**

Se generará un informe en formato pdf, con la información y resultados requeridos por el cliente.

Información general:

- Nombre del proyecto.
- Tipo de proyecto.
- Fecha en que se realiza el EsIA.
- Inversor.
- Ejecutor del estudio.
- Costo inicial del proyecto.
- Coordenadas cartográficas y geográficas.
- Especialistas que trabajaron en la elaboración del EsIA.
- Cantidad de alternativas del proyecto.

Información de cada alternativa:

- Costo total.
- Indicador: Índice de Costo-Beneficio. Además se muestra la tasa de descuento que se utilizó en el cálculo del mismo.
- Cantidad de impactos positivos, negativos, previsibles, críticos, determinantes y residuales. De estos últimos se menciona el nombre.

- Indicador: Impacto Ambiental Total.
- Tabla de las acciones con su nombre y fase de la alternativa de proyecto a la que pertenecen.
- Tabla de los factores ambientales que se analizaron, su importancia en el entorno analizado y sistema ambiental al que pertenecen.
- Tabla con todos los impactos ambientales. De cada impacto se expone el nombre, par acción-factor que le da origen, la importancia, el carácter y la magnitud.
- Listado ordenado de las acciones que mayor afectación producen sobre el medio ambiente.
- Listado ordenado de los factores que serán más que serán más dañados por la ejecución de las acciones de la alternativa de proyecto.
- Listado del plan de medidas realizado para los impactos ambientales negativos.
- Listado de los beneficios aportados por los impactos ambientales positivos.

Viabilidad de las alternativas:

- Se muestra un listado ordenado de las alternativas de realización a partir del método multicriterio implementado, teniendo en cuenta los criterios prefijados por la dirección de la Consultora Ambiental y las preferencias del equipo de trabajo.

## **2.2 Consideraciones finales**

En este capítulo se estableció una primera versión de lo que se logrará en el software, a partir de la descripción de las fases de la metodología Conesa, que permiten un mayor entendimiento del sistema y facilitan la identificación de los requerimientos funcionales. Para dar cumplimiento a la resolución 132/2009 del CITMA se agregan y detallan dos aspectos en la estructura del software. El primero relacionado con la Valoración de alternativas en el ámbito de la EIA, en el cual se definió el problema de decisión como discreto, con un número finito y pequeño de alternativas de realización. Para seleccionar la alternativa más acorde con las preferencias del equipo de especialistas, se implementará el método multicriterio PRES a partir de la selección de siete atributos que cuantifican tres objetivos claves en EsIA. El segundo aspecto es el relacionado con la valoración económica del proyecto, para la cual se realizará un Análisis Costo-Beneficio mediante el indicador Valor Actual Neto.

## **CAPÍTULO 3** DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

En el capítulo siguiente se expone los principales elementos del diseño e implementación del sistema. Primeramente se describe el marco de trabajo, es decir las herramientas de diseño, plataforma de desarrollo, librerías, gestor de base datos y lenguajes a utilizar. Luego se identifican las funcionalidades, a partir de las cuales se confecciona el diagrama de casos de uso del sistema. Se realiza el diagrama de clases del diseño, modelo de datos y se describe brevemente algunos patrones utilizados. Por último se realiza una reseña de la implementación del sistema y se explica el funcionamiento de algunas interfaces de usuario.

### **3.1 Ambiente de desarrollo**

Para el desarrollo de un producto de software es imprescindible seleccionar adecuadamente las tecnologías y herramientas a utilizar, tomando como punto de partida las características del entorno y el tipo de aplicación a desarrollar. En esta investigación se decide realizar una aplicación de Escritorio (también llamada Desktop) debido a la infraestructura de las unidades de la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA, las cuales al estar ubicadas en ocho provincias diferentes de Cuba no pueden acceder a un servidor central que permita el intercambio de información a nivel de entidades. Por otra parte una aplicación de Escritorio se adapta fácilmente a la forma organizativa y de trabajo dentro de las unidades y al estar desarrollada con plataformas especializadas es mucho menos costosa y más ágil en lo relativo a diseño, interactividad ejecución y mantenimiento.

Algunas de las ventajas que presenta son:

- Su ejecución habitualmente no requiere comunicación con el exterior, sino que se realiza de forma local. Esto repercute en mayor velocidad de procesamiento, y por tanto en mayores capacidades a la hora de programar herramientas más complicadas o funcionales.
- Suelen ser más robustas y estables que las aplicaciones Web.
- Rendimiento: el tiempo de respuesta es muy rápido.
- Seguridad: pueden ser muy seguras (dependiendo del desarrollador).
- Se puede hacer cualquier función que permita el sistema operativo (cuestión gráfica, control total de las entradas del usuario al momento de capturar)

- Facilita el uso de teclas en caliente (ejemplo: CTRL+G para grabar)

Desventajas:

- Son dependientes del sistema operativo en que están instaladas.
- Las instalaciones y actualizaciones se realizan de forma personalizada.

Por tales razones se implementará una aplicación Desktop, a pesar de las desventajas planteadas; en base a lo anterior se seleccionan las herramientas y tecnologías adecuadas para el desarrollo del sistema informático.

### 3.1.2 Lenguaje de Modelado Unificado

Un lenguaje de modelado es un lenguaje cuyo vocabulario y reglas se centran en la representación conceptual y física de un sistema.

UML es un lenguaje que permite modelar, construir y documentar artefactos de un sistema de software. Combina conceptos comúnmente aceptados por muchos métodos orientados a objetos, seleccionando una definición clara para cada concepto, así como una notación y una terminología. UML no tiene saltos ni discontinuidades desde los requisitos a la implantación. Se puede utilizar el mismo conjunto de conceptos y notación en las diferentes etapas del desarrollo, incluso mezcladas en un solo modelo. Está pensado para modelar la mayoría de los dominios de aplicación, incluyendo aquellos que implican sistemas grandes, complejos, de tiempo real, distribuidos, con tratamiento intensivo de datos o con cálculo intensivo, entre otras propiedades. También contiene construcciones organizativas para agrupar los modelos en paquetes, lo que permite a los equipos de software dividir grandes sistemas en piezas de trabajo, para entender y controlar las dependencias entre paquetes, y para gestionar las versiones de las unidades del modelo, en un entorno de desarrollo complejo. Las herramientas pueden ofrecer generadores de código de UML para una gran variedad de lenguajes de programación, así como construir modelos por ingeniería inversa a partir de programas existentes (Rumbaugh, 2006).

Con el objetivo de hacer el lenguaje más extensible y permitir la validación y ejecución de los modelos fue creada la versión 2.0 de UML, permitiendo modelar todo tipo de sistemas. A continuación se expresa de manera más sintética algunas características que presenta UML:

- Ofrece una amplia variedad de diagramas para visualizar el sistema desde varias perspectivas.
- Lenguaje de uso universal, consolidado y fácil de aprender.
- Es una notación gráfica muy expresiva que permite representar en mayor o menor medida todas las fases de un proyecto de software.

- Permitir el modelado de sistemas utilizando conceptos orientados a objetos.
- A partir de los modelos especificados se pueden construir los sistemas diseñados.
- Uso de un lenguaje estándar común que facilita la comunicación para un posterior mantenimiento.
- Modelo y código que permanece sincronizado en todo el ciclo de desarrollo.
- Disponibilidad en múltiples plataformas.
- Generación de documentos, código e ingeniería inversa.
- Independiente del lenguaje de programación.

(Chonoles, 2003)

Debido a lo anteriormente expuesto, se selecciona UML en su versión 2.0 para el modelado del Sistema Informático de Apoyo para los Estudios de Impacto Ambiental, (SIAEIA).

### 3.1.3 Herramienta CASE para el modelado

Computer Aided Software Engineering (CASE) o Ingeniería de Software Asistida por Computación, comprende un amplio abanico de diferentes tipos de programas que se utilizan para ayudar a las actividades del proceso del software, como el análisis de requerimientos, el modelado de sistemas, la depuración y las pruebas. Las herramientas CASE también incluyen un generador de código que automáticamente genera código fuente del modelo del sistema y de algunas guías de procesos para los ingenieros de software (Sommerville, 2005).

Visual Paradigm, es una herramienta CASE diseñada para desarrollar software con soporte a la programación orientada a objetos. Utiliza UML como lenguaje de modelado profesional la cual soporta el ciclo de vida completo del desarrollo de software. Permite realizar ingeniería tanto directa como inversa, además soporta múltiples usuarios trabajando sobre el mismo proyecto, garantiza la generación de la documentación del proyecto automáticamente en varios formatos y cabe destacar igualmente su robustez, usabilidad y portabilidad (Sitio Oficial de Visual Paradigm, 2012). Posee la ventaja que permite la generación de base de datos (BD), transformación de diagramas de Entidad-Relación en tablas de BD (Sosa, 2012).

Se decide utilizar Visual Paradigma en su versión 8.0, por ser eficaz para el proceso de modelado, considerada como muy completa y fácil de usar, con soporte multiplataforma y que proporciona excelentes facilidades de interoperabilidad con otras aplicaciones. Se tuvo en cuenta el conocimiento del desarrollador, la documentación accesible y que se contaba con la licencia para su uso.

### 3.1.4 Lenguaje de programación

Java es un lenguaje de programación de Sun Microsystems, que fue concebido bajo la dirección de James Gosling y Bill Joy. Es un lenguaje de propósito general, multiplataforma, de alto nivel, y orientado a objetos puro, en el sentido de que no hay ninguna variable, función o constante que no esté dentro de una clase. Siempre que se corre un programa Java, las instrucciones que lo componen no son ejecutadas directamente por el hardware sobre el que subyace, sino que son pasadas a un elemento de software intermedio, que es el encargado de que las instrucciones sean ejecutadas por el hardware. Es decir, el código Java no se ejecuta directamente sobre un procesador físico, sino sobre un procesador virtual Java, conocido comúnmente como Máquina Virtual Java (Aquino, 2002).

La Máquina Virtual Java es el entorno en el que se ejecutan los programas Java, su misión principal es la de garantizar la portabilidad de las aplicaciones Java. Define esencialmente un ordenador abstracto y especifica las instrucciones (bytecodes) que este ordenador puede ejecutar. El intérprete Java específico ejecuta las instrucciones que se guardan en los archivos cuya extensión es (.class). Las tareas principales de la MVJ son las siguientes: (Aquino, 2002)

- Reservar espacio en memoria para los objetos creados.
- Liberar la memoria no usada.
- Asignar variables a registros y pilas.
- Llamar al sistema huésped para ciertas funciones, como los accesos a los dispositivos.
- Vigilar el cumplimiento de las normas de seguridad de las aplicaciones Java.

Algunas de las principales características del lenguaje Java son:

- El polimorfismo y la encapsulación de datos son características intrínsecas.
- Incorpora un recolector automático de basura que impide incurrir en un error por inexperiencia en el manejo directo de memoria.
- Un programa creado en Java puede ser ejecutado en cualquier sistema operativo.

(García, 2000)

Se decidió usar Java como lenguaje de programación por ser un lenguaje multiplataforma, simple, orientado a objetos, distribuido, interpretado, seguro, portable, de altas prestaciones, multitarea y dinámico, posee librerías y utilidades muy completas que facilitan la programación.

### 3.1.5 Herramienta de desarrollo del software

Una de las claves para obtener el éxito de un proyecto de desarrollo de software, es tener en cuenta, la utilización de tecnologías, estándares y herramientas a usar. Un IDE (Integrated Development Environment, en español Entorno de Desarrollo Integrado) es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, o sea, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica.

NetBeans es un IDE de software libre y gratuito con el que se puede escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. Aunque está hecho principalmente para lenguaje Java permite a los desarrolladores crear rápidamente aplicaciones web empresariales, de escritorio y aplicaciones móviles ya que se puede utilizar para otros lenguajes como PHP, Ruby, C/C++.

Permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados módulos. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs<sup>11</sup> de NetBeans. Cada módulo provee una función bien definida, tales como el soporte de Java, edición, o soporte para el sistema de control de versiones. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software (Sitio Oficial de Netbeans).

Presenta una serie de características como:

- Incluye resaltado de sintaxis, es fácil y eficiente en la gestión de proyectos.
- Debido a que el editor es extensible, se le pueden agregar otros plugin para el soporte de otros lenguajes.
- Ofrece plantillas de código, información sobre herramientas, parámetros, consejos y soluciones rápidas (aplicación de métodos abstractos), autocompletado de código inteligente, formateo de código y marcado de los sucesos y los puntos de salida.
- Es gratuito, multiplataforma, de código abierto, bien documentado y tiene una gran comunidad de usuarios y desarrolladores de todo el mundo.

(Sitio Oficial de Netbeans)

---

<sup>11</sup> Es el conjunto de funciones y procedimientos o métodos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción. Usados generalmente en las bibliotecas.

Se decide utilizar NetBeans por ser una herramienta para programadores pensada para escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. Además, es un producto libre, gratuito, sin restricciones de uso. Se cuenta con experiencia en su uso y funcionalidad.

### 3.1.6 Bibliotecas del lenguaje

Para el desarrollo del sistema con el IDE y el lenguaje de programación seleccionado se hace uso de algunas librerías o bibliotecas muy útiles que facilitan el trabajo, a continuación se describen cada una de ellas:

Jcalendar.jar: Componente visual para recoger gráficamente una fecha y para manipularlos campos del calendario, contiene una clase abstracta que proporciona métodos para convertir entre un instante específico en el tiempo y un conjunto de campos del calendario como el año, mes, día y hora. Es de software libre y puede ser utilizado bajo los términos de la licencia pública general de GNU.

iText.jar: Es una biblioteca de código abierto de Java para la generación y la manipulación de PDF. Puede ser utilizado para crear documentos PDF a partir de cero, para rellenar formularios PDF interactivos, para acabar nuevos contenidos en documentos PDF existentes así como para dividir y combinar documentos PDF existentes.

### 3.1.7 Sistema Gestor Base de Datos

Un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) es básicamente un sistema computarizado para guardar registros; es decir, es un sistema computarizado cuya finalidad general es almacenar información y permitir a los usuarios recuperar y actualizar esa información con base en peticiones (Date, 2001).

SQLite es un SGBD relacional compatible con ACID (Atomicity, Consistency, Isolation and Durability, en español Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad), contenida en una relativamente pequeña biblioteca escrita en C. SQLite es un proyecto de dominio público. A diferencia de los sistemas de gestión de bases de datos cliente-servidor, el motor de SQLite no es un proceso independiente con el que el programa principal se comunica. En lugar de eso, la biblioteca SQLite se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo. El programa utiliza la funcionalidad de SQLite a través de llamadas simples a subrutinas y funciones. Esto reduce la latencia en el acceso a la base de datos, debido a que las llamadas a funciones son más eficientes que la comunicación entre procesos. El conjunto de la base de datos (definiciones, tablas, índices, y los propios datos), son guardados como un sólo fichero

estándar en la máquina host. En su versión 3, SQLite permite bases de datos de hasta 2 Terabytes de tamaño, y también permite la inclusión de campos tipo BLOB (Ipiña, 2007).

Se decide utilizar como SGBD, pues realiza operaciones de manera eficiente, se ejecuta en muchas plataformas y sus bases de datos pueden ser fácilmente portables sin ninguna configuración o administración. La base de datos condensada en un solo fichero permite que pueda estar situada en cualquier directorio, trayendo como ventaja que pueda ser fácilmente copiada a algún dispositivo USB o ser enviada vía correo electrónico; esta característica satisface el principal requerimiento por parte del cliente en cuanto al tema, por lo que representa el criterio fundamental a tener en cuenta para su selección.

Para el trabajo con la base de datos se utiliza el driver “sqlite-jdbc.jar”, un driver para el acceso y la creación de archivos de bases de datos SQLite en Java. No requiere ninguna configuración ya que las bibliotecas nativas de los principales sistemas operativos, incluyendo Windows, Mac OSX y Linux, se reúnen en un solo archivo JAR (Java Archive).

### 3.1.8 Interfaz de Programación de Aplicaciones

Un API (Application Programming Interface, en español Interfaz de Programación de Aplicaciones) es el conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción. Son usadas generalmente en las bibliotecas. (Sommerville, 2005)

Uno de los principales propósitos de una API consiste en proporcionar un conjunto de funciones de uso general. El uso de una API trae a los programadores beneficios haciendo uso de su funcionalidad, evitándose el trabajo de programar todo desde el principio.

Durante el desarrollo del sistema se decide utilizar la Interfaz de Persistencia Java, en inglés Java Persistence API (JPA), que proporciona un modelo de persistencia basado en POJO's (Plain Old Java Object) para mapear bases de datos relacionales en Java. Combina ideas y conceptos de los principales frameworks de persistencia, como Hibernate, Toplink y JDO. El mapeo objeto-relacional (es decir, la relación entre entidades Java y tablas de la base de datos, consultas con nombre, etc.) se realiza mediante anotaciones en las propias clases de entidad. Esencial es la necesidad de mapear objetos Java para optimizar velocidad y eficiencia de la base de datos. La unidad de persistencia define un conjunto de todas las entidades (clases) que son gestionadas por la instancia del Entity Manager en la aplicación.

Este conjunto de clases de entidad representa los datos contenidos en una única base de datos. Las unidades de persistencia se definen en el fichero de configuración persistence.xml.

### 3.2 Artefactos y características de la solución

#### 3.2.1 Modelo de Dominio<sup>12</sup>

Craig Larman en la segunda edición del libro “UML y Patrones. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y proceso unificado”, plantea que un modelo del dominio es una representación visual de las clases conceptuales u objetos del mundo real en un dominio de interés. Es decir, representa las cosas del mundo real, no de componentes software.

Utilizando la notación UML, un modelo del dominio se representa con un conjunto de diagramas de clases en los que no se define ninguna operación.

Pueden mostrar:

- Objetos del dominio o clases conceptuales.
- Asociaciones entre las clases conceptuales.
- Atributos de las clases conceptuales.

#### Descripción de los conceptos del Modelo de Dominio

Para entender con mayor claridad el Modelo de Dominio anterior se realiza esta breve descripción de las clases conceptuales representadas.

- Inversor: Se trata de la institución o personal que realiza la solicitud del EsIA.
- EsIA: Estudio de Impacto Ambiental.
- Especialista: Persona encarga dentro de la Consultoría de realizar el EsIA.
- Consultoría: Institución encargada a nivel nacional de realizar EsIA.
- Proyecto: Lineamiento de trabajo por donde se va a regir la ejecución de la obra constructiva.
- Alternativa: Variante de realización de un proyecto.
- Acción realización: Actividad que se lleva a cabo en diferentes momentos de la obra.

---

<sup>12</sup> Remitir al Anexo 6 para ver el diagrama del Modelo de dominio

- Factor ambiental: Componente del medio ambiente que se encuentra en la zona donde se implantará el proyecto. Está compuesto por fauna, flora, suelo, patrimonio cultural, población, etc.
- Impacto ambiental: Actividad que produce una alteración en el medio ambiente.
- Impacto positivo: Alteración favorable sobre el medio ambiente.
- Impacto negativo: Alteración desfavorable sobre el medio ambiente.
- Valoración cualitativa: Evaluación a partir de atributos cualitativos que caracterizan un impacto ambiental, con el objetivo de determinar el grado de incidencia de la alteración producida
- Valoración cuantitativa: Evaluación de los impactos ambientales mediante indicadores, para determinar la magnitud de estas alteraciones sobre cada factor ambiental.
- Beneficio: Valor monetario que aportan los impactos positivos.
- Medida: Acción para corregir, mitigar o compensar el efecto dañino de los impactos negativos.

### 3.2.2 Requerimientos

La IEEE, Standard Glossary of Engineering Terminology define un requerimiento como:

1. Condición o capacidad que necesita un usuario para resolver un problema o lograr un objetivo.
2. Condición o capacidad que tiene que ser alcanzada o poseída por un sistema o componente de un sistema para satisfacer un contrato, estándar, u otro documento impuesto formalmente.
3. Una representación documentada de una condición o capacidad como en 1 o 2.

En la séptima edición del libro “Ingeniería del Software” de Ian Sommerville, se plantea lo siguiente respecto a término requerimiento:

En algunos casos, un requerimiento es simplemente una declaración abstracta de alto nivel de un servicio que debe proporcionar el sistema o una restricción de éste. En el otro extremo, es una definición detallada y formal de una función del sistema.

Analizando las definiciones anteriores, un requerimiento es una descripción de una condición o capacidad que debe cumplir un sistema, ya sea derivada de una necesidad de usuario identificada, o bien, estipulada en un contrato, estándar, especificación u otro documento formalmente impuesto al inicio del proceso.

Los requerimientos de sistemas de software se clasifican en funcionales y no funcionales:

Requerimientos funcionales, son las declaraciones de servicios que el sistema debe proporcionar, de la manera en qué este debe reaccionar a entradas particulares y de cómo se debe comportarse en

situaciones particulares. En algunos casos, los requerimientos funcionales de los sistemas también pueden declarar explícitamente lo que el sistema no debe hacer (Sommerville, 2005).

Requerimientos no funcionales, son las restricciones en los servicios o funciones ofrecidas por el sistema. Incluyen restricciones de tiempo, sobre el proceso de desarrollo y estándares. Los requerimientos no funcionales a menudo se aplican al sistema en su totalidad (Sommerville, 2005). Dentro de estos últimos existen varias clasificaciones como requerimientos no funcionales de hardware, de interfaz, seguridad, usabilidad, rendimiento, soporte, entre otros.

### **Requerimientos Funcionales**

1. Consultar proyectos existentes según uno o varios criterios de búsqueda.
2. Modificar datos de un proyecto.
3. Eliminar un proyecto.
4. Crear un nuevo proyecto.
5. Agregar especialista a la consultoría.
6. Modificar datos del especialista.
7. Eliminar especialista.
8. Agregar alternativa a un proyecto.
9. Eliminar alternativa de un proyecto.
10. Modificar alternativa de un proyecto.
11. Ver alternativa de un proyecto.
12. Duplicar alternativa de un proyecto.
13. Agregar acción a una alternativa.
14. Modificar acción de una alternativa.
15. Eliminar acción de una alternativa.
16. Agregar factor ambiental.
17. Modificar factor ambiental.
18. Eliminar factor ambiental.
19. Agregar un impacto ambiental.
20. Eliminar un impacto ambiental.
21. Modificar un impacto ambiental.
22. Ver un impacto ambiental.

23. Valorar cualitativamente un impacto ambiental.
24. Depurar el conjunto de impactos ambientales.
25. Valorar cuantitativamente un impacto ambiental.
26. Agregar medidas a un impacto ambiental.
27. Modificar medidas a un impacto ambiental.
28. Eliminar medidas a un impacto ambiental.
29. Agregar beneficios a un impacto ambiental.
30. Modificar beneficios a un impacto ambiental.
31. Eliminar beneficios a un impacto ambiental.
32. Valorar económicamente alternativa de un proyecto.
33. Valorar proyecto.
34. Mostrar reportes de:
  - Acciones más agresivas sobre los factores.
  - Factores más afectados debido a las acciones del proyecto.
  - Acciones que más deterioran el medio ambiente.
  - Factores que más contribuyen al deterioro del entorno en que se localiza el proyecto.
  - Impactos ambientales que tienen una clasificación crítica y severa.
  - Impactos ambientales residuales<sup>13</sup>.
35. Generar informe del proyecto

### 3.2.2.2 Requerimientos No Funcionales

Interfaz Externa:

- Las etiquetas de los campos, mensajes de error y demás textos deben presentarse de forma similar.
- Las validaciones, en caso de error, se deben señalar mostrando un mensaje de error.

Usabilidad:

- El lenguaje debe ser lo más sencillo posible y cercano a los usuarios. Se evitarán tecnicismos y frases complejas.

---

<sup>13</sup> Son los impactos que tienen una clasificación previsible, que carecen de medidas correctoras o la influencia de estas sobre el mismo es parcial.

- Debe haber consistencia y uso de estándares a la hora de utilizar y nombrar los términos, los controles de las interfaces, la metodología y los procesos empleados.
- Se deben prevenir los errores ofreciendo formularios y menús con opciones cerradas.
- Se debe ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores, mostrando mensajes en un lenguaje claro y permitiendo deshacer acciones del usuario.
- El sistema debe ser fácil de usar por personas con conocimientos básicos de computación.

### Rendimiento:

- Tiempos de respuestas rápidas al igual que la velocidad de procesamiento de la información (menores de 5 segundos).
- Se debe tener en cuenta el crecimiento esperado en el volumen de datos.

### Hardware:

- Las computadoras locales que utilizarán el sistema no deberán presentar potencias menores a las brindadas por una Pentium 3 con al menos 512 MB de memoria RAM y 16 GB de espacio en disco.

### Software:

- Las computadoras deben tener instalado la Máquina Virtual de Java<sup>14</sup> en su versión 1.6.0.20 o superior.

### Legales:

- La plataforma escogida para el desarrollo de la aplicación, está basada en la licencia GNU/GPL.

### Portabilidad:

- El sistema debe ser multiplataforma, es decir que puede instalarse lo mismo en Linux que en Windows.

### 3.2.4 Diagrama de Casos de Uso del Sistema

Un diagrama de casos de uso muestra la relación entre los actores y los casos de uso del sistema, representa la funcionalidad que ofrece el sistema en lo que se refiere a su interacción externa. Utilizando UML y las facilidades que brinda la herramienta CASE Visual Paradigm, se realiza el diagrama de casos

---

<sup>14</sup> Según Thierry Groussard en su libro “Java 6 Los fundamentos del lenguaje java”. La Máquina Virtual es la base de la plataforma Java. Es necesaria para la ejecución de los programas desarrollados en Java, se encarga de la gestión de memoria, la seguridad y la interfaz de código nativo (Groussard, 2009).

de uso del sistema a partir de los requerimientos funcionales. Los especialistas de la Consultora Ambiental Pro-Ambiente son los encargados de interactuar con el sistema.

### 3.2.4 Patrón de arquitectura de software

Para poder entender que es un patrón de arquitectura de software se plantean dos conceptos claves, primero el de arquitectura y luego el de patrón:

La IEEE, en el Documento 1471 del año 2000 define arquitectura de software como: la organización fundamental de un sistema encarnado en sus componentes, las relaciones entre ellos y el ambiente y los principios que orientan su diseño y evolución. Esta definición se considera oficial y ha sido adoptada a por todo el mundo incluyendo a Microsoft.

Según Graig Larman en la segunda edición de su libro “UML y Patrones. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y proceso unificado”, un patrón es un par problema/solución con nombre que se puede aplicar en nuevos contextos, con consejos acerca de cómo aplicarlo en nuevas situaciones y discusiones sobre sus compromisos.

Para el desarrollo de la aplicación, se selecciona el patrón de arquitectura de software Modelo-Vista-Controlador (MVC). Este patrón separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos.

Este patrón se compone de tres tipos de objetos. El modelo es el objeto de la aplicación, la vista es su presentación en pantalla y el controlador define la forma en que la interfaz de usuario reacciona a la entrada del usuario (Gamma, 1995).

Otra definición muy similar es la de Steve Burbeck, que plantea que el patrón Modelo-Vista-Controlador separa el modelado del dominio, la presentación y las acciones basadas en datos ingresados por el usuario en tres clases diferentes:

**Modelo.** El modelo administra el comportamiento y los datos del dominio de aplicación, responde a requerimientos de información sobre su estado (usualmente formulados desde la vista) y responde a instrucciones de cambiar el estado (habitualmente desde el controlador).

**Vista.** Maneja la visualización de la información.

**Controlador.** Interpreta las acciones del ratón y el teclado, informando al modelo y/o a la vista para que cambien según resulte apropiado.

La relación Vista-Controlador es un ejemplo del patrón de diseño *Strategy* (Estrategia). EL MVC también utiliza otros patrones de diseño, como el método *Factory* (Fábrica) para especificar la clase del controlador por defecto para una vista y el método *Decorator* (Decorador) para añadir el desplazamiento a una vista. Sin embargo, las principales relaciones en MVC son dadas por los patrones de diseño el *Observer* (Observador), *Composite* (Compuesto) y *Strategy* (Gamma, 1995).

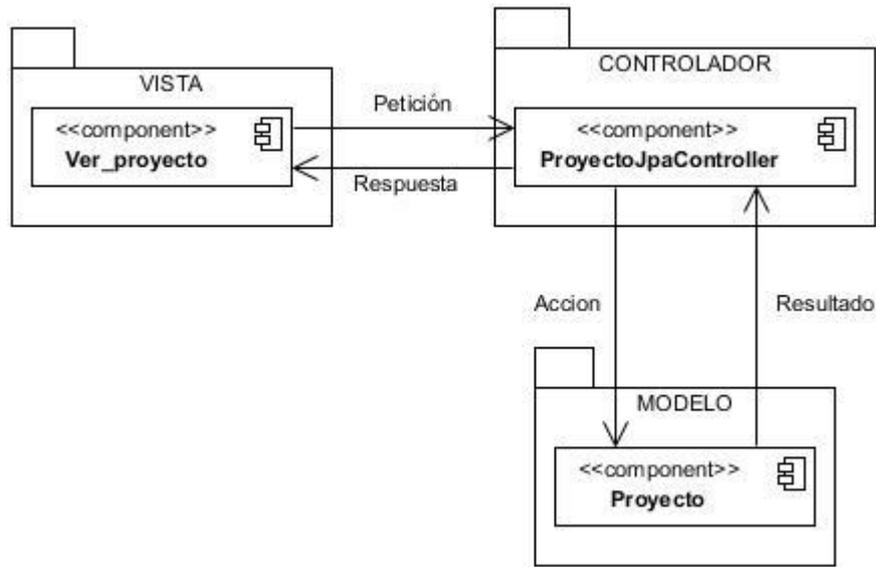
Ventajas de MVC:

- Adaptación al cambio.
- Soporte de vistas múltiples.
- Sencillez para crear distintas representaciones de los mismos datos.
- Facilidad para la realización de pruebas unitarias de los componentes.
- Reutilización de los componentes.
- Los desarrollos suelen ser más escalables.
- Permite cambiar la forma en que una vista responde a la entrada del usuario sin necesidad de cambiar su presentación visual.

A continuación se explica el funcionamiento del MVC en un ejemplo práctico del Sistema Informática de Apoyo para los Estudios de Impacto Ambiental (SIAEIA):

1. El usuario interactúa con la interfaz de usuario de alguna forma (por ejemplo, el usuario desea ver los datos de un proyecto dado y para ello selecciona el botón correspondiente)
2. En este caso, el controlador `ProyectoJpaController` recibe (por parte del objeto de la interfaz-vista) la notificación de la acción solicitada por el usuario.
3. El controlador gestiona el evento que llega. Accede al modelo, obteniendo los datos de la entidad `Proyecto`.
4. La vista recibe los datos obtenidos por el controlador y muestra la interfaz apropiada para el usuario donde se refleja la información del proyecto.
5. La interfaz de usuario espera nuevas interacciones del usuario, comenzando el ciclo nuevamente.

Las ventajas que aporta la estructura de este patrón unida a las facilidades que brinda el Netbeans para su implementación, fueron elementos decisivos para su selección. A continuación se muestra de manera gráfica un ejemplo *simplificado* del uso de este patrón, en el Sistema Informática de Apoyo para los Estudios de Impacto Ambiental (SIAEIA).



**Figura 3.** Ejemplo práctico del patrón MVC en el SIAEIA.

### 3.2.5 Patrones de diseño

Christopher Alexander, 1977 plantea que: “Cada patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en nuestro ambiente, y luego describe el núcleo de la solución a ese problema, de tal manera que puedes usar esa solución un millón de veces más, sin hacer jamás la misma cosa dos veces.”

Para el diseño de la aplicación se tuvieron en cuenta una serie de patrones de gran utilidad que proponen una forma de reutilizar la experiencia de los desarrolladores.

#### Patrones GRASP

Los patrones GRASP (Responsibility Assignment Software Patterns, en español Patrones Generales de Software para Asignación de Responsabilidades) describen los principios fundamentales de diseño de objetos y la asignación de responsabilidades. Constituyen un apoyo para la enseñanza que ayuda a entender el diseño de objeto esencial y aplica el razonamiento para el diseño de una forma sistemática, racional y explicable (Larman, 1999).

- Patrón Experto: Asigna la responsabilidad al experto en información, la clase que tiene la información necesaria para realizar la responsabilidad (Larman, 1999).

Este patrón se evidencia en cada clase que pertenece al Modelo, cada una contiene la información referente a la entidad que representa y es responsable de realizar la labor que tiene encomendada.

### Beneficios:

- Se mantiene el encapsulamiento de la información, puesto que las entidades utilizan su propia información para llevar a cabo las tareas, conllevando a un bajo acoplamiento.
  - Se distribuye el comportamiento entre las clases que contienen la información requerida, por tanto, las clases son más fáciles de entender y mantener.
  - Se soporta normalmente una alta cohesión.
- Patrón Creador: Asigna a la clase B la responsabilidad de crear una instancia de clase A si se cumple uno o más de los casos: siguientes: B agrega objetos de A, B contiene objetos de A, B registra instancias de objetos de A, B utiliza más estrechamente objetos de A, B tiene los datos de inicialización que se pasarán a un objeto de A cuando sea creado (por tanto, B es un creador de los objetos A) (Larman, 1999).

Un ejemplo del uso de este patrón se evidencia en la clase Consultora que crea instancias de la clase Proyecto, por lo que incluye una lista de proyectos.

### Beneficios:

- Se soporta bajo acoplamiento, lo que implica menos dependencias de mantenimiento y mayores oportunidades para reutilizar. Probablemente no se incrementa el acoplamiento porque la clase creada es presumible que ya sea visible a la clase creadora, debido a las asociaciones existentes que motivaron su elección como creador.
- Patrón Alta cohesión: Asigna una responsabilidad de manera que la cohesión permanezca alta. Una clase con alta cohesión tiene un número relativamente pequeño de métodos, con funcionalidad altamente relacionada, y no realiza mucho trabajo. Colabora con otros objetos para compartir el esfuerzo si la tarea es extensa (Larman, 1999).

### Beneficios:

- Una clase con alta cohesión es relativamente fácil de mantener, entender y reutilizar.
  - El alto grado de funcionalidad relacionada, combinada con un número pequeño de operaciones, también simplifica el mantenimiento y las mejoras.
- Patrón Bajo Acoplamiento: Asigna una responsabilidad de manera que el acoplamiento permanezca bajo. El acoplamiento es una medida de la fuerza con que un elemento está conectado a, tiene conocimiento de, confía en, otros elementos. Un elemento con bajo (o débil)

acoplamiento no depende de demasiados otros elementos; aunque "demasiados" depende del contexto. Estos elementos pueden ser clases, subsistemas, sistemas, etcétera (Larman, 1999).

En la práctica, el nivel de acoplamiento no se puede considerar de manera aislada a otros principios como el Experto o Alta Cohesión.

Beneficios:

- No afectan los cambios en otros componentes.
- Fácil de entender de manera aislada.
- Patrón Controlador: Asigna a clases específicas la responsabilidad de recibir o manejar un evento del sistema (Larman, 1999).

El patrón MVC brinda una capa específicamente para los controladores y especifica la presencia de este patrón.

### Patrones GoF

En el libro "Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software", conocido como los patrones de la "pandilla de los cuatro" (Gang of Four/ GoF) se clasifican en 3 categorías los patrones basadas en su propósito: creacionales, estructurales y de comportamiento.

Para el diseño del sistema se tuvieron en cuenta dos patrones creacionales:

- Patrón Prototipo: Especifica los tipos de objetos que se quieran crear usando una instancia prototípica y crear nuevos objetos copiando dicho prototipo. Es decir, permite definir nuevos tipos de objetos instanciando clases ya existentes y registrando estas instancias como nuevos prototipos para el cliente. Este patrón se ve reflejado en la clase Alternativa, específicamente en la funcionalidad encargada de duplicar una alternativa (Anexo 2, Figura 2.1).

Tiene como ventaja que dota al sistema de una mayor flexibilidad, pues se pueden añadir/eliminar alternativas dinámicamente.

- Patrón Singleton<sup>15</sup>: Garantiza la existencia de una única instancia para una clase y la creación de un mecanismo de acceso global a dicha instancia. Se crea una clase que gestiona una sola instancia de ella misma y cada vez que se necesite, simplemente se consulta la clase y esta

---

<sup>15</sup> No se ha traducido el nombre de este patrón, ya que a diferencia de otros patrones normalmente se utiliza el nombre original en inglés tanto en la expresión oral como escrita en castellano.

devolverá siempre, la misma instancia. Este patrón se ve reflejado en la clase Manager, encargada de realizar la conexión con la base de datos (Ver Anexo 2, Figura 2.2).

### 3.2.6 Estándares de codificación

Los estándares de codificación son pautas de programación que no están enfocadas a la lógica del programa, sino a su estructura y apariencia física para facilitar la lectura, comprensión y mantenimiento del código. Mejoran la legibilidad del código. Permiten que otras personas puedan colaborar con facilidad, en consecuencia el mantenimiento es menos complejo.

A continuación se mencionan algunas buenas prácticas utilizadas durante la fase de implementación del sistema:

- Organización de ficheros: Las clases se agrupan en paquetes. Estos paquetes se organizan de manera jerárquica.
- Fichero fuente Java (.java): Cada fichero fuente contiene una única clase o interfaz pública. El nombre del fichero coincide con el nombre de la clase.
- Sentencias de paquete: La primera línea no comentada de un fichero fuente es la sentencia de paquete, que indica el paquete al que pertenece la clase incluida en el fichero fuente.
- Sentencias de importación: Tras la declaración del paquete se incluyen las sentencias de importación de los paquetes necesarios.
- Sangría: Como norma general se establecen 4 caracteres como unidad de sangría.
- Comentarios de implementación: Estos comentarios se utilizan para describir el código ("el cómo"), y en ellos se incluye información relacionada con la implementación.
- Una declaración por línea: Se hace uso de una declaración por línea, promoviendo así el uso de comentarios.
- Inicialización: Toda variable local es inicializada en el momento de su declaración, salvo que su valor inicial dependa de algún valor que tenga que ser calculado previamente.
- Declaración de clases / interfaces: Durante la implementación de las clases o interfaces se siguen las siguientes reglas de formateo:
  - No incluir ningún espacio entre el nombre del método y el paréntesis inicial del listado de parámetros.

- El carácter inicio de bloque ("{"") debe aparecer al final de la línea que contiene la sentencia de declaración.
- El carácter fin de bloque ("}") se sitúa en una nueva línea tabulada al mismo nivel que su correspondiente sentencia de inicio de bloque, excepto cuando la sentencia sea nula, en tal caso se situará detrás de "{".
- Los métodos se separarán entre sí mediante una línea en blanco.
- Sentencias: Cada línea contiene como máximo una sentencia.
- Espacios en blanco: Las líneas y espacios en blanco se usan para mejorar la legibilidad del código permitiendo identificar las secciones de código relacionadas lógicamente.
- Nomenclatura de identificadores
- Paquetes: Se escriben siempre en letras minúsculas para evitar que entren en conflicto con los nombres de clases o interfaces.
- Clases, interfaces y atributos: Los nombres que reciben son sustantivos y tienen la primera letra en mayúsculas. Los nombres compuestos tienen la primera letra de cada palabra componente en mayúsculas.
- Métodos: Los métodos son verbos escritos en minúsculas, excepto la primera letra. Los métodos compuestos tienen la primera letra de cada palabra en mayúsculas. En el caso particular de los métodos get y set, se respetará la estructura propuesta por la herramienta CASE usada, ejemplo: setNombre().
- Variables: Las variables preferiblemente se escriben en minúsculas.

### 3.2.7 Diagrama de Clases del Diseño

Una clase del diseño y sus atributos participan en varias realizaciones de casos de uso. En un diagrama de clases del diseño se exponen las clases que intervienen en las realizaciones de los casos de uso del sistema. En este tipo de diagrama se representa un nivel de detalle más alto que en los diagramas de clases del análisis, relacionándose con el lenguaje de programación del cual se hará uso en la implementación del sistema (Carvajal, 2009). (Ver Anexo 9).

### 3.2.8 Modelo de Datos

Para el modelado de los datos se generó el artefacto Diagrama Entidad-Relación, conformado por de 10 tablas (Ver anexo 10).

### 3.3 Reseña de implementación

La implementación del sistema comenzó con el diseño de la base de datos que se encarga de guardar los datos persistentes de los estudios de impactos, luego de haber diseñado cada una de las entidades y sus atributos correspondientes, se generaron las tablas de la base de datos, a través del driver para conectar la base de datos SQLite con Java: “sqlite-jdbc.jar”. A partir de aquí se fueron creando cada una de las clases del paquete “Modelo” que representan la mayor parte de las tablas de la base de datos con sus respectivos atributos. Definiéndose de manera general la siguiente relación entre ellas: la clase principal (Consultora.java) tendrá el control de cada uno de los proyectos (que se le realizan los EsIA), representados por la clase Proyecto.java y del conjunto de especialistas, representados por la clase Especialista.java; a su vez la clase Proyecto.java mantiene el control de cada una de las alternativas que lo conforman, representadas por la clase Alternativa.java, esta se encarga de almacenar las acciones de realización de un proyecto, representadas por la clase Accion.java. Los factores del medio ambiente que se ven afectados por dichas acciones, están representados por la clase Factorambiental.java. Los impactos ambientales surgen de la relación de una acción y un factor, dichos impactos son representados por la clase Impactoambiental.java. Los impactos según su naturaleza contendrán una lista de medidas que lo corrigen o una lista de beneficios que aportan representados en ambos casos por la clase representadas por la clase Medida\_Beneficio.java. Las características anteriores se unieron en una sola clase, pues presentaban atributos iguales. Esto influye positivamente en el almacenamiento de la información en la base de datos. Luego de haber definido los atributos de cada clase y métodos principales se fueron implementando las funcionalidades encargadas de dar solución a las necesidades del cliente.

Durante todo este proceso se hizo necesario el uso de algunas bibliotecas o librerías disponibles para el lenguaje de programación (Java) que facilitaron el trabajo y disminuyeron el tiempo de desarrollo. Fue utilizada la librería “jcalendar.jar” para el trabajo y la manipulación de las fechas en el caso de la fecha de realización de los estudios de impactos. Además se utilizó la librería “iText.jar” mediante la que se exporta a un documento en formato PDF (*portable document format*, en español formato de documento portátil) toda la información definida por el cliente para conformar un informe de Estudio de Impacto Ambiental.

Además fueron utilizadas algunas estructuras de datos del lenguaje que ayudaron a modelar los datos de una manera más fácil y cómoda; entre ellas se utilizó la lista para guardar varios objetos de una clase.

Otra estructura de datos utilizada fue el árbol, permitiendo modelar el conjunto de acciones, dividido por las fases del proyecto, para ellos fue utilizado un árbol de dos niveles donde en un primer nivel se encuentran las fases del proyecto y en el segundo nivel las acciones que lo conforman. Fue utilizado el mismo procedimiento para los factores del medio ambiente que se ven afectados por las acciones de proyecto, donde en un primer nivel están los subsistemas del medio ambiente que engloban a dichos factores en un segundo nivel según pertenezcan. De esta manera el usuario puede observar la información referente a las acciones y los factores de una forma más organizada.

La generación de las clases controladoras a partir de las clases del “Modelo”, fueron agrupadas en un paquete llamado “Control”, se obtuvo una clase controladora por cada clase entidad, mediante ellas las entidades se comunican con la base de datos, estas clases son las encargadas de crear, modificar y eliminar los datos existentes en la base de datos a través de la API utilizada (JPA) y su implementación “Eclipselink”, para ello fueron utilizadas las clases: Persistence que contiene métodos estáticos de ayuda para obtener una instancia de la clase EntityManagerFactory, esta última ayuda a crear objetos de la clase EntityManager utilizando el patrón de diseño Factory (fábrica), EntityManager es la interfaz principal de JPA utilizada para la persistencia de las aplicaciones, cada EntityManager puede realizar operaciones CRUD (*Create, Read, Update, Delete*; en español Crear, Cargar, Actualizar, Eliminar) sobre un conjunto de objetos persistentes; la clase Entity es una anotación Java que se coloca a nivel de clases Java serializables donde cada objeto de una de estas clases anotadas representa un registro de la base de datos.

Luego fueron implementadas cada una de las vistas siguiendo los prototipos mostrados al cliente con anterioridad y fueron agrupadas en el paquete “Vista”. Mediante estas clases se muestra la interfaz visual con que interactuará el cliente, en ellas se implementaron las validaciones necesarias para hacer que el usuario haga entradas de datos correctos y no viole los pasos del EsIA, manteniendo una comunicación mediante mensajes de alerta, error y éxito. A medida que se avanzaba en la implementación se fueron haciendo entregables<sup>16</sup> al cliente, adaptando el sistema a las no conformidades encontradas, logrando así un producto final que satisfaga al cliente.

---

<sup>16</sup> Artefacto que no condiciona la continuidad de la ejecución del proyecto, es resultado del desarrollo del sistema y será entregado como documento o subproducto definitivo durante la fase de transición de cada una de las etapas concebidas para el desarrollo, pudiendo ser previamente revisados por el cliente durante la ejecución del proyecto, el cual puede aportar recomendaciones o solicitar cambios.

### **3.4 Contribuciones del SIAEIA**

El software desarrollado ofrece varias ventajas y facilidades en la realización de los EsIA:

- Permite el trabajo con más de una alternativa de proyecto.
- Los EsIA se almacenan en una base de datos permitiendo futuros análisis estadísticos y reutilización de la información en caso que se realicen proyectos similares, ganando en rapidez y tiempo de trabajo.
- El cálculo de la importancia de un impacto ambiental se realiza de manera automática. El sistema evita que tenga que realizarse la revisión de toda la cadena causal de los impactos ambientales cada vez que se corrige un dato. Esto también reduce el tiempo y los costos de realización del estudio.
- Admite la evaluación de los impactos ambientales de forma cuantitativa.
- Permite adecuar la línea base ambiental a cada alternativa del proyecto.
- El Análisis Costo-Beneficio de cada alternativa se efectúa de manera automática, facilitando el cumplimiento del artículo 26, inciso i) del Capítulo III de la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”.
- Las valoraciones absolutas y relativas se realizan una vez que se hayan depurado los impactos ambientales, obteniéndose un resultado más representativo. El software brinda la posibilidad de excluir los impactos determinantes (severos y críticos) de este tratamiento debido a su papel predominante.
- A través de la opción “Duplicar”, se realiza una copia de la alternativa seleccionada, obteniéndose un duplicado de toda la información referente a una alternativa, es decir las acciones, factores ambientales afectados, impactos ambientales y sus evaluaciones, Análisis Costo-Beneficio, etc.

Esta opción permite experimentar con la alternativa-copia en cuanto a:

- Comportamiento de la alternativa antes y después de la ejecución de medidas correctoras y/o preventivas.
- Modificar la caracterización de un impacto ambiental (determinación de la importancia y magnitud). De esta manera el especialista puede comparar diferentes juicios en la clasificación de un atributo y observar cómo se comporta el resultado final. Dichas

modificaciones pueden ser desde el cambio de uno o varios atributos que identifiquen a un impacto ambiental hasta la eliminación del mismo.

- Modificación de las medidas establecidas para corregir impactos ambientales negativos o modificación de los beneficios que aportan los impactos ambientales positivos. En ambos casos el cambio puede estar dado por el capital (costo o ingreso) o por la descripción de la medida o el beneficio. Proporcionado una vía para el especialista de corroborar la influencia de estos elementos en valoración económica del proyecto y en la implantación de un adecuado plan de corrección.
- En caso que una alternativa del proyecto se asemeja mucho a otra, con la opción duplicar se ahorra en tiempo, pues solo sería necesario cambiar de la alternativa-copia las características que la distinguen.
- Permite valorar<sup>17</sup> las alternativas de un proyecto teniendo en cuenta varios criterios de decisión y las preferencias del especialista o equipo de especialistas que realicen el EsIA. Esta opción se realiza de manera automática y evita el trabajo engorroso que trae consigo el uso de cualquier método multicriterio. Esta opción del SIAEIA facilita el cumplimiento del artículo 26, inciso b) del Capítulo III de la Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental”.
- Generación automática de un informe en formato pdf con los principales elementos del EsIA requeridos por el cliente, garantizando uniformidad en la entrega de información.

### 3.5 Pruebas

Durante la fase de pruebas del ciclo de ingeniería de software se hace necesario realizar pruebas, automatizarlas es una garantía y una ventaja para el desarrollador, facilitando enfocarse en la prueba y el resultado esperado, y dejando a la herramienta la creación de las clases que permiten coordinar las pruebas. Para ello se seleccionó JUnit; un conjunto de clases (framework) que permite realizar la ejecución de clases Java de manera controlada, para poder evaluar si el funcionamiento de cada uno de los métodos de la clase se comporta como se espera. En función de algún valor de entrada se evalúa el valor de retorno esperado; si la clase cumple con la especificación, entonces JUnit devolverá que el

---

<sup>17</sup> Ver en el Anexo 5 la figura 5.5. Valorar alternativas de un proyecto.

método de la clase pasó exitosamente la prueba; en caso de que el valor esperado sea diferente al que devolvió el método durante la ejecución, JUnit devolverá un fallo en el método correspondiente.

### 3.5.1 Pruebas unitarias automatizadas

Las pruebas unitarias o también llamadas pruebas de caja blanca se basan en realizar pruebas al código del sistema. Para llevar a cabo esta tarea se comprueban los caminos lógicos de la aplicación mediante casos de prueba, que pongan a prueba los algoritmos implementados. Las pruebas unitarias no se le pueden realizar a todo el código de la aplicación, ya que el número de caminos lógicos puede llegar a crecer de manera exponencial lo cual imposibilita realizar casos de pruebas para todos estos caminos y mucho menos procesarlos todos (Jeffries, 1999). Por este motivo las pruebas de caja blanca se realizan a los principales algoritmos o procedimientos. Uno de los métodos o técnicas de prueba unitarias, es la prueba del camino básico. Esta técnica permite obtener una medida de la complejidad de un procedimiento o algoritmo y un conjunto básico de caminos de ejecución de este, los cuales luego se utilizan para obtener los casos de prueba. Esta técnica será la utilizada para desarrollar los casos de pruebas unitarias del sistema desarrollado. De igual manera existen varias métricas de software para realizar pruebas unitarias, entre estas se encuentra la complejidad ciclomática, la cual será utilizada junto a la técnica explicada anteriormente. Esta métrica proporciona una medición cuantitativa de la complejidad lógica de un procedimiento.

La complejidad ciclomática cuando se utiliza en el contexto del método de prueba del camino básico, el valor que se calcula como complejidad ciclomática define el número de caminos independientes dentro de un fragmento de código y determina la cota superior del número de pruebas que se deben realizar para asegurar que se ejecuta cada sentencia al menos una vez (Pressman, 2002).

Para realizar las pruebas unitarias existen distintas herramientas, en específico para las pruebas al código en lenguaje Java existe el JUnit, un framework utilizado para automatizar las pruebas; permitiendo que el esfuerzo y el trabajo en la fase de pruebas se reduzca.

A continuación se explica, mediante un ejemplo, todo el procedimiento que se siguió para obtener los casos de prueba utilizando la técnica del camino básico junto con la métrica complejidad ciclomática.

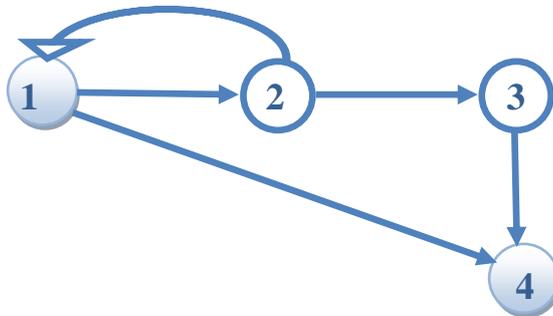
Este algoritmo lleva como nombre “ExisteAlternativa”, y tiene como finalidad buscar en la lista de alternativas de un proyecto determinado, si existe una alternativa cuyo nombre coincida con el que recibe por parámetro.

```

Public Boolean ExisteAlternativa (String nombre) {
boolean ok = false; // 1
for (int i = 0; i <alternativaList.size(); i++) { // 1
Alternativa get = alternativaList.get(i); // 2
if (get.getNombre().equals(nombre)) { // 2
ok = true; // 3
break; // 3 } }
return ok; } // 4

```

A partir del algoritmo, se dibuja el grafo de flujo asociado.



**Figura 4.** Grafo de flujo de la funcionalidad “ExisteAlternativa”.

Luego se determina la complejidad ciclomática  $V(G)$  del grafo resultante  $G$ , para esto se utiliza la siguiente fórmula:

- $V(G) = A - N + 2$

Donde:  $A$  es el número de aristas del grafo y  $N$  es el número de nodos.

$$V(G) = A - N + 2$$

$$V(G) = 5 - 4 + 2$$

$$V(G) = 3$$

El número de caminos independientes de la estructura del programa es igual a 3, y los caminos independientes son:

**Camino 1:** 1, 2, 3,4

**Camino 2:** 1, 2, 1, 4

**Camino 3:** 1, 4

Luego se definen 3 casos de prueba para el código del algoritmo, uno para cada camino. Para ver los casos de prueba referentes a dicho algoritmo remitirse al Anexo 3. Para realizar estos casos de prueba se utilizó la siguiente plantilla:

<b>Caso de prueba unitaria</b>	
<b>Camino:</b> <i>Nombre</i>	
<b>Caso de prueba:</b> <i>Nombre</i>	
<b>Entrada:</b> <i>Descripción textual de lo que ocurre en el mundo real que hace necesario ejecutar el caso de prueba, precisando la data de entrada y los comandos a dar por el actor. Descripción textual del estado de la información almacenada</i>	
<b>Resultado:</b> <i>descripción textual del estado en el que queda la información y las alertas que puedan generarse, una vez ejecutado el caso de uso con los valores y el estado especificado en la entrada</i>	
<b>Condiciones:</b> <i>Condiciones que deben cumplirse mientras se ejecuta el caso de prueba</i>	

**Tabla 4.** Plantilla de un caso de prueba unitaria.

### 3.5.2 Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación son un tipo de prueba de caja negra orientadas a evaluar las funcionalidades del sistema. El cliente es el máximo responsable de verificar cada una de las pruebas y de priorizar la corrección de las pruebas fallidas. La utilización de estas pruebas fue de vital importancia en el proceso de desarrollo ya que permitió tener una idea más clara e inequívoca de la calidad del trabajo, a la vez se garantizó la entrega de un producto en elevada correspondencia con las necesidades del usuario final.

Se muestra la plantilla de caso de prueba de aceptación definida con el cliente:

<b>Caso de prueba aceptación</b>	
<b>Código:</b> <i>Código que identifica la prueba.</i>	<b>Requerimiento funcional:</b> <i>Nombre.</i>
<b>Descripción:</b> <i>Breve descripción del objetivo con que se realiza la prueba.</i>	
<b>Condiciones de Ejecución:</b> <i>Condiciones que deben satisfacerse para que pueda realizarse la prueba.</i>	
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> <i>Se describen los pasos de ejecución de la prueba en cuestión.</i>	
<b>Resultado Esperado:</b> <i>Proporciona las expectativas ideales para las cuales fue pensada la prueba.</i>	
<b>Evaluación de la Prueba:</b> <i>Calificación que recibe la prueba de acuerdo con los resultados</i>	

obtenidos.

**Tabla 5.** Plantilla de un caso de prueba de aceptación.

Las pruebas de aceptación se realizaron en 3 iteraciones, que coincidieron con la cantidad de entregables proporcionados al cliente:

- Iteración 1: Se realizaron 22 casos de pruebas de aceptación, identificando 6 no conformidades, 4 no significativas y dos significativas. Debido a la complejidad mínima de éstas, fueron todas resueltas y no quedaron casos de pruebas pendientes.
- Iteración 2: Se realizaron 8 casos de pruebas de aceptación, identificando 3 no conformidades, de ellas 2 son significativas y 1 no significativa. Estas tres no conformidades se solucionaron dando fin al proceso de pruebas de aceptación y obteniendo resultados satisfactorios.
- Iteración 3: Se realizaron 6 casos de pruebas, identificando 1 no conformidad, no significativa, referente con la información del informe que se generaba.

En la sección correspondiente a los Anexos se muestran algunos los casos de pruebas de aceptación (Ver Anexo 4).

### 3.5.3 Pruebas a partir de casos de estudio

Acorde con las peticiones del cliente se realizaron pruebas con EsIA anteriormente realizados por la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente. El objetivo principal de este tipo de pruebas es garantizarle al cliente un producto terminado que posea como principal característica la confiabilidad del sistema.

Conforme con los EsIA que se llevaron a cabo por las unidades de la Consultoría, se realiza el proceso de validación o pudiera decirse de confiabilidad del sistema. Aclarar que solo fue posible comprobar una parte del funcionamiento del software, debido a la ausencia de datos existente en dichos EsIA, relacionados con algunas funcionalidades que aporta el sistema en correspondencia con el artículo 26 de la Resolución 132/2009 como: Evaluación cuantitativa, Selección de alternativas y Análisis-Costo-Beneficio, imposibilitan comparar los resultados arrojados por el SIAEIA. Por lo que el cliente asume el correcto funcionamiento de esos aspectos, contando con la profesionalidad de una investigación de este tipo.

Fueron probados los siguientes EsIA:

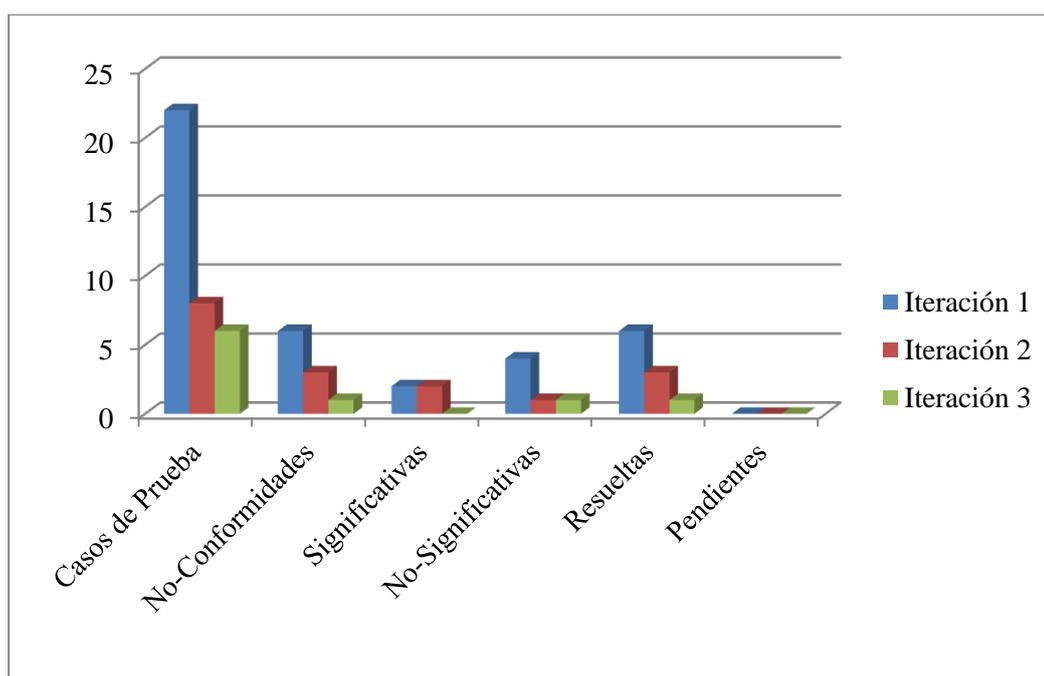
- Cambio Tecnológico Granja Avícola XIV Congreso, (Consolación del Sur, Pinar del Río).
- Hotel Guardalavaca, (Holguín).

- Las Ánimas, (Guáimaro, Camagüey).
- Ampliación del Hotel Blau Costa Verde, (Rafael Freyre, Holguín).

### 3.5.4 Resultados arrojados por las pruebas

Las pruebas unitarias o también llamadas pruebas de caja blanca basadas en realizar pruebas al código del sistema, se le realizaron a las funcionalidades de mayor impacto en el código, obteniéndose un 100 % de éxito.

Por otra parte, las pruebas de aceptación destinadas a verificar si las funcionalidades del software son operativas, que la entrada se acepta de forma adecuada y que se produce un resultado correcto, fueron ejecutadas por el cliente. De manera general las no conformidades, no significativas, se centraron en errores ortográficos como: omisiones de tildes, paréntesis, cambio de mayúscula por minúscula y aceptar letras donde se esperaban valores numéricos, y las significativas, en errores de validación y cambios en el diseño. Se muestra el siguiente gráfico que representa mejor el resultado de las mismas:



**Figura 5.** Resultados de las pruebas de aceptación.

Las pruebas realizadas a partir de los casos de estudio estuvieron enfocadas a la confiabilidad de la aplicación, mostrando los siguientes resultados:

Estudio de Impacto Ambiental probados	Impactos a valorar	Valorados correctamente	Valorados incorrectamente
Cambio Tecnológico Granja Avícola XIV Congreso	26	26	0
Hotel Guardalavaca	42	42	0
Las Ánimas <sup>18</sup>	21	21	0
Ampliación del Hotel Blau Costa Verde	53	53	0

**Tabla 6.** Resultados de las pruebas de validez.

### 3.6 Consideraciones finales

Según las tendencias actuales, las características del problema y principalmente la experiencia del desarrollador se seleccionaron las siguientes herramientas, tecnologías y lenguajes para el desarrollo del sistema: Visual Paradigm en su versión 8.0 como herramienta CASE, lenguaje de modelado UML, Java como lenguaje de programación, como IDE NetBeans en su versión 7.1.2 con las bibliotecas necesarias y como gestor de base de datos SQLite con el driver para Java “sqlite-jdbc.jar” en su versión 3.7.2. Se presentaron algunos artefactos del análisis, diseño e implementación del sistema y se utilizó el patrón arquitectónico MVC y algunos patrones de diseño GRASP y Gof. El Modelo de dominio obtenido proporcionó un diccionario visual del vocabulario y conceptos del contexto en cuestión, que sirvieron de inspiración para nombrar algunos elementos del diseño del software. Se identificaron treinta y cinco requerimientos funcionales, que se agruparon en dieciséis casos de uso. Se realizaron pruebas unitarias automatizadas a los principales procedimientos del código, se ejecutaron treinta y seis pruebas de aceptación por parte del cliente y se ejecutaron en el sistema 4 casos de estudio, obteniendo resultados satisfactorios que garantizan que el producto final cumpla con las expectativas del cliente.

<sup>18</sup> Remitirse al Anexo 5

## CONCLUSIONES

- Se estableció la metodología Conesa y Resolución 132/2009 “Reglamento del Proceso de EIA” del CITMA como base teórica del SIAEIA, en correspondencia con los requisitos de un EsIA y las expectativas de la Consultoría Pro-Ambiente de la ENIA, INVESCONS.
- El análisis de los sistemas homólogos evidenció la necesidad de desarrollar un nuevo sistema y permitió incluir funcionalidades como análisis multicriterio para la selección de alternativas, uso de indicadores ambientales, obtención automática de resultados y evaluar de forma absoluta y relativa los impactos ambientales.
- El sistema desarrollado resuelve las limitantes presentadas como el trabajo con más de una alternativa, valoración económica del proyecto a partir del indicador VAN, evaluación cuantitativa, base de datos para el almacenamiento de los EsIA, selección de alternativas a partir de varios criterios apoyando la toma de decisiones ambientales respecto a la puesta en marcha de un proyecto.
- Se comprobó la funcionalidad y confiabilidad de la aplicación mediante la realización de pruebas basadas en casos de estudio, pruebas unitarias automatizadas y de aceptación.

## **RECOMENDACIONES**

Como resultado del proceso de investigación y desarrollo del software, han surgido ideas que serían recomendables tener en cuenta para su futuro perfeccionamiento, a continuación se enuncian cada una de ellas.

Al cliente:

- Extender el uso del SIAEIA a todas las entidades de la ENIA con el objetivo de reducir costos durante la prestación de este importante servicio así como mejorar la calidad del mismo en cada una de ellas.
- Realizar los EsIA con apoyo del SIAEIA y utilizar las opciones respecto a Evaluación cuantitativa, Selección de alternativas y Análisis-Costo-Beneficio.

A futuros desarrolladores:

- Incorporar técnicas de inteligencia artificial para el manejo de la incertidumbre de los datos, ya que la Metodología Conesa adolece de esta característica.
- Implementar un método multicriterio diferente para otros puntos de valoración.
- Incorporar otras funciones de agregación para el cálculo de la magnitud de un impacto ambiental.
- Agregar el cálculo de indicadores para predecir la magnitud de un impacto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abellán, M; Del Cerro, B. A. (1993). *Referencia a los tres métodos más usados en la valoración de impactos ambientales*. Facultad de Educación de Albacete, ISSN 0214-4824, N°. 8, p. 199-210.
2. Abellán, M., y García, F. (2006). *Evaluación de impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales*. Universidad de Castilla “La Mancha”, ISBN: 9788484274162, p. 632.
3. Aigaje Tandayamo, E. W. (2012). *Elaboración de un plan de manejo para la conservación de la microcuenca San Vicente abastecedora de agua potable en la Parroquia de Santa Rosa, Cantón del Chaco, provincia de Napo*. Tesis de Grado para Ingeniero en Medio Ambiente, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
4. Aquino, S. N., Frutos, A. J. (2002). *Fundamentos de la Máquina Virtual Java y el Entorno .NET*. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Facultad de Ciencias y Tecnología Ingeniería Informática.
5. Aragonés, P. (2010). *Apuntes para la Toma de Decisiones en Proyectos*. Universidad de Valencia. España.
6. Arcia, M. (1994). *Geografía del medio ambiente una alternativa para el ordenamiento ecológico*. México.
7. Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba. (1997). Gaceta Oficial de la República de Cuba. [Consultado el 13 de marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.medioambiente.cu/legislacionambiental/leyes/L-81.htm>
8. Álvarez Pérez, C., y Borrero Campos, O. (2012). *Derecho y medio ambiente*. Instrumento de la gestión ambiental en Cuba. Evaluación de impacto ambiental, licencia ambiental e inspección ambiental en la legislación cubana. Habana: Unión de Periodistas de Cuba. ISBN: 978-959-259-455-7.

9. Burbeck, S. (1992) “Application programming in Smalltalk-80: How to use Model-View-Controller (MVC)”. University of Illinois in Urbana-Champaign, Smalltalk Archive. Disponible en: <http://st-www.cs.uiuc.edu/users/smarch/st-docs/mvc.html>
10. Caballero D, L. (2012). *Procedimiento para la identificación y evaluación de aspectos ambientales en organizaciones cubanas*. Tesis de maestría en tecnologías de apoyo a la toma de decisiones, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” Facultad de Ingeniería Industrial, La Habana.
11. Campos Velázquez, E. (2007) *SIEVIMP, Sistema Informático para los Estudios de Impacto Ambiental*. Cuba.
12. Carvajal Pérez, E. (2009). *Análisis y diseño del subsistema de Análisis de Resultados de un Simulador de Procesos Químicos*. La Habana.
13. Centro de Estudios para el Desarrollo Económico (CEDE), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). *Evaluación Económica de Impactos Ambientales en Proyectos Sujetos a Licenciamiento Ambiental. Manual Técnico*. Colombia.
14. Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA). (2009). *Guías para la realización de las solicitudes de licencia ambiental y los estudio de impacto ambiental*. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.
15. Christopher Alexander., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., y Shlomo, A. (1977). *A Pattern Language*. Oxford University Press, New York.
16. Chonoles, M. J., y Schadr, J.A. (2003). *UML 2 for Dummies*. Hungry Minds. ISBN: 0764526146
17. Clarke, K.C. (1986). *Advances in Geographic Information Systems*.
18. Conesa Fernández-Vítora, Vicente. (2000). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Tercera Edición, Madrid: Mundi-Prensa. ISBN: 84-7114-647-9.

19. Cowen. D. (1988). GIS versus CAD versus DBMS. What are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 54.
20. Cruz Mínguez, V., y Gallego M, E. (2009). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
21. Date, C.J. (2001). *Introducción a los Sistemas de Bases de Datos*. Séptima Edición, México: Pearson Education. ISBN: 968-444-419-2.
22. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., y Vlissides, J. (1995). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented*. Software.MA: Addison-Wesley.
23. García Leyton, L. A. (2004). *Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales*. Tesis de Doctorado en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
24. García de Jalón, J. (2000). *Aprenda Java como si estuviera en primero*. San Sebastián. [Consultado el: 3 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.java.com/es/>
25. Gómez Orea, D. (1988). *Evaluación de impacto ambiental de Proyectos Agrarios*. Madrid.
26. Gómez Orea D.(1991). “*IMPRO. Un modelo informatizado para evaluación de impacto ambiental*” .Madrid: Agrícola Española.
27. Gómez-Senent, E., Chiner, M., y Chiner, M.J. (1991). PRES: Programa de Evaluación de Proyectos Sociales. *VII Congreso Nacional de Ingeniería de Proyectos*, Zaragoza.
28. Gonçalves, A. (2004). *El análisis de ciclo de vida y su aplicación a la arquitectura y al urbanismo, trabajo desarrollado en la asignatura por una ciudad más sostenible*. El planeamiento urbano frente al paradigma de la sostenibilidad del Doctorado en Ciudades, Periferias y Vitalidad Urbana. Madrid: ETSAM.
29. Groussard, Thierry. (2009). *JAVA 6 Los fundamentos del lenguaje java*. ENI.

30. Henig, M. I., Buchanan, J. (1996). *Solving MCDM Problems: Process Concepts*. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol 5. pp.3 - 21.
31. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2010). *Los Sistemas de Información Geográfica*. Colombia.
32. Ipiña Gonzalez de Artaza. D., y Canivell Castillo, V. (2007). *SQLite: una potente pero ligera base de datos relacional (I)*.
33. Jeffries, R. (1999). *Extreme Testing* [Consultado el: 22 de marzo de 2013]. Disponible en: [http://www.xprogramming.com/publications/SP99 Extreme for Web.pdf](http://www.xprogramming.com/publications/SP99%20Extreme%20for%20Web.pdf)
34. Just, R., Hueth, D., y Schmitz, A., (2004). *The Welfare Economics of Public Policy. A Practical Approach to Project and Policy Evaluation*.
35. Koollen R, M. (1995). *La Reforma de la Administración Pública para la Gestión Ambiental*. En *Desarrollo Sostenible y Reforma del Estado en América Latina y El Caribe*. México: CM y PNUMA.
36. Larman, Graig. (1999). *UML y Patrones: Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y proceso unificado*. Segunda Edición, México: Prentice Hall, ISBN: 970-17-0261-1.
37. León Peláez, J. D. (2002). *Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo*. Johan Alexander Correa Metro.
38. Leopold, L. B., F, E. Clarke., B, B. Hanshaw. y J, E. Balsley. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. U.S. Geological Survey Circular 645, Washington D.C.
39. Maragall, J. (2011). [En línea] Simpple. [Consultado el: 6 de diciembre de 2012]. Disponible en: <http://www.simpple.com/es/noticias/2011/05/05/lanzamiento-nuevo-lcamanager-1-3/>
40. Manteiga, L. (2000). Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. *Estadística y Medio Ambiente*. Instituto de Estadística de Andalucía, 75-87.

41. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREX), Ministerio de Comercio Exterior (MINCEX), y Asociación Cubana de Naciones Unidas (ACNU). (2012). *Informe de Cuba a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río +20*. Habana, Cuba.
42. Ministerio de Justicia de la República de Cuba (MINJUS). (2008). Constitución de la República de Cuba. Asamblea Nacional del Poder Popular. [En línea] Gaceta Oficial de la República de Cuba. [Consultado el: 13 de marzo de 2013]. Disponible en:  
[http://www.gacetaoficial.cu/html/constitucion\\_de\\_la\\_republica.html#cap1](http://www.gacetaoficial.cu/html/constitucion_de_la_republica.html#cap1)
43. Oyarzún Muñoz, J. (2008). *Evaluación de Impactos Ambientales*. Chile.
44. Palomino, R. (2008). [Consultado el: 6 de diciembre del 2012]. Disponible en:  
<http://www.slideshare.net./search/slideshow?searchfrom=header&q=Impacto+Ambiental>
45. PRÉConsultants. (2004). *SIMAPRO 6.0 Introducción a LCA con SimaPro. (Life Cycle Assessment-Análisis del Ciclo de Vida con SimaPro)*.
46. Pressman, R. S. (2002). *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico*. Quinta Edición, Mc Graw Hill.
47. Rhind, D. W. (1981). *Geographical Information Systems in Britian. Quantitative Geography*. London: Routledge and Kegan.
48. Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid: Alianza S.A.
49. Rumbaugh, J., Jacobson, I., y Booch, G. (2006). *El lenguaje Unificado de Modelado*. Manual de Referencia. Addison Wesley.
50. Sitio Oficial de Netbeans. [Consultado el: 15 de enero de 2013]. Disponible en:  
[http://netbeans.org/index\\_es.html](http://netbeans.org/index_es.html).

51. Sitio Oficial de Visual Paradigm. [Consultado el: 4 de marzo del 2012]. Disponible en:  
<http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml>
52. Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del Software*. Séptima Edición, Madrid: Pearson Educación, ISBN: 84-7824-074-5.
53. Sosa, R., y Roquero, F, A. (2012). Sistema Gestor de Procesos de media v2. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*. La Habana, Vol. 5.
54. United Nations. (2001). [Consultado el: 4 de febrero de 2013]. Disponible en:  
<http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/venez/inst.htm>
55. Unzalu, P. (2010). *Guías Sectoriales de Ecodiseño. Materiales de Construcción*. IHOBE.
56. Urquiza, A., y Aliste, E. (2010). *Medio Ambiente y Sociedad: Conceptos, Metodologías y Experiencias de las Ciencias Sociales y Humanas*. Ril.
57. Zúñiga Ríos, A. (2012). *Curso de postgrado Niveles de las Evaluaciones Ambientales*. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros, Cuba.

## ANEXOS

## Anexo 1: Cuestionarios

hroantunez@uic.camsquey.cu

Nombre y Apellidos: Humberto Antunez Batista  
 Institución a la que pertenece: UIC. GMIA. Camaguey  
 Profesión: Ingeniero Geólogo  
 Cargo: Director de proyecto e Ingeniería de Medio Ambiente

Se pretende realizar un software para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa 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. Un impacto ambiental viene identificado por el efecto de una acción simple sobre un factor ambiental y ambos elementos, acción y factor, deben quedar explícitos en la definición que se haga de impacto ambiental.

Los organismos competentes de las Directivas CEE de la Unión Europea 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

Generalmente, los proyectos transcurren por una serie de fases, mencione las más generales (aquellas que siempre están presentes en todo tipo de proyectos).

En todo proyecto deben evaluarse todas  
las fases

¿Conoce usted de la existencia de alguna herramienta informática para la EIA en nuestro país? Mencione todo aquello que conozca.

No conozco ninguna herramienta informática  
al respecto, no obstante se de la existencia de  
un software relacionado con la Temática  
ambiental, desarrollado por un especialista de  
la UIC-GMIA en Ciego de Avila para una fase de  
registro en Gestión Ambiental.

Según la definición de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que usted conoce, emita su criterio al respecto de cada uno de ellos.

EslA: Estudio cualitativo y cuantitativo acerca  
de las acciones y factores que intervienen  
en la ejecución de un proyecto

EIA: Evaluación y caracterización de los subsistemas  
que inciden en el estudio de impacto  
ambiental

¿Qué cree usted sobre la herramienta que se pretende desarrollar?

Es o será una herramienta novedosa  
que permitirá viabilizar y agilizar la ejecución  
de los proyectos

Según la clasificación que se da en la siguiente tabla, agregue aquellos factores ambientales que considere necesarios a tener en cuenta en la EIA.

Sistema	Factor
Medio Físico (Subsistema Natural)	Aire
	Geología
	Geomorfología
	Geotecnia
	Suelo
	Agua
	Flora
	Fauna
	Paisaje
Medio Socioeconómico Subsistema Socioeconómico	Población
	Economía
	Infraestructura Urbana
Patrimonio Cultural Subsistema cultural.	Patrimonio Histórico Cultural

Figura 1.1. Cuestionario en la Unidad de Camagüey

dagmar@vic.camaguey.cu  
 VIC - unidad de investigaciones para la construc.

Nombre y Apellidos: Dagmar Tivera Carr  
 Institución a la que pertenece: ENIA - VIC Camaguey  
 Profesión: Ing. Geólogo. MSc. Ingeniería Sanitaria.  
 Cargo: Esp. A en Proyecto e Ingeniería.

Se pretende realizar un software para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa 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. Un impacto ambiental viene identificado por el efecto de una acción simple sobre un factor ambiental y ambos elementos, acción y factor, deben quedar explícitos en la definición que se haga de impacto ambiental.

Los organismos competentes de las Directivas CEE de la Unión Europea 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

Generalmente, los proyectos transcurren por una serie de fases, mencione las más generales (aquellas que siempre están presentes en todo tipo de proyectos).

Ideas conceptuales  
Proyecto (Ingeniería Básica, Ejecutiva, Factibilidad Tec - económ.)  
Construcción  
Operación (Implementación)  
Abandono

¿Conoce usted de la existencia de alguna herramienta informática para la EIA en nuestro país? Mencione todo aquello que conozca.

No

Según la definición de Estudio de Impacto Ambiental (EslA) y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que usted conoce, emita su criterio al respecto de cada uno de ellos.

EIA:  
Relación de un proyecto con todos los factores ambientales y socio-económicos existentes en un emplazamiento donde van interactuar en un momento determinado.

EIA:  
Categorización cuali-cuantitativa de los impactos que afectan cada factor en una etapa determinada de un proyecto en cuestión.

¿Qué cree usted sobre la herramienta que se pretende desarrollar?

Podría ser de gran utilidad en los trabajos de mesa brindando agilidad a los trabajos manuales de conteo y conformación de las matrices.

Según la clasificación que se da en la siguiente tabla, agregue aquellos factores ambientales que considere necesarios a tener en cuenta en la EIA.

Sistema	Factor
Medio Físico	Aire ( <u>ruido</u> )
	Geología
	Geomorfología
	Geotecnia
	Suelo
	Agua ( <u>superficial - subterráneas</u> )
	Flora
	Fauna
	Paisaje
Medio Socioeconómico	Población
	Economía
	Infraestructura Urbana
Patrimonio Cultural	Patrimonio Histórico Cultural

NC 26: 1999. Ruido  
 NC 39: 1999. C. Aire

Figura 1.2. Cuestionario en la Unidad de Camagüey

Nombre y Apellidos: *Orestes V. Fariñas Alca*  
 Institución a la que pertenece: *ENIA INVUSCONS. U.I.C. P. del Río.*  
 Profesión: *Ing. Geólogo (Esp. A en Proyectos e Ingeniería).*  
 Cargo: *Dir. Grupo Estudios Ambientales.*

Se pretende realizar un software para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa 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. Un impacto ambiental viene identificado por el efecto de una acción simple sobre un factor ambiental y ambos elementos, acción y factor, deben quedar explícitos en la definición que se haga de impacto ambiental.

Los organismos competentes de las Directivas CEE de la Unión Europea 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

Generalmente, los proyectos transcurren por una serie de fases, mencione las más generales (aquellas que siempre están presentes en todo tipo de proyectos).

→ *FACTIBILIDAD*  
 → *CONSTRUCCION*  
 → *EXPLOTACION*  
 → *ABANDONO*

¿Conoce usted de la existencia de alguna herramienta informática para la EIA en nuestro país? Mencione todo aquello que conozca.

→ *Existe un SOFTWARE en Cienfuegos al cual no se ha evaluado por parte del equipo de trabajo y los valores de los valores se tienen que por ser tan sencillos no se utilizan.*

Según la definición de Estudio de Impacto Ambiental (EstIA) y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que usted conoce, emita su criterio al respecto de cada uno de ellos.

**EslA:**  
 Forma parte de la evaluación de Impacto Ambiental y está condicionado por la Unidad de Medio Ambiente del territorio a partir de la Solicitud de Lic. Ambiental. Aquí se analiza a profundidad el proyecto y los datos que ocasiona el mismo al medio que lo circunda.

**EIA:**  
 Es el proceso general donde se analiza el proyecto que se implementará en un sitio determinado y tiene dentro de este análisis la Sol. Lic. Ambiental y el estudio de Impacto Ambiental si es necesario o no realizarlo para este proyecto.

¿Qué cree usted sobre la herramienta que se pretende desarrollar?  
 Es muy buena idea y como se indica, es una herramienta que mejora el proceso evaluativo de los impactos ambientales, ayudando al evaluador a economizar tiempo y decisiones.

Según la clasificación que se da en la siguiente tabla, agregue aquellos factores ambientales que considere necesarios a tener en cuenta en la EIA.

Sistema	Factor
Medio Físico	Aire
	Geología
	Geomorfología
	Geotecnia
	Suelo
	Agua
	Flora
	Fauna
	Paisaje
	Clima -
Medio Socioeconómico	Población
	Economía
	Infraestructura Urbana
Patrimonio Cultural	Patrimonio Histórico Cultural
	(Arqueología)

Figura 1.3. Cuestionario en la Unidad de Pinar del Río

Nombre y Apellidos: *Odalis C. Moreno González*  
 Institución a la que pertenece: *UIC. EUIA ZIRAR del L'U*  
 Profesión: *Ing. Geóloga*  
 Cargo: *Especialista A Proyectos de Ingeniería.  
Equipo de Estudios Ambientales.*

Se pretende realizar un software para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa 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. Un impacto ambiental viene identificado por el efecto de una acción simple sobre un factor ambiental y ambos elementos, acción y factor, deben quedar explícitos en la definición que se haga de impacto ambiental.

Los organismos competentes de las Directivas CEE de la Unión Europea 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

Generalmente, los proyectos transcurren por una serie de fases, mencione las más generales (aquellas que siempre están presentes en todo tipo de proyectos).

*Factibilidad,  
Construcción,  
Explotación,  
Cierre*

¿Conoce usted de la existencia de alguna herramienta informática para la EIA en nuestro país? Mencione todo aquello que conozca.

*No*

Según la definición de Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que usted conoce, emita su criterio al respecto de cada uno de ellos.

**EslA:**  
*Estudio de carácter interdisciplinario que se refiere a un proyecto, identifica, valora y evalúa los posibles impactos ambientales a generar, además de crear un plan de medidas para minimizarlos*

**EIA:**  
*Procedimiento jurídico administrativo, que se inicia con la EPA por parte de la autoridad competente, y culmina con la aprobación y ejecución de la medida, por la UHA una vez ratificado el EslA.*

¿Qué cree usted sobre la herramienta que se pretende desarrollar?

*La herramienta a desarrollar sería de gran ayuda para la identificación, valoración y evaluación de los impactos, además de agilizar el trabajo de gabinete.*

Según la clasificación que se da en la siguiente tabla, agregue aquellos factores ambientales que considere necesarios a tener en cuenta en la EIA.

Sistema	Factor
Medio Físico	Aire
	Geología
	Geomorfología
	Geotecnia
	Suelo
	Agua
	Flora
	Fauna
	Paisaje
Medio Socioeconómico	Población
	Economía
	Infraestructura Urbana
Patrimonio Cultural	Patrimonio Histórico Cultural

Figura 1.4. Cuestionario en la Unidad de Pinar del Río.

## Anexo 2: Patrones

```

@Override
public Alternativa clonar() {
    LinkedList<Accion> listaAcc = new LinkedList<Accion>();
    for (int i = 0; i < accionList.size(); i++) {
        Accion acc = accionList.get(i);
        Accion acc_clon = acc.clonar();
        listaAcc.add(acc_clon);
    }
    LinkedList<Factorambiental> listaFact = new LinkedList<Factorambiental>();
    for (int i = 0; i < factorambientalList.size(); i++) {
        Factorambiental fact = factorambientalList.get(i);
        Factorambiental fact_clon = fact.clonar();
        listaFact.add(fact_clon);
    }
    LinkedList<Impactoambiental> listaImp = new LinkedList<Impactoambiental>();
    for (int i = 0; i < impactoambientalList.size(); i++) {
        Impactoambiental imp = impactoambientalList.get(i);
        Impactoambiental imp_clonar = imp.clonar();
        Factorambiental factor = imp.getFactorambientalId();
        Accion accion = imp.getAccionId();
        listaImp.add(imp_clonar);
    }
    Alternativa alternativa = new Alternativa(nombre.concat("-copia"), listaAcc, listaFact, listaImp, costoTotal, proyectoId);
    alternativa.setId(null);
    return alternativa;
}

```

**Figura 2.1.** Funcionalidad encargada de duplicar una alternativa

```

package Control;

import javax.persistence.EntityManagerFactory;
import javax.persistence.Persistence;

/**
 *
 * @author Rene Alain
 */
public class Manager {

    private static EntityManagerFactory entityManagerFactory;

    public static EntityManagerFactory getFactory() {
        if (entityManagerFactory == null) {
            entityManagerFactory = Persistence.createEntityManagerFactory("EIA_ConstruccionPU");
        }
        return entityManagerFactory;
    }
}

```

**Figura 2.2.** Clase Manager

## Anexo 3: Casos de pruebas unitarias

Caso de prueba unitaria
<b>Camino:</b> 1
<b>Caso de prueba:</b> Existe la alternativa.
<b>Entrada:</b> Para un nombre válido de alternativa recibido por parámetro, y la lista alternativas con un elemento cuyo nombre coincide con el recibido por parámetro.
<b>Resultado:</b> Se devuelve la variable ok en true.
<b>Condiciones:</b> -

Tabla 3.1. Caso de prueba para el camino 1.

```

408     @Test
409     public void testExisteAlternativa() {
410         System.out.println("existeAlternativa");
411         String nombre = "1";
412         ProyectoJpaController proy = new ProyectoJpaController(Manager.getFactory());
413         Proyecto instance = proy.findProyecto(8);
414         boolean expectedResult = true;
415         boolean result = instance.existeAlternativa(nombre);
416         assertEquals(expectedResult, result);
417     }
418
419 }

```

The screenshot shows the IDE's Test Results window for 'Modelo.ProyectoTest'. The progress bar indicates 3,45% completion. The test results are as follows:

- testGetAlternativaList FAILED: The test case is a prototype.
- testSetAlternativaList FAILED: The test case is a prototype.
- testHashCode FAILED: The test case is a prototype.
- testEquals FAILED: The test case is a prototype.
- testToString FAILED: expected: <[]> but was: <[Modelo.Proyecto[ id=null ]]>
- testExisteAlternativa passed (3,354 s)
- testAlternativaMejor caused an ERROR: java.lang.NullPointerException

The right-hand pane shows the class hierarchy: hashCode, equals, toString, existeAlternativa, [EL Info]: 2013-06, [EL Info]: 2013-06, [EL Info]: 2013-06, and AlternativaMejor.

Figura 3.1. Prueba unitaria realizada al camino 1.

Caso de prueba unitaria
<b>Camino:2</b>
<b>Caso de prueba:</b> No existe la alternativa.
<b>Entrada:</b> Para un nombre válido de alternativa recibido por parámetro, y la lista alternativas con un conjunto de elementos cuyos nombres son diferentes al recibido por parámetro.
<b>Resultado:</b> Se devuelve la variable ok en false.
<b>Condiciones:</b> -

**Tabla 3.2.** Caso de prueba para el camino 2.

```

408     @Test
409     public void testExisteAlternativa() {
410         System.out.println("existeAlternativa");
411         String nombre = "6";
412         ProyectoJpaController proy = new ProyectoJpaController(Manager.getFactory());
413         Proyecto instance = proy.findProyecto(8);
414         boolean expResult = false;
415         boolean result = instance.existeAlternativa(nombre);
416         assertEquals(expResult, result);
417     }

```

The screenshot shows the IDE's Test Results window for 'Modelo.ProyectoTest'. The progress bar indicates 3,45% completion. The test results are as follows:

Test Name	Status	Message
testGetAlternativaList	FAILED	THE test case is a prototype.
testSetAlternativaList	FAILED	THE test case is a prototype.
testHashCode	FAILED	THE test case is a prototype.
testEquals	FAILED	THE test case is a prototype.
testToString	FAILED	expected: <[]> but was: <[Modelo.Proyecto[id=null]]>
testExisteAlternativa	passed	(3,685 s)
testAlternativaMejor	caused an ERROR	java.lang.NullPointerException

The right-hand pane shows the stack trace for the failed tests, including methods like equals, toString, existeAlternativa, and AlternativaMejor, with timestamps from 2013-06-06.

**Figura 3.2.** Prueba unitaria realizada al camino 2.

Caso de prueba unitaria
<b>Camino:</b> 3
<b>Caso de prueba:</b> No hay elementos por recorrer.
<b>Entrada:</b> Para un nombre válido de alternativa recibido por parámetro, y la lista alternativas sin ningún elemento por recorrer.
<b>Resultado:</b> Se devuelve la variable ok en false.
<b>Condiciones:</b>

**Tabla 3.3.** Caso de prueba para el camino 3.

```

409     @Test
410     public void testExisteAlternativa() {
411         System.out.println("existeAlternativa");
412         String nombre = "6";
413         ProyectoJpaController proy = new ProyectoJpaController(Manager.getFactory());
414         Proyecto instance = proy.findProyecto(8);
415         instance.setAlternativaList(new LinkedList<Alternativa>());
416         boolean expectedResult = false;
417         boolean result = instance.existeAlternativa(nombre);
418         assertEquals(expectedResult, result);
419     }

```

The screenshot shows the Test Results window for 'Modelo.ProyectoTest'. The progress bar indicates 3,45% completion. The test results are as follows:

- testGetAlternativaList FAILED: The test case is a prototype.
- testSetAlternativaList FAILED: The test case is a prototype.
- testHashCode FAILED: The test case is a prototype.
- testEquals FAILED: The test case is a prototype.
- testToString FAILED: expected: <[]> but was: <[Modelo.Proyecto[id=null]]>
- testExisteAlternativa passed (3,327 s)
- testAlternativaMejor caused an ERROR: java.lang.NullPointerException

The Output window shows the following text:

```

equals
toString
existeAlternativa
[EL Info]: 2013-06
[EL Info]: 2013-06
[EL Info]: 2013-06
AlternativaMejor

```

**Figura 3.3** Prueba unitaria realizada al camino 3.

**Anexo 4: Casos de pruebas de aceptación**

Se muestran dos casos de pruebas realizados en cada iteración:

**Iteración 1**

<b>Caso de prueba aceptación</b>	
<b>Código:</b> P1	<b>Requerimiento funcional:</b> Agregar especialista
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para agregar los especialistas que trabajaran en los EsIA.	
<b>Condiciones de Ejecución:</b> Debe mostrar un formulario que permita llenar los datos necesarios del especialista.	
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> El usuario selecciona la opción Especialista desglosándose un submenú con la opción Nuevo. Al seleccionar dicha opción se debe mostrar un ventana para introducir los siguientes datos del especialista: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre.</li> <li>• Cargo.</li> </ul> Y la opción Aceptar.	
<b>Resultado Esperado:</b> Una vez introducidos los datos correctamente y seleccionado la opción Aceptar se agrega el especialista. Para comprobar puede acceder a la opción Especialistas de la empresa, que permite ver todos los especialistas que hayan sido introducidos.	
<b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.	

**Tabla 4.1.** Caso de prueba P1.

<b>Caso de prueba aceptación</b>	
<b>Código:</b> P6	<b>Requerimiento funcional:</b> Consultar proyectos existentes.
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para buscar los proyectos que se le han realizado EsIA.	

<p><b>Condiciones de Ejecución:</b></p> <p>Debe haberse creado con anterioridad un proyecto, de lo contrario se le muestra el siguiente mensaje: “No existe ningún proyecto”.</p>
<p><b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b></p> <p>El usuario selecciona la opción Proyecto, desglosándose un submenú con la opción Buscar. Una vez seleccionada dicha opción se debe mostrar una ventana con los campos siguientes para filtrar la búsqueda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre</li> <li>• Tipo</li> <li>• Fecha</li> </ul> <p>En caso que desee buscar todos los proyectos, solo tiene que seleccionar la opción Buscar, sin tener que llenar los campos anteriores.</p>
<p><b>Resultado Esperado:</b> Una vez llenado correctamente los campos para realizar la búsqueda se muestra la lista de los proyectos que coinciden con dichos campos.</p>
<p><b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.</p>

**Tabla 4.2.** Caso de prueba P6.

## Iteración 2

Caso de prueba aceptación	
<b>Código:</b> P23	<b>Requerimiento funcional:</b> Duplicar alternativa.
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para duplicar una alternativa.	
<b>Condiciones de Ejecución:</b> Debe haberse creado un proyecto con al menos una alternativa para poder duplicarla.	
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> El usuario selecciona la opción Modificar Proyecto y se muestra una ventana con todos los datos referentes al mismo y sus alternativas. Se selecciona la alternativa y se permite mediante la opción Duplicar hacer una copia de la misma.	
<b>Resultado Esperado:</b> La alternativa duplicada debe aparecer debajo de la que le dio origen, con el mismo nombre seguido de la palabra copia, para que el usuario pueda	

diferenciarlas.
<b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.

Tabla 4.3. Caso de prueba P23.

Caso de prueba aceptación	
<b>Código:</b> P25	<b>Requerimiento funcional:</b> Depurar el conjunto de impactos.
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para depurar el conjunto de impactos ambientales.	
<b>Condiciones de Ejecución:</b> Debe haberse creado con anterioridad como mínimo un impacto ambiental.	
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> El usuario selecciona una alternativa de un proyecto dado y selecciona la opción Ver, mostrándose una ventana con todos los datos referentes a la misma y una lista de los impactos ambientales. Se selecciona la opción Depurar impactos y se muestra una ventana con dicha lista de impactos ambientales anteriores y las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El campo: Rango de importancia Mínimo y Máximo que permite depurar todos los impactos que no estén en dicho rango.</li> <li>• La opción Eliminar: Permite eliminar uno a uno los impactos que desee depurar.</li> </ul>	
<b>Resultado Esperado:</b> Una vez seleccionada la opción Depurar Impactos se eliminan de la lista inicial los impactos ambientales que cumplan con el rango de importancia escrito.	
<b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.	

Tabla 4.4. Caso de prueba P25.

### Iteración 3

Caso de prueba aceptación	
<b>Código:</b> P33	<b>Requerimiento funcional:</b> Valorar económicamente alternativa.
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para realizar el Análisis Costo-Beneficio.	

<b>Condiciones de Ejecución:</b> Se debe mostrar una ventana con las tablas de los impactos que se tienen en cuenta para dicho análisis. Para ello debe haberse creado una alternativa de proyecto y sus impactos ambientales.
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> Una vez mostrada la lista de alternativas se selecciona la opción Ver, lo que muestra un ventana con todos los datos referentes a la misma. Luego se brinda la posibilidad de seleccionar la opción Análisis C-B, desglosándose un submenú con el nombre Análisis Costo-Beneficio, mostrando una ventana con las tablas de los impactos que se tienen en cuenta para realizar el análisis, y se brinda la posibilidad de seleccionar la opción Análisis Costo-Beneficio.
<b>Resultado Esperado:</b> Una vez seleccionado la opción Análisis costos-beneficios se muestra el índice costo-beneficio de la alternativa.
<b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.

Tabla 4.5. Caso de prueba P30.

Caso de prueba aceptación	
<b>Código:</b> 34	<b>Requerimiento funcional:</b> Valorar proyecto.
<b>Descripción:</b> Prueba de funcionalidad para ordenar las alternativas de un proyecto de acuerdo a varios criterios.	
<b>Condiciones de Ejecución:</b> Se debe haber creado con anterioridad como mínimo un proyecto y sus alternativas.	
<b>Entrada/Pasos de Ejecución:</b> El usuario selecciona la opción Proyecto, desglosándose un submenú con la opción Valorar alternativas. Una vez seleccionada se debe mostrar una ventana con la lista de los especialistas que trabajaron en el EsIA, la posibilidad de asignar un valor de importancia a siete criterios de decisión y la opción Valorar.	
<b>Resultado Esperado:</b> Debe mostrarse la alternativa más acorde a las preferencias de los especialistas.	
<b>Evaluación de la Prueba:</b> Satisfactoria.	

Tabla 4.6. Caso de prueba P31.

**Anexo 5: Prueba del caso de estudio: EsIA “Las Ánimas”****EsIA-MANUAL**

Se presenta una parte del Estudio de Impacto Ambiental “Las Ánimas”:

Dicho EsIA se realiza a solicitud de la Empresa de Servicios Ingenieros Hidráulicos de Camagüey (ESIHC). Fue llevado a cabo por la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) adscrita al MICONS, debidamente acreditada ante el CICA.

**I. Nombre del proyecto**

Sistemas de acueducto y alcantarillado, colector principal, estación de bombeo y laguna facultativa zona de nuevo desarrollo “Las Ánimas”.

**II. Costo de inversión**

457.02N

**III. Nombre, grado científico y cargo de los especialistas**

<b>Especialistas</b>	<b>Cargo</b>
MSc. Humberto J. Antúnez Batista Movimiento de tierra	Director de Proyecto Medio Ambiente. Pro-Ambiente UIC Camagüey.
MSc. Dagmar Rivera Carr.	Esp. A en Proyecto e Ingeniería. Pro-Ambiente UIC Camagüey. Coordinador del Proyecto.
Arq. Brandon Fernández Madruga	Esp. B en Proyecto e Ingeniería. Pro-Ambiente UIC Camagüey.
Ing. Francisco Rodríguez Elías	Esp. A. Proyecto e Ingeniería. Pro-Ambiente UIC Camagüey.
MSc. Idania Martínez Santos	Especialista en Ecología y Sistemática Licenciada en Biología.
MSc. Roberto Aroche	Especialista en Meteorología.
Lic. Dulce Estrada	Licenciada en Geografía.
Lic. Miriam Romero Nasiff	Jefe de la Consultoría Pro-Ambiente.

**Tabla 5.1.** Especialistas que trabajaron en el EsIA “Las Ánimas”.

#### IV. Identificación y análisis de impactos ambientales

##### IV.1 Factores Ambientales

Geología, Geomorfología y Geotecnia.

Hidrología superficial y subterránea.

Suelo.

Flora y vegetación.

Paisaje.

Fauna

Calidad del aire y ruido.

Medio socioeconómico y cultural.

##### IV.2. Acciones del Proyecto

Etapa de Construcción	Etapa de Operación
a. Desbroce y deforestación.	h. Llenado y vaciado de la laguna.
b. Movimiento de tierra	i. Infiltración de efluentes.
c. Perforación de pozos (calas).	
d. Circulación de vehículos y equipos.	
e. Vertido accidental de combustible y lubricantes.	
f. Ocupación espacial.	
g. Excavaciones (zanjas, estación de bombeo y laguna).	

**Tabla 5.2.** Acciones de la alternativa del proyecto.

##### IV.3. Identificación de Impactos Ambientales<sup>19</sup>

1. Incremento de los procesos erosivos (desbroce, deforestación, movimiento de tierra y excavación).
2. Transformación del relieve original (desbroce, movimiento de tierra y excavación).
3. Alteración del drenaje superficial (desbroce, deforestación, movimiento de tierra y excavación).
4. Cambio de uso de la tierra.

<sup>19</sup> Se muestran 10 impactos ambientales que se identificaron en el EsIA de un total de 21.

5. Muerte y sustitución de especies vegetales y destrucción de las formaciones vegetales existentes (desbroce, deforestación, movimiento de tierra y excavación).
6. Contaminación del suelo y el agua (vertimientos ocasionales de residuales sólidos, líquidos, hidrocarburos y materiales de construcción).
7. Incremento de los riesgos por accidentes (laborales y de tránsito).
8. Aumento de los niveles de ruido (laboreo de equipos).
9. Contaminación atmosférica (polvos y gases de combustión durante la construcción).
10. Mejoras de la salud humana y la calidad de vida al crearse los sistemas de acueducto, alcantarillado y de tratamiento de residuales albañales.

#### IV.4. Matrices de identificación y valoración de impactos

Factores ambientales y socioeconómicos	Acciones en la etapa de:								
	Construcción						Operación		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Geología, Geomorfología y Geotecnia.	1 2 3				6				
Hidrología superficial y subterránea.									
Suelo						4			
Flora y vegetación.				5					
Fauna.									
Paisaje.									
Calidad del aire y ruido.			8				9		
Medio socioeconómico y cultural		7						10	

**Tabla 5.3.** Matriz de identificación de impactos.

Etapa	No. de Impacto	Criterios <sup>20</sup> de Valoración												
		NA	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR	IM	C
	1	-	4	4	2	2	4	4	4	4	4	2	<b>46</b>	M
	2	-	4	2	2	4	4	4	4	8	4	4	<b>50</b>	M

<sup>20</sup> Los criterios de valoración o atributos se explican en el epígrafe 2.1.3.

3	-	4	4	2	4	4	4	4	8	4	4	<b>54</b>	S
4	+	4	8	2	4	4	2	4	8	4	4	<b>60</b>	S
5	-	2	4	2	2	4	4	1	2	2	1	<b>32</b>	M
6	-	1	1	2	2	4	4	1	2	2	2	<b>24</b>	CO
7	-	1	2	2	2	4	4	1	1	1	1	<b>23</b>	CO
8	-	1	1	2	4	4	4	1	4	2	4	<b>27</b>	M
9	-	1	2	2	2	4	4	1	1	1	1	<b>23</b>	CO
10	+	8	8	2	4	4	2	4	1	1	4	<b>62</b>	S

**Tabla 5.4.** Matriz de valoración de impactos.

Carácter del Impacto ( C )		Naturaleza del Impacto ( NA )	Total
Compatible	(CO)	Negativo (-)	3
Moderado	(M)	Negativo (-)	4
Severo	(S)	Negativo (-)	1
Crítico	(C)	Negativo (-)	0
		Positivo (+)	2
		Difícil de clasificar (x)	0
<b>Total</b>			<b>10</b>

**Tabla 5.5.** Clasificación del Impacto.

### EsIA-SOFTWARE SIAEIA

A continuación se presenta dicha información a través del SIAEIA:

En la siguiente interfaz de usuario se puede observar que se han introducido los datos del estudio en cuestión. El nombre del proyecto, el inversor del proyecto (es decir el que solicita el EsIA), el ejecutor del EsIA (en este caso es la Consultoría Ambiental Pro-Ambiente de la ENIA), las coordenadas<sup>21</sup> que ubican al proyecto, los especialistas que trabajan en el EsIA, el monto inicial de inversión y la fecha de realización, que en este ejemplo coincide con el día en que se introdujo los datos en el sistema. Se muestra la cantidad de alternativas de realización que tiene el proyecto y se brinda la opción de ver sus datos. Además se puede observar el menú con la opción de *valorar alternativas* (en caso que hubiera más de una) y de *generar el informe* del EsIA.

<sup>21</sup> Dato solicitado por el cliente

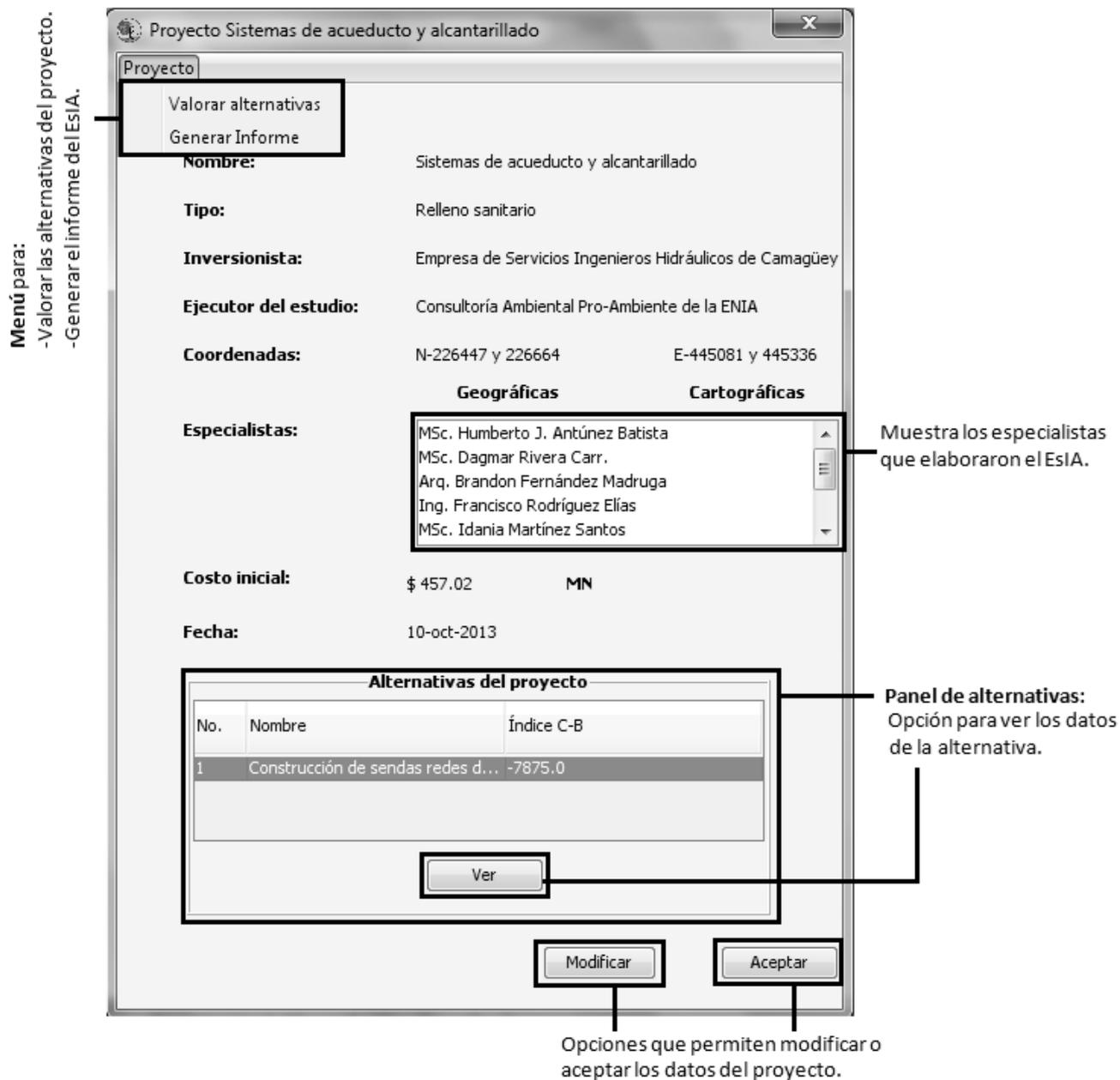


Figura 5.1. Datos de un proyecto en EsIA.

En la interfaz siguiente aparece la lista de acciones por cada fase de la alternativa y la lista de factores ambientales posiblemente impactados. Debajo se muestra una tabla con los impactos ambientales y alguna información referente a estos como: el par acción-factor que le dio origen, la importancia (evaluación cualitativa) y por ende su carácter. Se puede apreciar que la importancia y el carácter de los impactos ambientales computados en el SIAEIA coinciden con el de la tabla 5.4 del EsIA-MANUAL. Se brinda un menú con la posibilidad de ver diferentes clasificaciones de impactos ambientales que organizan el trabajo para la corrección de impactos.

**Menú que permite:**  
-Ver los diferentes tipos de impacto.

**Panel con las acciones del proyecto por fase.**

**Factores del medio**

- Sistema Medio físico
  - Geología, Geomorfología y Geotecnia (100)
  - Hidrología superficial y subterránea (200)
  - Suelo (200)
  - Flora y vegetación (100)
  - Paisaje (100)
  - Fauna (100)
  - Calidad del aire y ruido (100)
  - Clima
- Sistema Medio socioeconómico
  - Factores socioeconómico y cultural (100)

**Impactos ambientales**

No.	Nombre	Acción	Factor	Importancia	Carácter
1	Incremento de los proceso...	Desbroce y desforestación	Geología, Geomorfología y...	-46	Moderado
2	Transformación del relieve...	Desbroce y desforestación	Geología, Geomorfología y...	-50	Moderado
3	Alteración del drenaje sup...	Desbroce y desforestación	Geología, Geomorfología y...	-54	Severo
4	Cambio de uso de la tierra	Ocupación espacial	Fauna	60	Severo
5	Muerte y sustitución de es...	Circulación de vehículos y ...	Flora y vegetación	-32	Moderado
6	Contaminación del suelo y ...	Vertido accidental de com...	Paisaje	-27	Moderado
7	Incremento de los riesgos ...	Movimiento de tierra	Hidrología superficial y sub...	-23	Compatible
8	Aumento de los niveles de...	Perforación de pozos (calas)	Suelo	-27	Moderado
9	Contaminación atmosféric...	Excavaciones (zanjas, est...	Calidad del aire y ruido	-23	Compatible
10	Mejoras de la salud human...	Llenado y vaciado de la la...	Factores socioeconómico ...	62	Severo

**Panel con los factores ambientales y su respectivo peso.**

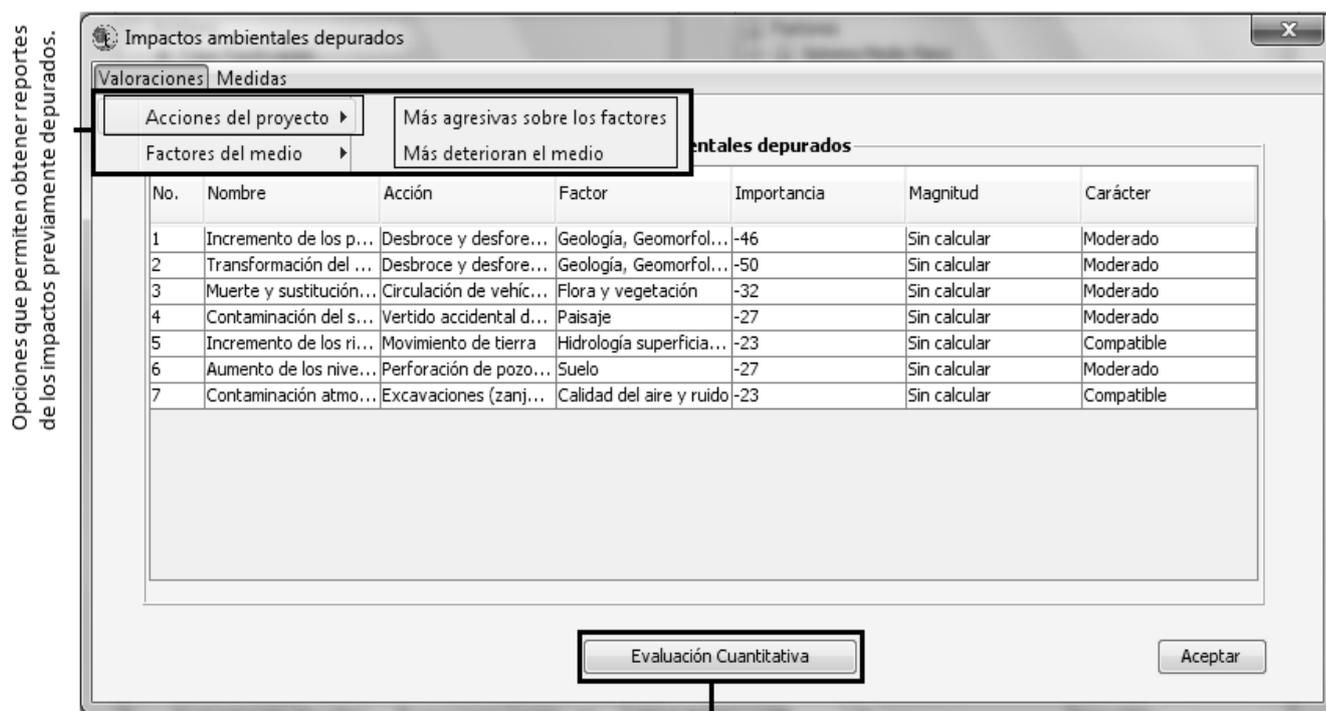
**Panel con los impactos ambientales:**  
-Muestra la relación acción-factor que le dio origen.  
-Muestra la importancia y carácter de cada impacto.

**Opción que permite realizar operaciones sobre impactos determinados impactos.**

**Opciones que permiten modificar o aceptar los datos de la alternativa.**

Figura 5.2. Datos de una alternativa de proyecto.

Las interfaz siguiente muestran primeramente una lista de los impactos que han sido depurados y se brinda la posibilidad de obtener reportes a partir de lo descrito en el epígrafe 2.1.3.5 (Valoración relativa) y 2.1.3.6 (Valoración absoluta). La opción *medidas* del menú permite corregir estos impactos mediante la implantación de un plan de medidas, ver figura 5.4.



Muestra la interfaz (ventana) para realizar la evaluación cuantitativa de los impactos ambientales.

**Figura 5.3.** Impactos ambientales depurados.

Una vez seleccionada la opción *medidas*, se brinda la posibilidad de introducir por cada impacto varias medidas, con su costo asociado y su influencia, aspecto que indica cuanto cubre o mitiga la medida el daño ocasionado por el impacto. Luego se permite modificar o eliminar el plan diseñado.

Corregir impactos depurados

**Impactos ambientales depurados**

No.	Nombre	Acción	Factor	Importancia	Carácter	Costo \$(MN)
1	Incremento de los ...	Desbroce y desfor...	Geología, Geomorf...	-46	Moderado	3450.0
2	Transformación del...	Desbroce y desfor...	Geología, Geomorf...	-50	Moderado	300.0
3	Muerte y sustitució...	Circulación de vehí...	Flora y vegetación	-32	Moderado	300.0
4	Contaminación del ...	Vertido accidental ...	Paisaje	-27	Moderado	3800.0
5	Incremento de los ...	Movimiento de tierra	Hidrología superfici...	-23	Compatible	300.0
6	Aumento de					0.0
7	Contamina					0.0

**Modificar medida**

Nombre:

Costo: \$   MN  CUC

Influencia en el impacto:

Parcialmente  Totalmente

Cancelar Aceptar

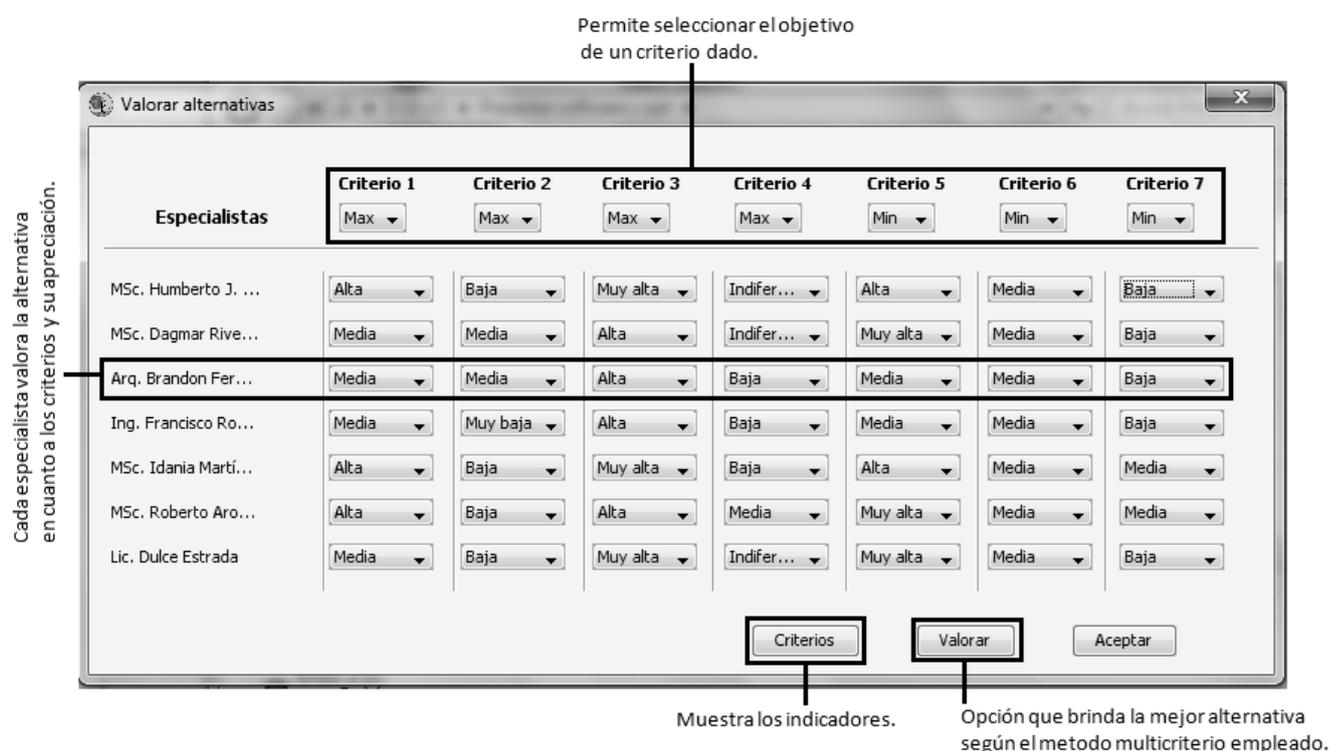
No.Imp	Medi		
1	Prote		
1	Resp		
2	Evita		
3	Resp		
4	Cumplir con los mantenimientos planific...	3800.0	Totalmente
5	Señalizar adecuadamente en toda la zo...	300.0	Totalmente
6	Evitar el movimiento y tiempo de encen...	500.0	Totalmente
7	Evitar la utilización innecesaria de equi...	500.0	Parcialmente

Agregar Modificar Eliminar

Aceptar

**Figura 5.4.** Impactos ambientales depurados y sus medidas.

La interfaz siguiente permite a los especialistas que trabajaron en la confección del EsIA, valorar cada alternativa del proyecto de acuerdo a su apreciación en varios criterios pre-establecidos (indicadores) que fueron obtenidos a lo largo del desarrollo del EsIA. A cada criterio se le asocia una función objetivo, en dependencia si el interés es maximizar o minimizar el comportamiento de ese indicador. La opción valorar muestra la alternativa que mejor cumple con los requisitos previamente seleccionados por los especialistas.



**Figura 5.5.** Valorar alternativas de un proyecto.

Anexo 6: Modelo de Dominio

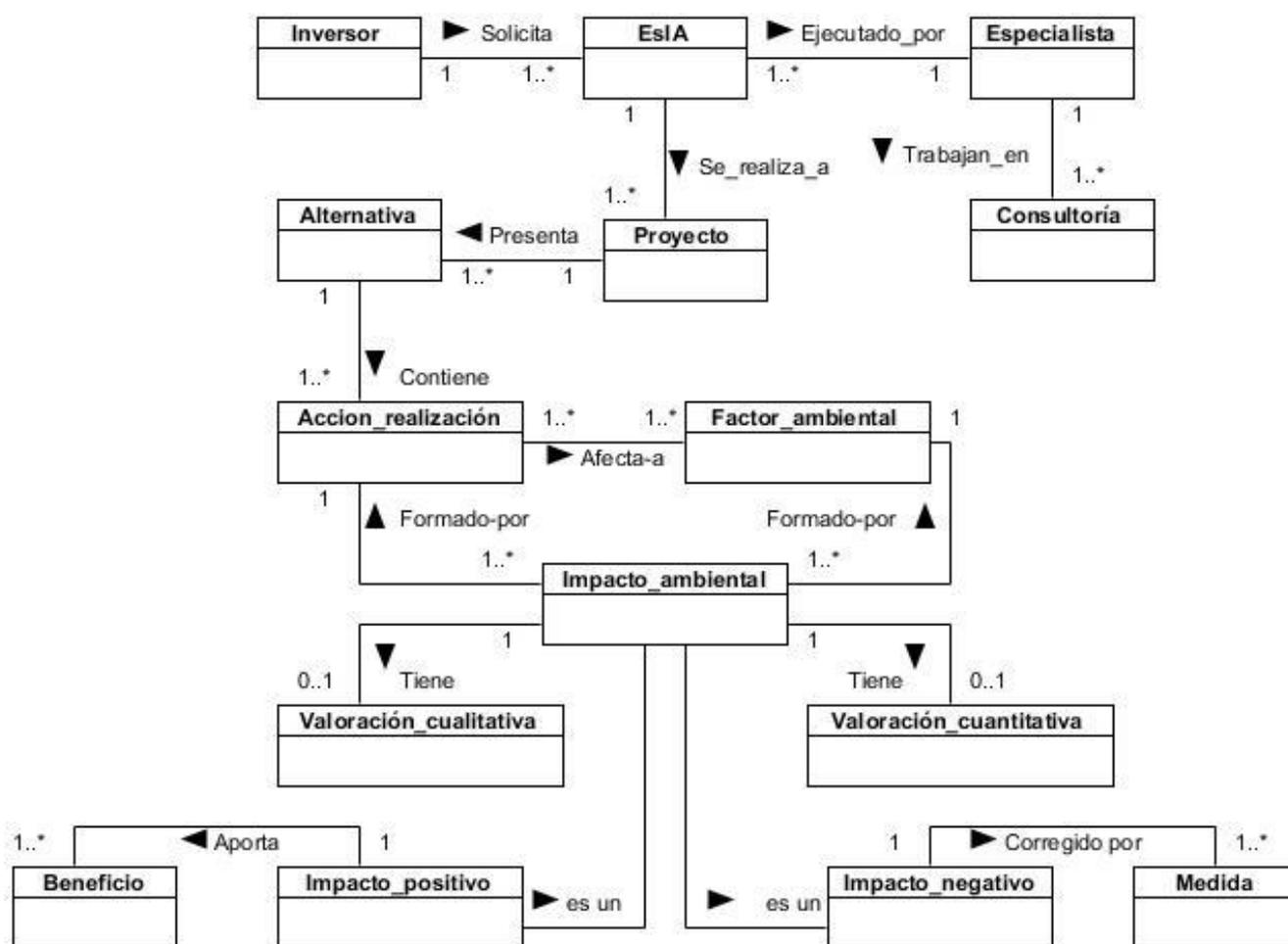


Figura 6.1. Diagrama del Modelo de Dominio.

Anexo 7: Diagrama de Casos de Uso del Sistema

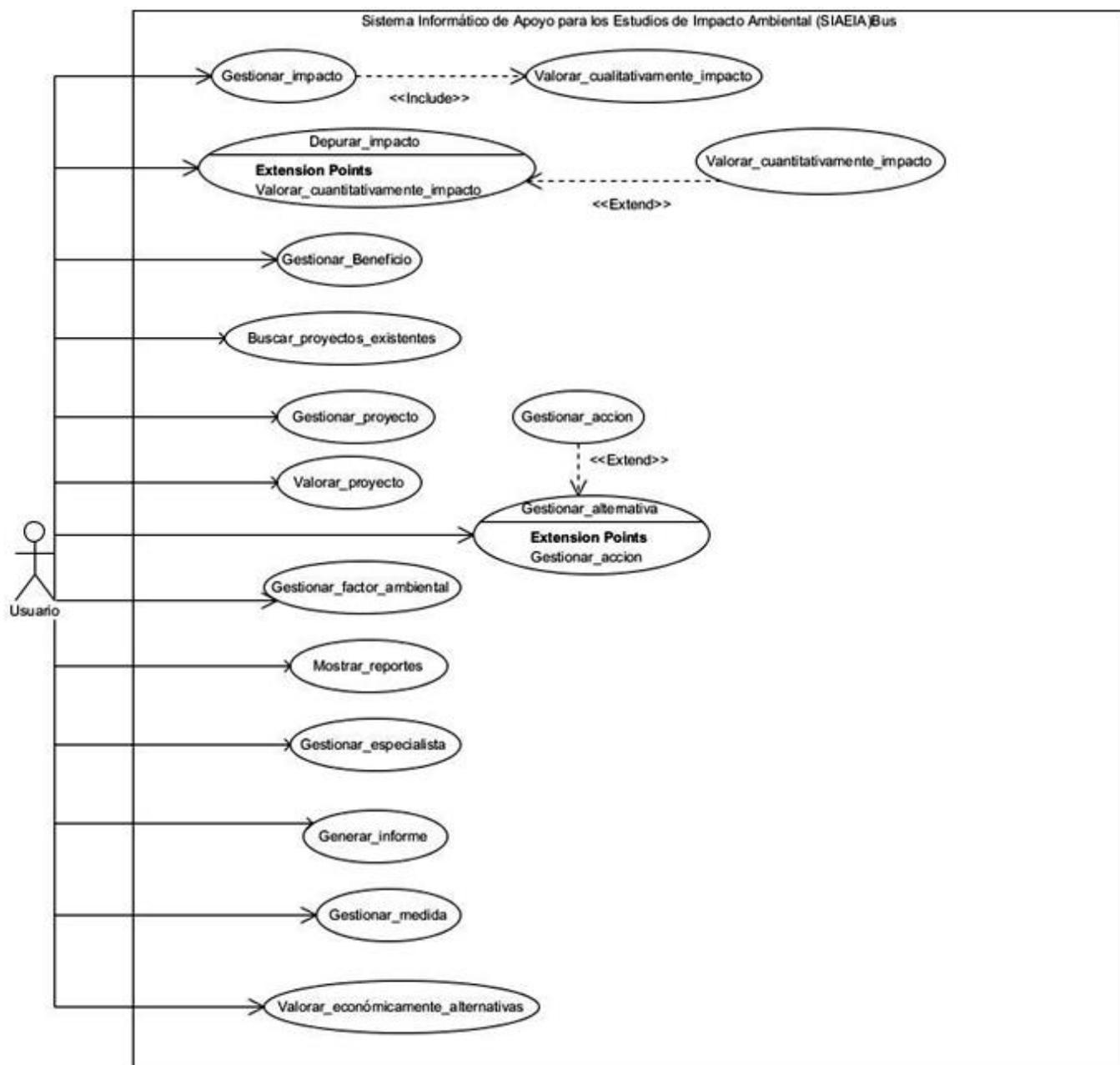


Figura 7.1. Diagrama de Casos de Uso del Sistema.



Anexo 9: Modelo de datos

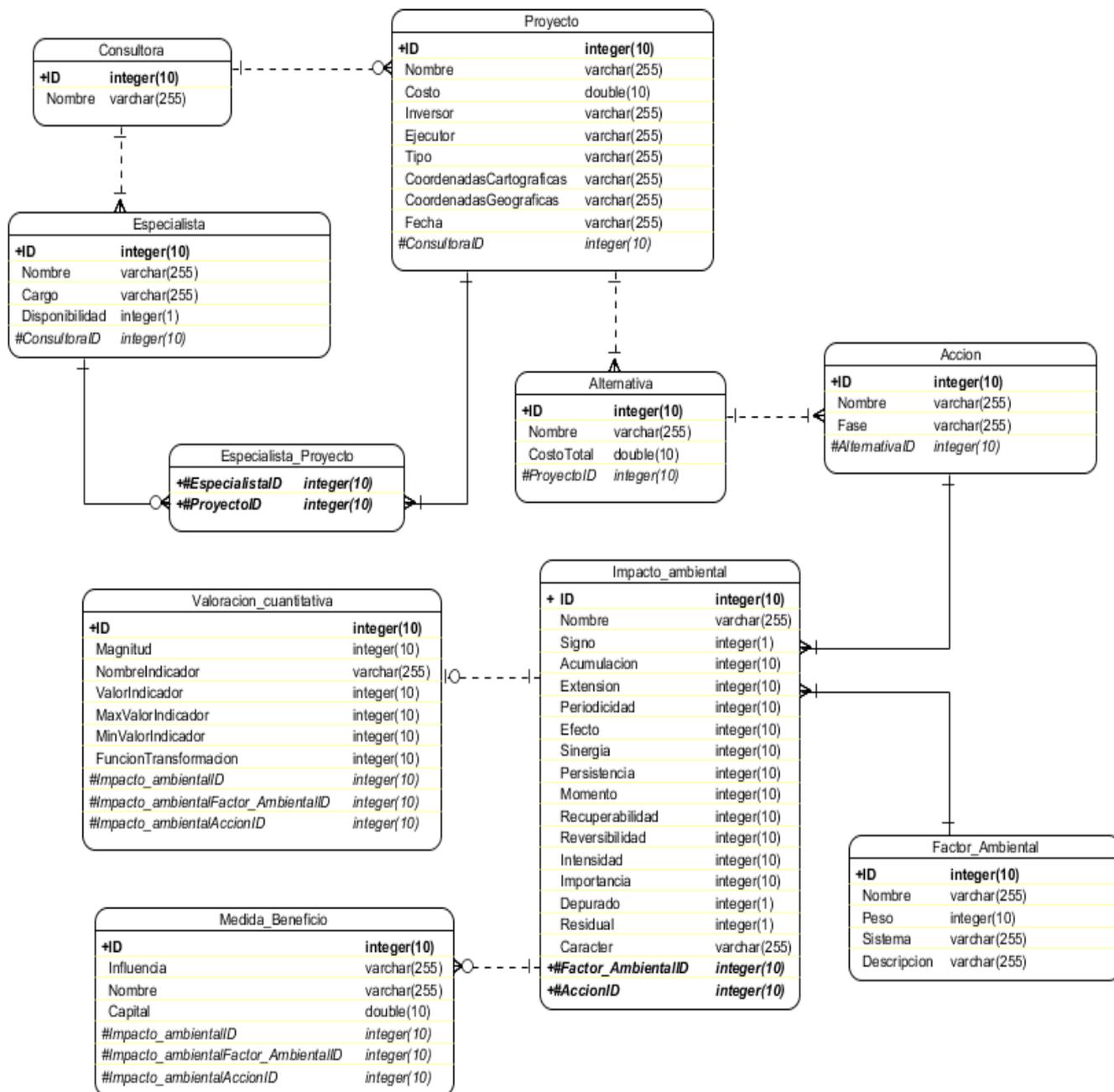


Figura 9.1. Diagrama Entidad-Relación.

**Anexo 10: Caracterización de los atributos cualitativos**

<b>Símbolo</b>	<b>Denominación y significado</b>	<b>Clasificación de los atributos</b>
<b>NA</b>	<p><b>Naturaleza del Impacto</b> (Efecto beneficioso, perjudicial o difícil de cualificar). Se refiere al efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que van a incidir sobre los factores considerados. En casos específicos puede aplicarse un tercer carácter como previsible (difícil de cualificar o sin estudios específicos), que reflejarán efectos cambiantes difíciles de predecir o efectos asociados a circunstancias externas al proyecto, cuya naturaleza (beneficiosa o dañina) no puede precisarse sin un estudio global de las mismas.</p>	<p>(+) <b>Positivo</b> (Beneficioso) (-) <b>Negativo</b> (Dañino) (x) <b>Previsto</b> (Difícil de cualificar o sin estudios específicos)</p>
<b>I</b>	<p><b>Intensidad del impacto</b> (Grado de afectación) Representa la cuantía o el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en que actúa. El valor 1 corresponde a la afectación mínima del factor considerado; el valor 12 representa una destrucción casi total del factor en cuestión en caso de producirse el efecto; el resto de los valores reflejan situaciones intermedias.</p>	<p><b>1 Baja</b> <b>2 Media</b> <b>4 Alta</b> <b>8 Muy alta</b> <b>12 Total</b></p>
<b>EX</b>	<p><b>Extensión del impacto</b> (Área que será afectada) Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto).</p>	<p><b>1 Puntual</b> (la acción impactante causa un efecto muy localizado) <b>2 Parcial</b> (el efecto supone una incidencia apreciable en el medio). <b>4 Extenso</b> (el efecto se detecta en una gran parte del medio considerado)</p>

		<p><b>8 Total</b> (el efecto se manifiesta de forma generalizada en todo el entorno)</p> <p><b>+4 Crítico</b> (el impacto se produce en una situación crítica; característico de impactos puntuales; se atribuye un valor de 4 unidades por encima del que le correspondía)</p>
<p><b>SI</b></p>	<p><b>Sinergia</b> (Reforzamiento de dos o más efectos simples)</p> <p>Este criterio contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples, pudiéndose generar efectos sucesivos y relacionados que acentúan las consecuencias del impacto analizado.</p>	<p><b>1 No sinérgico</b> (cuando una acción actuando sobre un factor no incide en otras acciones que actúan sobre el mismo factor)</p> <p><b>2 Sinérgico</b> (presenta sinergismo moderado)</p> <p><b>4 Muy sinérgico</b> (el impacto es altamente sinérgico)</p>
<p><b>PE</b></p>	<p><b>Persistencia</b> (Permanencia del efecto)</p> <p>Refleja el tiempo en que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones previas a la acción por medios naturales o por la introducción de medidas correctoras.</p>	<p><b>1 Fugaz</b> (produce un efecto que dura menos de un año)</p> <p><b>2 Temporal</b> (el efecto persiste entre 1 y 10 años)</p> <p><b>4 Permanente</b> (el efecto tiene una duración superior a los 10 años)</p>
<p><b>EF</b></p>	<p><b>Efecto</b> (Relación Causa – Efecto)</p> <p>Representa la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción, o lo que</p>	<p><b>D Directo o primario</b> (su efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor)</p>

	es lo mismo, expresa la relación causa – efecto.	<p>ambiental, siendo la repercusión de la acción consecuencia directa de esta)</p> <p><b>I Indirecto o secundario</b> (su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden)</p>
<b>MO</b>	<p><b>Momento del impacto</b> (Plazo de manifestación)</p> <p>Alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor ambiental.</p>	<p><b>1 Largo plazo</b> (el efecto demora en manifestarse más de 5 años).</p> <p><b>2 Mediano plazo</b> (el período de tiempo varía de 1 a 5 años).</p> <p><b>4 Corto plazo</b> (el tiempo entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto es menor de 1 año)</p> <p><b>+4 Crítico</b> (si concurre alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se le adicionan 4 unidades)</p>
<b>AC</b>	<p><b>Acumulación</b> (Incremento progresivo)</p> <p>Este criterio o atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que</p>	<p><b>1 Simple</b> (es el impacto cuyo efecto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de</p>

	lo genera.	<p>acción es individualizado, sin consecuencia en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación, ni en la de su sinergia)</p> <p><b>4 Acumulativo</b> (es aquel efecto que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto)</p>
<b>MC</b>	<p><b>Recuperabilidad</b> (posibilidad de introducir medidas correctoras, protectoras y de recuperación)</p> <p>Se refiere a la posibilidad de reconstrucción total o parcial del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales (previas a la acción) por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras, protectoras o de recuperación).</p>	<p><b>1 Recuperable de inmediato</b></p> <p><b>2 Recuperable a mediano plazo</b></p> <p><b>4 Mitigable</b> (el efecto puede recuperarse parcialmente)</p> <p><b>8 Irrecuperable</b> (alteración imposible de recuperar, tanto por la acción natural como por la humana)</p>
<b>RV</b>	<p><b>Reversibilidad</b> (Posibilidad de regresar a las condiciones iniciales por medios naturales)</p> <p>Hace referencia al efecto en el que la alteración puede ser asimilado por el entorno (de forma medible, ya sea</p>	<p><b>1 Corto plazo</b> (retorno a las condiciones iniciales en menos de un año)</p> <p><b>2 Mediano plazo</b> (se</p>

	a corto, mediano o largo plazo) debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio; o lo que es lo mismo, la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.	4	recuperan las condiciones iniciales entre 1 y 10 años) <b>Irreversible</b> (imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a las condiciones iniciales, o hacerlo en un período mayor de 10 años)
<b>PR</b>	<b>Periodicidad</b> (Regularidad de manifestación del efecto) Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto de forma impredecible, de manera cíclica o recurrente o constante en el tiempo.	1 2 4	<b>Irregular</b> (el efecto se manifiesta de forma impredecible) <b>Periódica</b> (el efecto se manifiesta de manera cíclica o recurrente) <b>Continua</b> (efecto constante en el tiempo)

**Tabla 10.1.** Matriz de identificación de impactos.