

Conceptualización y desarrollo del Sistema de Información Soporte de Decisiones SIVT

El presente capítulo permite conceptualizar el Sistema de Información Soporte de Decisiones que se utiliza en el software desarrollado en el proyecto de investigación, el cual tiene como propósito determinar la vulnerabilidad de una población dada; adicionalmente, incluye las diferentes fases utilizadas en el proceso de construcción del SIVT, así como sus componentes y sus interrelaciones.

El sistema se implementó utilizando las fases de análisis, diseño, desarrollo y pruebas, teniendo en cuenta que para la identificación del índice de vulnerabilidad territorial se emplean modelos multicriterio; se buscó aplicar metodologías de desarrollo ágil, de manera tal que al realizar modificaciones, estas pudieran implementarse rápidamente. La metodología empleada en el desarrollo —además del conjunto de procedimientos y herramientas dirigidos a un correcto modelamiento— es un marco de trabajo de buenas prácticas para la etapa de construcción del software.

La metodología presenta cuatro fases: iniciación, elaboración, construcción y transición. El *modelamiento* de sistemas con base en los requerimientos se procesa en la primera fase. La *elaboración* es cuando se define formalmente la arquitectura de producto. De igual forma, en la fase de *construcción* se trabaja en la realización de un producto totalmente operativo y eficiente, acorde con los lineamientos y patrones definidos por el equipo de desarrolladores. Finalmente, la fase de *transición* realiza las pruebas finales del sistema y la documentación del mismo.

Como resultado de este proceso, se cuenta con un sistema de información (SIVT), el cual calcula el índice de vulnerabilidad territorial utilizando las dimensiones determinadas en el capítulo 1, los indicadores de estas dimensiones (determinados en el capítulo 3) y los datos suministrados en el capítulo 4 con relación a los casos de estudio del proyecto, los cuales son cargados en el sistema por uno de los actores. Además, a través de los modelos determinados en el capítulo 2 se calcula el indicador de vulnerabilidad territorial, generando las acciones de intervención en el territorio (definidas igualmente en el capítulo 3) a partir del grado de vulnerabilidad encontrado.

La conceptualización y desarrollo del Sistema de Información Soporte de Decisiones (SIVT) es el resultado del proyecto de investigación "Retrospectiva de las catástrofes naturales en Colombia como insumo para la construcción de un Sistema Soporte de Decisiones". Los resultados son producto del trabajo de investigación de los autores y de los estudiantes de trabajos de grado de Ingeniería de Sistemas, quienes formalizaron el levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales, y diagramaron bajo el estándar UML (por *Unified Modeling Language*), con la asesoría de los investigadores, los modelos arquitectural, dinámico, estático y de datos del sistema (ver referencias en la bibliografía de trabajos de grado).

Conceptualización del sistema

El SIVT suministra de manera fácil y predictiva los registros de las poblaciones seleccionadas y las simulaciones realizadas por los usuarios; está orientado a identificar el índice de vulnerabilidad territorial y las acciones para la prevención del riesgo y manejo de desastres que deben tomar los actores de decisión en las comunidades. En su elaboración se han tenido en cuenta los criterios de calidad asociados a la usabilidad y confiabilidad.

En el proceso de diseño del Sistema Soporte de Decisiones para la evaluación del riesgo fue utilizado un proceso metodológico realizado de la siguiente manera:

- a. Desde el punto de vista de diseño en ingeniería, el cual es concebido de este modo:

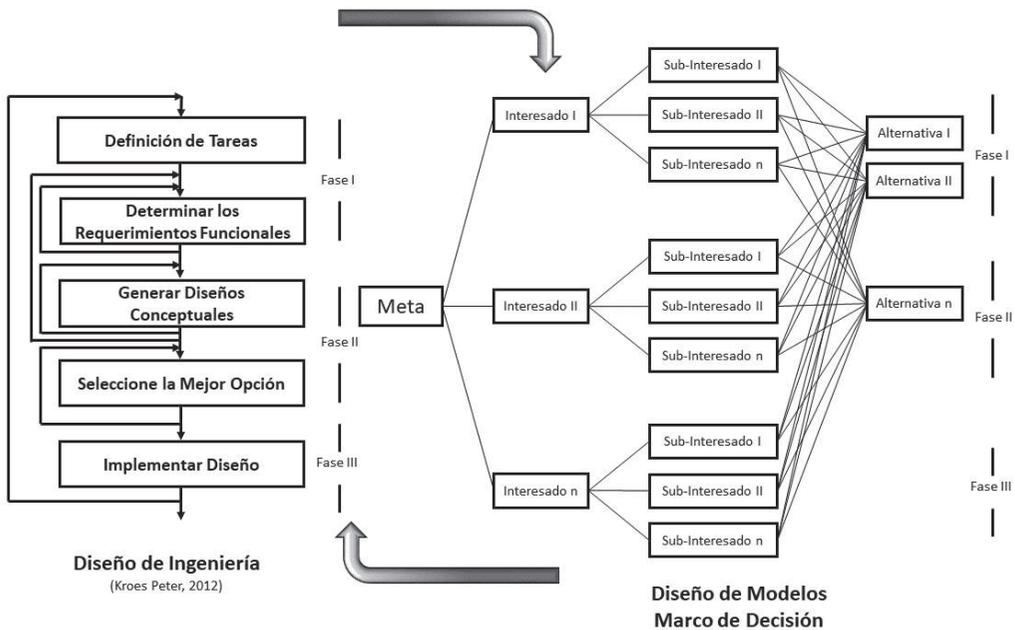
Process of devising a system, component, or process to meet desired needs. It is a decision-making process (often iterative), in which the basic science and mathematics and engineering sciences are applied to convert resources optimally to meet a stated objective. Among the fundamental elements of the design process are the establishment of objectives and criteria, synthesis, analysis, construction, testing and evaluation. (Kroes, 2012)

La mayoría de los modelos son variaciones del ciclo básico de análisis, síntesis y evaluación, como se puede observar en la figura 64.

- b. Establecimiento de los modelos aplicables a través de MCDA; esta metodología puede ser vista como un proceso no lineal recursivo que consta de cuatro pasos: 1) estructuración del problema de decisión, 2) articulación y modelación de las preferencias, 3) la agregación de las alternativas de evaluación (preferencias) y 4) la formulación de recomendaciones (Guitouni y Martel, 1998).

Los problemas MCDA se componen de un objetivo o meta, la persona o el grupo que toma la decisión, las diferentes alternativas, los criterios de evaluación (intereses) y los resultados o consecuencias asociadas con la combinación

Figura 64. Metodología del Sistema Soporte de Decisiones



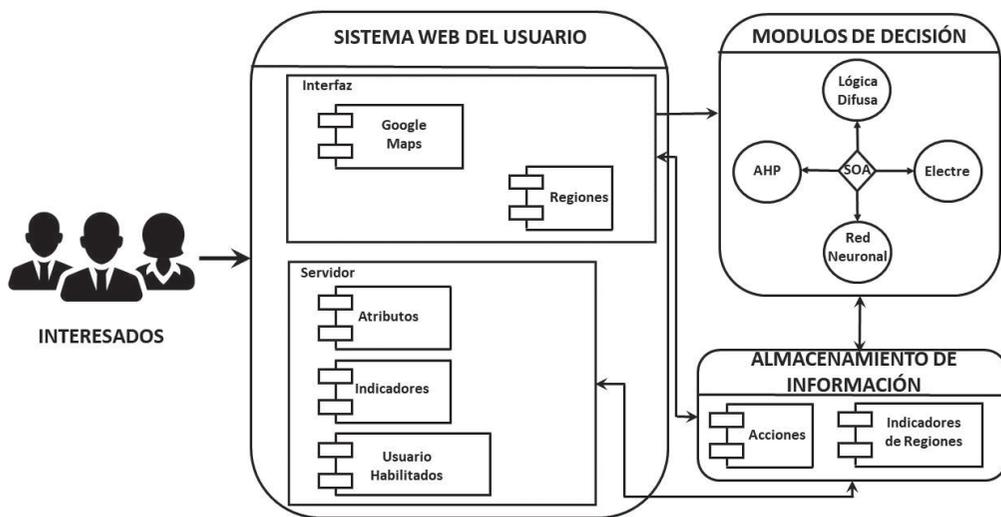
Fuente: autores.

de cada alternativa/interés (Hajkowicz y Higgins, 2008), lo cual permite construir el *framework* del proyecto (figura 65). Actualmente hay disponibles numerosas técnicas para dar el peso o la valoración a cada una de las opciones y los criterios, las cuales son utilizadas para resolver problemas MCDA (Figueira y Greco, 2005).

- c. El diseño de *software* se realizó mediante la metodología Scrum, la cual tiene un desarrollo ágil y está planteada sobre la creencia de que un acercamiento con la realidad humana y la realidad del desarrollo de productos basados en aprendizaje, innovación y cambio daría mejores resultados. Los principios del desarrollo ágil se enfocan en construir *software* que funcione y que se pueda usar rápidamente; adicionalmente, se centra en equipos multifuncionales con capacidad para decidir ellos mismos, como lo presenta la figura 65. La forma de desarrollo se realiza en ciclos de trabajo llamados *sprints*, iteraciones de una a cuatro semanas de duración que van ocurriendo una detrás de otra. Los *sprints* son de duración fija: terminan en una fecha específica, aunque no se haya finalizado el trabajo y nunca se alargan (Deemer et al., 2010).

El sistema se estructura bajo una arquitectura distribuida orientada a servicios (SOA) como se observa en la figura 65; se buscó dinamizar el sistema de acuerdo con los requerimientos de los actores de decisión y los usuarios de interés. La comunicación entre sus componentes de *software* utiliza el protocolo de acceso simple a objetos recomendado por la *World Wide Web Consortium* y la transferencia de datos e información es posible a través del protocolo

Figura 65. Arquitectura del sistema de información



Fuente: autores.

de transferencia de hipertexto. Este último está conformado por tres grandes componentes: *User web system* (front end y back end del sistema), *Information storage* (encargado de almacenar la base de datos con los indicadores y la información de los modelos) y *Modules decision* (que integran los diferentes modelos para la toma de decisiones).

User web system

Este módulo es responsable de facilitar la creación, edición y eliminación de usuarios de acuerdo con los perfiles establecidos; igualmente, permite la creación, edición y eliminación de grupos de atributos. El usuario puede seleccionar la población a partir de un listado, crear una nueva a partir la selección de coordenadas de longitud y latitud sobre el mapa, o asignar los valores si los conoce previamente. A través de un algoritmo, agrupa los puntos para encerrar una población (entre más puntos, más detallado será el grafo asociado a la población respectiva). El sistema relaciona los diferentes atributos de acuerdo con cada una de los aspectos del sistema territorial, con la población identificada, creada o seleccionada. El módulo está conformado por dos componentes:

- Front end:* accesible para cualquier usuario y presentado bajo un esquema en hoja de estilo cascada e integrado con la interfaz para el desarrollo de aplicaciones suministrada por Google. En este módulo se realiza la consulta del indicador de vulnerabilidad territorial para la población y del modelo de decisión seleccionado; el componente visualiza el indicador de vulnerabilidad y las acciones para la prevención del riesgo y manejo de desastres.

- b. *Back end*. Accesible únicamente al superadministrador del sistema, en el cual se pueden crear tipos de atributos de acuerdo con las dimensiones e información generada por la dinámica que se desarrolle en cada ente territorial; del mismo modo, solo el superadministrador puede crear, editar o eliminar los usuarios y perfiles según sean los requerimientos de los investigadores.

Debido a que la afectación puede involucrar a más de una población, el sistema permite seleccionar varias poblaciones o una región en el mapa y retorna las acciones o el indicador de vulnerabilidad para todo el territorio seleccionado. Del mismo modo, se puede almacenar el resultado de una simulación para visualizaciones futuras o para contrastes de la dinámica en una población.

Modules decision

Teniendo en cuenta que existen innumerables datos que se convierten en información para una región territorial en particular (p. e., índice de desarrollo humano, producto interno bruto, indicador de resiliencia, entre otros), es importante considerar que aunque todos son necesarios para el cálculo del indicador de vulnerabilidad territorial asociado a los aspectos territoriales preestablecidos, no se puede garantizar su totalidad dadas las limitaciones de información secundaria en algunas zonas del país; en consecuencia, se generan factores de decisión con campos vacíos.

Por tal motivo, el sistema se alimenta de modelos computacionales que trabajan con información parcial; cada sistema es independiente y, a su vez, un proveedor de servicio. Además, se comunica con los demás módulos a través de *Simple Object Access Protocol* (SOAP), lo cual permite la creación de nuevos modelos para la toma de decisiones o la integración de los existentes; sin embargo, depende de una conexión a internet para poder operar y acceder a todos los módulos.

Information storage

Este módulo es responsable del almacenamiento de la información, utiliza un método relacional normalizado de acuerdo con las entidades creadas en el sistema de indicadores, en el cual se pueden eliminar, crear o editar nuevas entidades y los atributos asociados desde el *back end*. Permite además el almacenamiento de campos nulos y crea los registros de llaves primarias automáticamente. Los datos se agrupan principalmente en *actions* y *town indicators*.

Metodología y atributos de calidad del sistema

El ciclo de vida del desarrollo de *software* lo comprenden las fases de análisis, diseño, desarrollo y pruebas. Teniendo en cuenta que para la identificación del índice de vulnerabilidad territorial se utilizan modelos multicriterio como son AHP, AHP Fuzzy, Promethee y Electre, se buscó aplicar metodologías de desarrollo ágil, de manera tal

que al realizar modificaciones fueran posibles de ejecutar en cuestión de meses. La metodología empleada en el desarrollo abarca, además de un conjunto de procedimientos y herramientas dirigidos a un correcto modelamiento, un marco de trabajo de buenas prácticas para la etapa de construcción del *software*.

El enfoque empleado brindó un amplio marco de buenas prácticas en la fase de construcción del *software* y búsqueda de la optimización; de este modo, se promovieron medidas como la ejecución de pruebas en paralelo con la programación, así como el manejo de unidades de prueba; del mismo modo, se constituyó como una de las metodologías aplicable para el análisis, la implementación y la documentación de sistemas orientados a objetos.

Se especificaron actividades de carácter iterativo e incremental, bajo una comunicación horizontal en el tratamiento de cambios, en lugar de una comunicación a través de una serie de revisiones, usuarios y analistas.

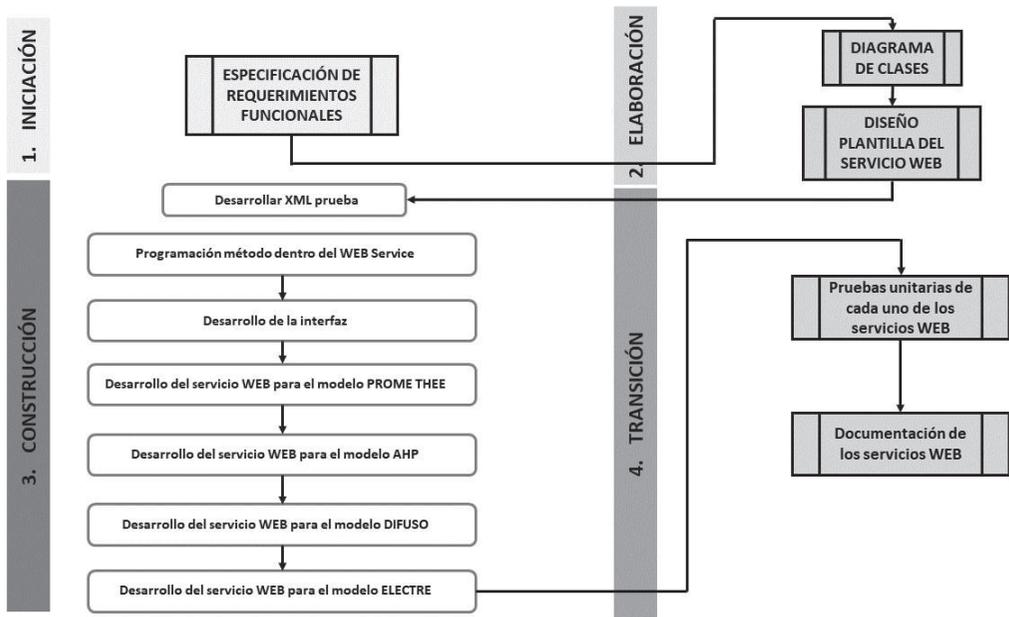
La figura 66 presenta el desglose total de la metodología utilizada en el desarrollo del prototipo de prueba del sistema de indicadores para la identificación del índice de vulnerabilidad territorial; la metodología presenta cuatro fases: iniciación, elaboración, construcción y transición. El modelamiento de sistemas con base en los requerimientos se procesa en la primera fase. En la elaboración se define formalmente la arquitectura de producto. De igual forma, en la fase de construcción se trabaja en la realización de un producto totalmente operativo y eficiente, acorde con los lineamientos y patrones definidos por el equipo de desarrolladores.

Diferentes metodologías para el desarrollo de *software* recomiendan en primera instancia identificar los atributos de calidad que debería tener el sistema (Bolívar, Crespo y Sanjuan, 2013). Se toma como referencia el estándar NC/ISO 9126-1 y se tienen en cuenta las siguientes indicaciones:

- Suministrar de una manera fácil y predictiva la información de las poblaciones seleccionadas y de las simulaciones realizadas por los usuarios.
- Proveer confiabilidad luego de una simulación.
- Proveer fiabilidad en las acciones que recomienda de acuerdo con el índice de vulnerabilidad territorial.
- Facilitar la navegabilidad para personas con analfabetismo digital.

Es importante resaltar que los modelos MCDA seleccionados y mencionados en el capítulo 2 —los cuales se encuentran en las iteraciones 4, 5, 6 y 7 de la figura 66— requirieron dentro del proceso y en el interior de cada iteración una priorización y ponderación de los indicadores, de acuerdo con la metodología de cada modelo. Esta priorización fue realizada por cada uno de los *stakeholders* del proyecto, para todas las dimensiones e indicadores de cada población (capítulo 4), por cada modelo incluido dentro del SIVT. Esta información es cargada por el administrador en el *information storage*, en función de que el sistema pueda ponderar y calcular el indicador de vulnerabilidad territorial.

Figura 66. Metodología de desarrollo del prototipo



Fuente: autores.

La información generada por el prototipo debe ser de total confiabilidad, ya que a partir de esta se tomarán decisiones según el índice de vulnerabilidad que presente el prototipo para una zona geográfica en particular. En la tabla 15 se especifican las métricas para evaluar la calidad del sistema a partir de la usabilidad y la confiabilidad.

Tabla 14. Métricas de usabilidad y confiabilidad

ATRIBUTO	MÉTRICA	VALOR ESPERADO
Usabilidad	Porcentaje de hipervínculos rotos	0%
	Número máximo de eventos para realizar una simulación	10
	Porcentaje esperado de ingreso de usuarios sin discapacidad visual	100%
	Número máximo de eventos para la creación de atributos	6
	Porcentaje de poblaciones que se pueden crear en el sistema	100%
Confiabilidad	Porcentaje de exactitud de poblaciones seleccionadas por área definida	95%
	Porcentaje de error al almacenar los datos ingresados en el sistema	0,01%
	Porcentaje de error en la interpretación de los datos obtenidos en el índice de vulnerabilidad	0,01%
	Precisión de las coordenadas ingresadas en el sistema	0,000000001°
	Porcentaje de obtención de resultados a partir de una simulación realizada	95%

Fuente: autores.

La conceptualización de la metodología y los atributos de calidad son resultado del proyecto de investigación "Retrospectiva de las catástrofes naturales en Colombia como insumo para la construcción de un Sistema Soporte de Decisiones". Los resultados son producto del trabajo de investigación de los autores y de los estudiantes de trabajos de grado de Ingeniería de Sistemas, quienes utilizaron la conceptualización, las métricas y los atributos definidos en el marco del proyecto (ver bibliografía de trabajos de grado).

Las tablas 15, 16, 17 y 18 fueron elaboradas por todo el equipo de trabajo. Estas pudieron ser incluidas en algún trabajo de grado, pero forman parte del trabajo conjunto.

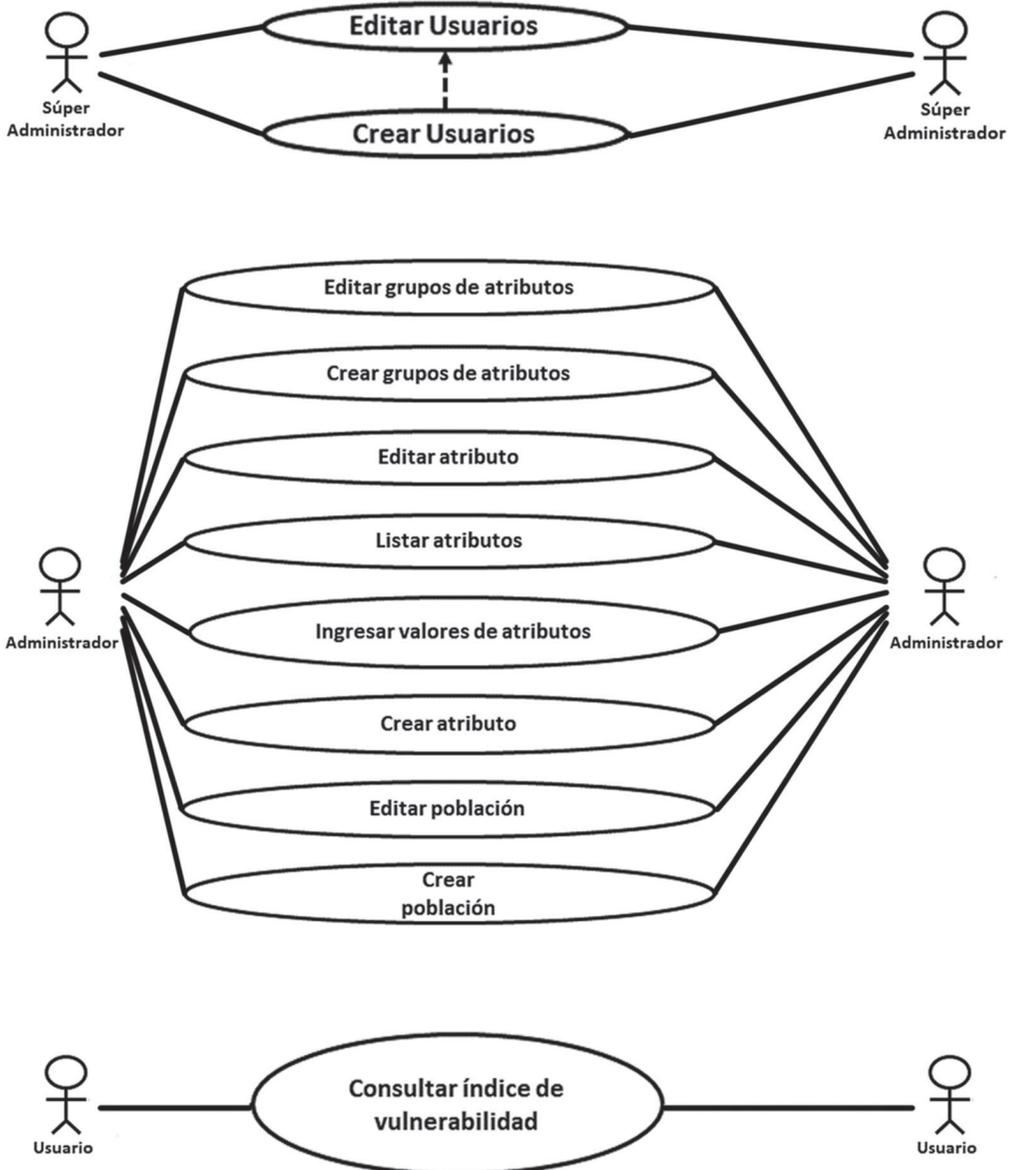
Modelo de interacción con los usuarios

A partir de la identificación de los actores y los procesos de interacción con el sistema, se realiza la especificación de los casos de uso, los cuales describen la manera en que un actor (a través de la interfaz gráfica o interfaz de usuario) interactúa con el sistema. Los casos de uso se desarrollan con el objetivo de mostrar la forma en la que los usuarios finales llevan a cabo alguna tarea específica con sistema (Pressman, 2010). Se toma como base el estándar del lenguaje de modelamiento unificado (UML, por Unified Modeling Language) (Rumbaugh, Jacobson y Booch, 1999). La figura 68 presenta el modelo de interacción de usuarios a partir del diagrama de casos de uso, especificando tres tipos de actores. Los atributos en el caso del proyecto son los indicadores determinados (capítulo 3) asociados a las dimensiones definidas (capítulo 1), a los cuales se les ingresa un valor de acuerdo con la población elegida, en este caso, la información de los indicadores recolectados en las visitas de campo (capítulo 4).

- *Superadministrador*. Responsable de la configuración y el mantenimiento del sistema, a nivel nativo, como la base de datos, o la integración de diferentes servicios o modelos (capítulo 2); asimismo podrá crear nuevos usuarios y asignarles sus respectivos perfiles.
- *Administrador*. Responsable de la configuración del *Back end*, para lo cual se ha utilizado como plataforma a Joomla en su versión 3.0. También es el encargado de subir la información que se muestra en los capítulos 3 y 4 (indicadores de las visitas de campo según las dimensiones mostradas); en este sentido, los talleres desarrollados han permitido alimentar el sistema para el cálculo del indicador y de las acciones que se deben tomar.
- *Usuario*. Será la persona que utilizará el sistema para realizar las simulaciones de predicción y cálculo del índice de vulnerabilidad territorial de acuerdo con su zona geográfica de interés.

En la tabla 16 se detalla la descripción de cada caso de uso, asociado a cada usuario. En esta tabla se observan los perfiles y sus principales funciones dentro del sistema. El diagrama de casos de uso y la tabla de descripción se utilizaron como insumo para la especificación de los casos de uso; para cada uno se realizó versionamiento, actores, descripción, precondiciones y entradas al sistema, poscondiciones y salidas del sistema, flujo normal y flujos alternativos.

Figura 67. Modelo de interacción de usuarios



Fuente: autores.

Tabla 15. Descripción de casos de uso y su asociación con los actores

TIPO DE ACTOR	CASO DE USO	DESCRIPCIÓN
Superadministrador	Crear usuarios	El usuario superadministrador podrá crear nuevos usuarios y asignarles sus respectivos perfiles.
	Editar usuarios	El usuario superadministrador podrá editar los usuarios existentes en el sistema.
	Eliminar usuarios	El usuario superadministrador podrá eliminar el usuario deseado en el sistema.
	Listar usuarios	El usuario superadministrador podrá generar la lista de todos los usuarios del sistema dependiendo del perfil.
Administrador	Crear grupo de atributos	El usuario administrador podrá crear nuevos grupos de atributos.
	Editar grupo de atributos	El usuario administrador podrá editar los grupos de atributos existentes en el sistema.
	Eliminar grupo de atributos	El usuario administrador podrá eliminar los grupos de atributos existentes en el sistema.
	Listar grupo de atributos	El usuario administrador podrá generar la lista de todos los grupos de atributos existentes en el sistema.
	Crear atributo	El usuario administrador podrá crear nuevos atributos definiendo el tipo y el grupo de atributo al cual pertenece.
	Editar atributo	El usuario administrador podrá editar los atributos existentes en el sistema.
	Eliminar atributo	El usuario administrador podrá eliminar los atributos existentes en el sistema.
	Listar atributos	El usuario administrador podrá generar la lista de los atributos existentes en el sistema dependiendo el tipo y el grupo de atributos.
	Ingresar valores de atributos	A cada uno de los atributos creados en el sistema se le podrán asignar los valores correspondientes.
	Crear población	El usuario administrador podrá crear nuevas poblaciones para luego realizar simulaciones sobre ellas.
	Editar población	El usuario administrador podrá editar las poblaciones existentes en el sistema.
	Eliminar población	El usuario podrá eliminar las poblaciones existentes en el sistema.
Listar poblaciones	El usuario podrá generar la lista de las poblaciones existentes en el sistema.	
Usuario	Consultar índice de vulnerabilidad	El usuario final podrá consultar el índice de vulnerabilidad de cada una de las simulaciones realizadas.
	Seleccionar zona y definir radio	El usuario podrá seleccionar las zonas y el radio con los cuales realizará la simulación.
	Definir modelo por usar	El usuario deberá seleccionar un modelo, el cual será tomado como insumo a la hora de realizarse la simulación.
	Consultar resultados almacenados	El usuario podrá consultar en cualquier momento los resultados de las simulaciones realizadas anteriormente.
	Consultar información de población	El usuario podrá consultar la información almacenada en el sistema de cada una de las poblaciones existentes en él.
	Almacenar resultados	El usuario podrá almacenar los resultados que desee de las simulaciones realizadas.

Fuente: autores.

Para el proyecto y la aplicación del SIVT la principal fuente de información son las visitas de campo, ya que este es el instrumento empleado que brinda la mayor cantidad de datos con relación a los indicadores definidos en el capítulo 3, seguido de información secundaria publicada a nivel institucional por el DANE, el DNP o el IGAC. En este caso, como se muestra en la tabla anterior, el responsable de alimentar el sistema es el administrador, que valida los datos antes de ser ingresados, para que el perfil del usuario pueda realizar las consultas del indicador de vulnerabilidad y las acciones que se habrán de tomar según la población elegida.

Especificación de funcionalidad del sistema

Utilizando como insumo el diagrama de casos de uso, se realiza la especificación de los requerimientos funcionales del sistema, los cuales permiten especificar las características que debe tener el sistema y las restricciones que debe satisfacer. Los requerimientos establecidos fueron:

- Seleccionar la zona para el análisis.
- Visualizar información geográfica de poblaciones afectadas.
- Visualizar información de medidas por tomar.
- Seleccionar el modelo por utilizar.
- Leer archivo XML.
- Generar índice de vulnerabilidad a partir del modelo.
- Generar archivo XML.
- Validar resultados de la simulación.
- Guardar resultados obtenidos de la simulación.
- Ingresar información de las poblaciones.
- Ingresar nuevos grupos atributos.

Por cada uno de los requerimientos se realizó una descripción y especificación, utilizando como artefacto de desarrollo la matriz presentada en la tabla 17.

Tabla 16. Ejemplo de especificación de requerimiento funcional

IDENTIFICADOR: NOMBRE: RF1 Seleccionar la zona geográfica por analizar	
PRIORIDAD DE DESARROLLO Alta	DOCUMENTOS DE VISUALIZACIÓN ASOCIADOS Sin definir
ENTRADA Zona geográfica seleccionada por parte del usuario. Radio para detallar el área de la zona seleccionada.	SALIDA Se debe mostrar en el mapa, el área de la zona seleccionada por el usuario.
DESCRIPCIÓN: Precondición: zona geográfica seleccionada por parte del usuario. Descripción: el sistema suministrará una lista de zonas geográficas para que el usuario pueda seleccionar la que quiera detallar. Después de seleccionada la zona, el usuario ingresa un valor de radio (metros) para poder detallar un área específica de la zona que se seleccionó. Con la zona y el radio ingresado por el usuario, el sistema calcula y muestra en el mapa el área que se quiere detallar. Poscondición: dependiendo de la zona y el radio ingresado, se debe mostrar un área marcada en el mapa con un color específico.	
MANEJO DE SITUACIONES ANORMALES En caso de que el usuario no ingrese radio, por defecto se definirá un radio de 10 km.	

Fuente: autores.

Diseño del prototipo para el sistema de decisión para la gestión del riesgo de acuerdo con el índice de vulnerabilidad territorial

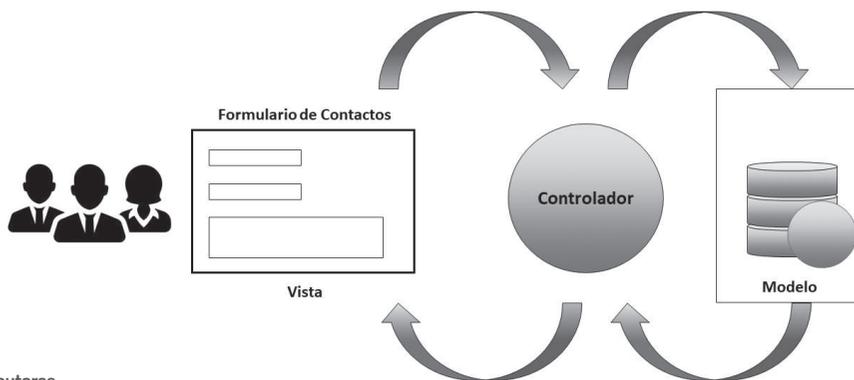
Durante el flujo de información presentado en el modelo arquitectural del sistema, se pretendió elaborar un bosquejo o idea general del sistema, con el objetivo de identificar los elementos relevantes, los mecanismos y la organización general (OGC, 2011). El estándar OpenGIS sugiere el punto de vista del negocio y el punto de vista de información para el análisis conceptual del sistema.

El punto de vista del negocio pretende entender el sistema con base en el proceso de producción de información, es decir, a partir de los datos orígenes, pasando por procesos de análisis, fusión y modelamiento, para concluir con la descripción del producto final, acorde con el objetivo del sistema.

Para lograr una correcta integración de los módulos y SIVT fue necesario realizar la implementación de un patrón arquitectónico que permitiera realizar con facilidad el seguimiento al código. Así también a las posteriores modificaciones, que hicieran posible para los desarrolladores crear y adaptar un sistema flexible con particiones independientes enfocadas al modelo cliente-servidor.

Por tanto, se optó por la implementación del patrón de diseño MVC (modelo-visita-controlador), el cual permitiera la comunicación entre los módulos y las aplicaciones de manera independiente.

Figura 68. Diagrama de arquitectura de software MVC



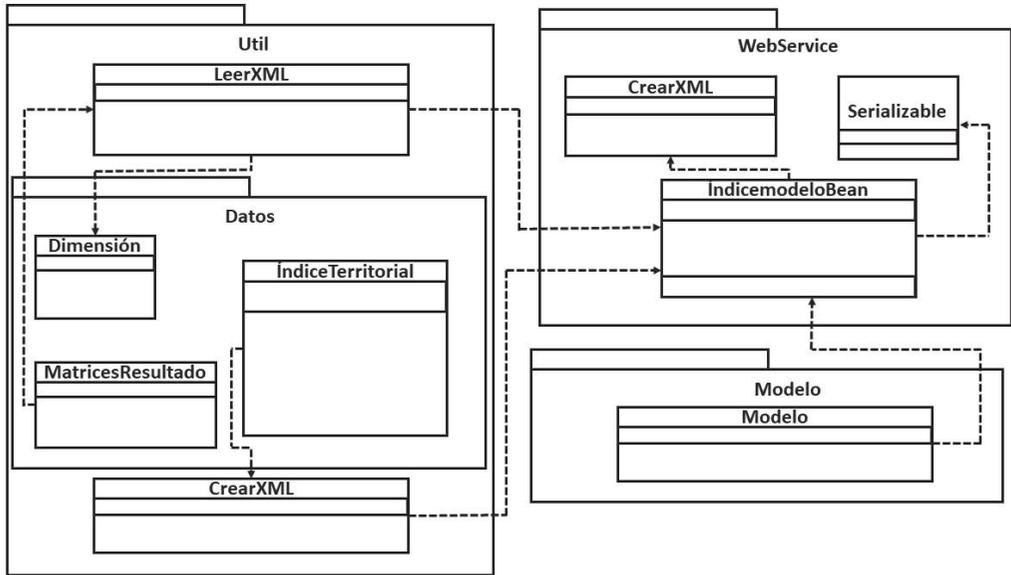
Fuente: autores.

La arquitectura de alto nivel proporciona una descripción que explica los componentes que interactúan con el módulo SIVT. En la figura 68 se proporciona la vista de la arquitectura completa de cómo se integran y funcionan los componentes siguiendo un orden específico hasta obtener un resultado, en este caso, la optimización de los parámetros de modelos de toma de decisiones.

El diseño se desarrolló desde dos enfoques. El primero buscando especificar las entidades que compondrán el prototipo, el cual se ha denominado *modelo estático del sistema* y se presenta a través del diagrama de clases de acuerdo con la especificación de UML. Además, con las entidades se describen los atributos de cada entidad

y las relaciones entre estas, que permiten el intercambio de información para lograr la funcionalidad del sistema (figura 69).

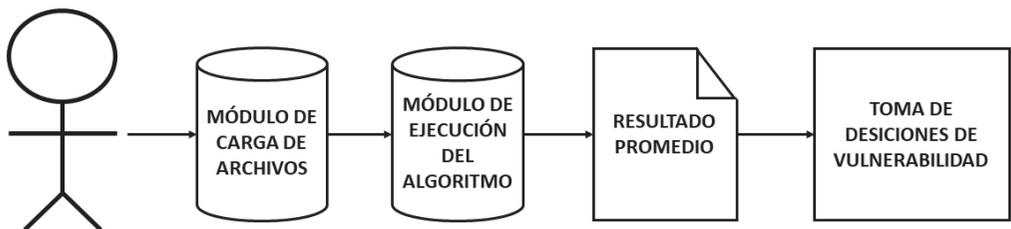
Figura 69. Modelo estático del sistema



Fuente: autores.

El desarrollo de esta aplicación se da mediante un usuario que realiza el cargue del archivo con su debido formato .cvs bien diligenciado, tanto en sus criterios como en sus dimensiones. El módulo de carga de este archivo empieza a procesar los datos del estudio realizado; cuando haya validado que el archivo se encuentra bien documentado, realiza el paso al módulo de ejecución del algoritmo; este se encarga de realizar los cálculos y las operaciones del estudio para dar como resultado un número promedio, con cuyo dato se realizará la toma de decisiones a la problemática de vulnerabilidad tratada.

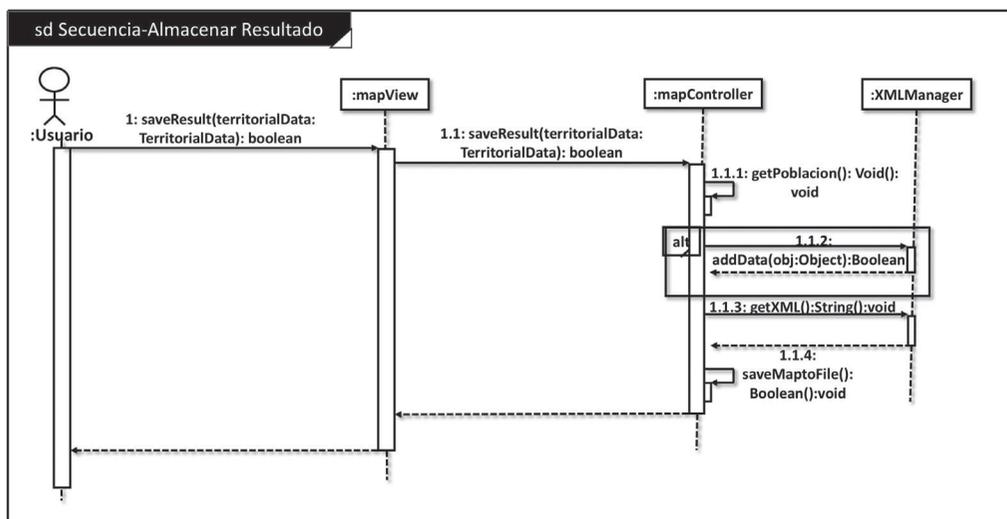
Figura 70. Módulos UML



Fuente: autores.

Según las entidades identificadas, el segundo enfoque buscaba especificar el flujo de información y los comportamientos que interactúan entre las diferentes entidades. Siguiendo el estándar UML, la representación del modelo dinámico se hace a través de los diagramas de secuencia, el cual muestra la interacción entre los objetos que representan la secuencia de mensajes entre las instancias de clases, componentes, subsistemas o actores, donde están presentes las entidades. En la figura 71, la línea punteada corresponde al ciclo de vida de cada entidad y las líneas horizontales representan los comportamientos que permiten el flujo de información entre las diferentes entidades.

Figura 71. Modelo dinámico del sistema

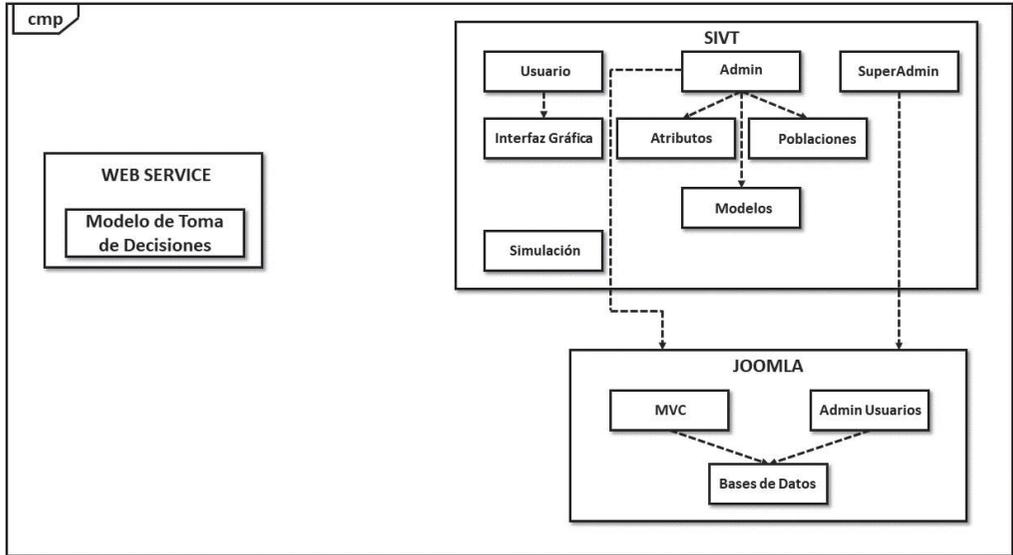


Fuente: autores.

La figura 72 presenta el diagrama de componentes; muestra la arquitectura del sistema que permite entender, de una forma clara y fácil, el modo en que se comunican los diferentes artefactos, al tiempo que permite determinar los sistemas externos con los cuales va a interactuar el sistema.

El SIVT se compone de una interfaz gráfica que se denomina *Front end*, la cual utiliza el servicio de geolocalización de Google Maps. Un sistema denominado *Back end* ayuda a la administración de atributos y perfiles de usuario, y un conjunto de servicios web responsable de la implementación de cada uno de los modelos de toma de decisiones especificado.

Figura 72. Modelo arquitectural del sistema



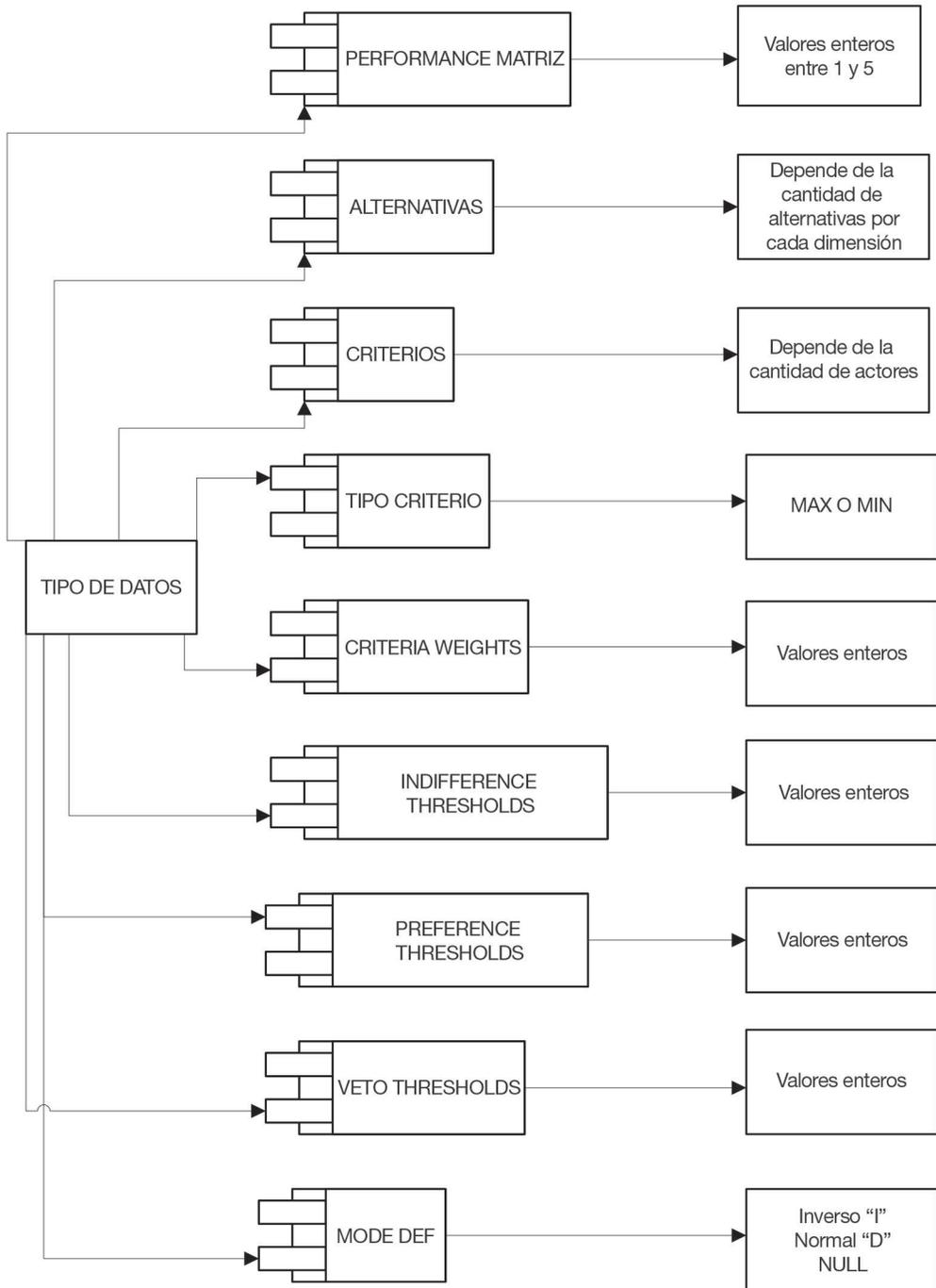
Fuente: autores.

Modelo de datos del sistema

El modelo de datos representa la abstracción desde el punto de vista del usuario de la información persistente en el sistema, como se representa en la figura 74; dicha información se ha estructurado para que pueda ser almacenada en un motor de base de datos. El modelo de datos comparte una relación con el modelo estático del sistema, debido a que también se estructura a partir de entidades, se definen los atributos de cada entidad y finalmente se estructuran las relaciones entre cada una de las entidades, buscando mantener la integridad de la información y facilitar las consultas en lenguaje SQL para la lectura y escritura en la base de datos.

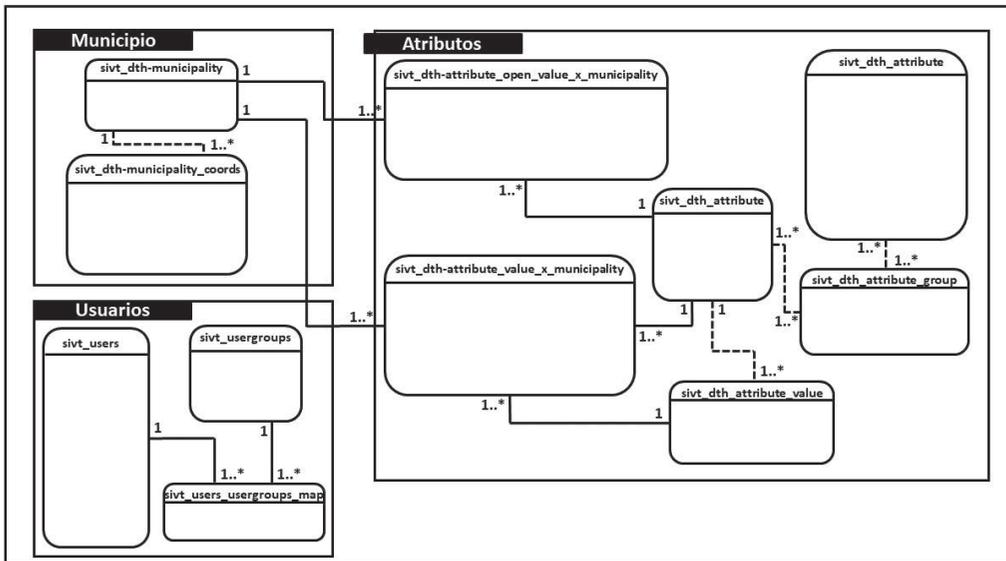
El motor de base de datos que se implementó ha sido MySQL, en primera instancia porque permite una integración directa con la plataforma Joomla utilizada para el desarrollo del *Front end* y del *Back end*; en segunda instancia, porque tiene una licencia GPL y se ha desarrollado bajo el modelo *Open Source*; por tal motivo tiene lugar la integración con Java, lenguaje en el cual se han desarrollado los distintos servicios web responsables de los modelos de análisis multicriterio, lo cual facilita su implementación y mantenimiento. La figura 75 presenta el modelo de datos del SIVT.

Figura 73. Diagrama de tipo de dato del sistema



Fuente: autores.

Figura 74. Modelo de datos del sistema



Fuente: autores.

Descripción del SIVT

El SIVT es un sistema de información que brinda la posibilidad de conocer diferentes índices, indicadores y conocimiento en general de poblaciones existentes y registradas en el sistema. Estos datos almacenados tienen alguna influencia (baja, media y alta) a la hora de calcular el índice de vulnerabilidad de una zona determinada.

Como se ha mencionado, el SIVT desarrollado calcula el índice de vulnerabilidad territorial utilizando los datos recolectados en las visitas de campo y casos de estudio determinados (capítulo 4), los cuales son cargados a través del *User web system* por alguno de los *stakeholders* del proyecto. A través de la plataforma, cualquier usuario puede calcular el indicador de vulnerabilidad territorial, seleccionando alguno de los modelos elegidos (capítulo 2). A su vez, determinará el indicador usando como base las dimensiones (capítulo 1) y los indicadores de las dimensiones (capítulo 3), generando así las acciones de intervención en el territorio a partir del grado de vulnerabilidad encontrado.

El sistema de identificación del índice de vulnerabilidad territorial es resultado del proyecto de investigación "Retrospectiva de las catástrofes naturales en Colombia como insumo para la construcción de un Sistema Soporte de Decisiones". Los resultados son producto del trabajo de investigación de los autores y de los estudiantes de trabajos de grado de Ingeniería de Sistemas, quienes estructuraron el *Manual de usuario*, herramienta que incluye la descripción del sistema y ha sido incluida en la presente sección (ver referencias en la bibliografía de trabajos de grado).

Para el cálculo del valor de vulnerabilidad territorial se tendrán disponibles unos modelos (definidos en el capítulo 2) que usarán todos los atributos (o indicadores) disponibles en el sistema según las poblaciones seleccionadas; el valor obtenido estará como número entero en una escala de uno (1) a diez (10), y a su vez se verá representado en el mapa con un color distintivo.

Los atributos de las poblaciones se encontrarán clasificados por grupos o dimensiones (educación, social, entre otros) y por tipo de atributos (dato numérico, lista seleccionable, entre otros).

La información almacenada en el sistema se encontrará clasificada por grupos de atributos (educación, social, entre otros), que a su vez tienen un número indefinido de atributos asociados a cada una de las poblaciones existentes en el sistema.

Para la creación de un grupo de atributos son necesarios los siguientes campos:

- Nombre: nombre del grupo de atributo.
- *Caption*: se coloca el nombre con el que el nuevo grupo de atributos creado será visualizado por el usuario.

Figura 75. Creación de grupo de atributos

✓ Guardar & Cerrar	
Atributo	
Nombre	Social
Caption	Información de carácter social

Fuente: autores.

Como se puede observar, el nombre del grupo de atributos es "Social", pero la forma en que este será visualizado por el usuario será como "Información de carácter social". La información almacenada en el sistema también debe estar clasificada por un tipo de atributo (numérico, cadena de texto, entre otros), que es el tipo de dato que se va a guardar en el atributo creado.

Para la creación de un tipo de atributos son necesarios los siguientes campos:

- Nombre: nombre del tipo de atributo.
- *Caption*: se coloca el nombre con el que el nuevo tipo de atributos creado será visualizado por el usuario.
- *Descripción*: descripción del nuevo tipo de atributo creado.

Figura 76. Creación de tipo de atributos

The screenshot shows a web form titled 'Tipos de atributo'. At the top left is a button with a checkmark and the text 'Guardar & Cerrar'. Below the title is a table with three rows:

Nombre	Número
Caption	Datos numéricos
Descripción	Este tipo es para los atributos que s

Fuente: autores.

Como se puede observar, el nombre del tipo de atributos es “Número”, pero la forma en que este será visualizado por el usuario será como “Datos numéricos”.

Los atributos corresponden a la información asociada a cada una de las poblaciones existentes en el sistema y la cual servirá como insumo para realizar las simulaciones y obtener el índice de vulnerabilidad.

Para la creación de un atributo son necesarios los siguientes campos:

- *Nombre*: nombre del atributo.
- *Caption*: se coloca el nombre con el que el nuevo atributo creado será visualizado por el usuario.
- *Descripción*: descripción del nuevo atributo creado.
- *Tipo ID*: tipo de atributo al cual está asociado este atributo.
- *Grupo ID*: grupo de atributo al cual está asociado este atributo.

Figura 77. Creación de atributos

The screenshot shows a web form titled 'Tipos de atributo'. At the top left is a button with a checkmark and the text 'Guardar & Cerrar'. Below the title is a table with five rows:

Tipo ID	número
Grupo ID	social
Nombre	Habitantes
Caption	Habitantes de un población
Descripción	Número de habitantes de una población

Fuente: autores.

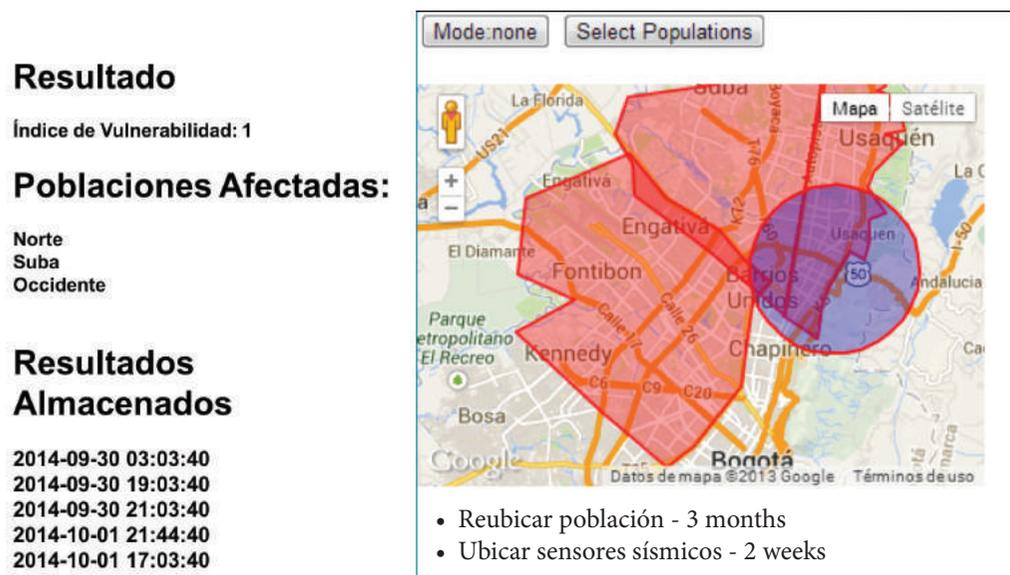
Para definir un área por consultar, el usuario seleccionará el modelo correspondiente y determinará un valor de radio que debe ir en kilómetros (km); de la misma forma, se podrán seleccionar las poblaciones en el sistema, para conocer de manera detallada aquellas que pueden ser afectadas por el área seleccionada.

El sistema representará con un color distintivo (rojo) las poblaciones seleccionadas en el mapa, y el área definida por el usuario tendrá un color distintivo según el valor del índice de vulnerabilidad arrojado por la simulación.

En la figura 78 se puede observar que el área definida por el usuario tiene un índice de vulnerabilidad de 1; por ende, el color representativo del área será de color azul. Este color del área varía según el índice de vulnerabilidad arrojado por la simulación. Adicionalmente, la simulación identificó que el área seleccionada afectó a tres poblaciones existentes en el sistema (norte, sur y occidente).

La forma de comunicación con el sistema de decisiones (encargado de calcular el índice de vulnerabilidad según modelo seleccionado) será a través de archivos XML.

Figura 78. Visualización del área seleccionada



Fuente: autores.

Allí se proveerán los atributos de cada una de las poblaciones afectadas en la simulación, para así poder realizar el cálculo del índice de vulnerabilidad. Esto se puede observar en la tabla 18.

Tabla 17. Tags XML envío de datos

TAG XML	INFORMACIÓN ENVIADA
<zone/>	Coordenadas del área seleccionada (longitud y latitud)
<municipality></municipality>	La población
<basic></basic>	Información básica de cada una de las poblaciones
<GRUPO DE ATRIBUTO></GRUPO DE ATRIBUTO >	El sistema enviará cada uno de los grupos de atributos (educación, social, natural, entre otros) asociado a cada una de las poblaciones
<attribute></attribute>	Se encuentra ubicado dentro del tag de <GRUPO DE ATRIBUTO> y se envía cada uno de los atributos con la información correspondiente de cada uno
<type></type>	Tipo de atributo al cual pertenece un atributo
<value></value>	Valor de cada atributo

Fuente: autores.

En la figura 79 se encuentra la estructura del XML con la información de las poblaciones para calcular el índice de vulnerabilidad.

Figura 79. XML de envío de información

```

< zone lng = " -74.10 " lat = " 4.7 " />
  _< municipios >
  _< municipio >
  _< básico >
    < nombre >
    < ! [ CDATA [ Bogotá ] ] >
    < / nombre >
    < educación >
    < atributo id = " 1 " >
      < tipo id = " 1 " >
      < ! [ CDATA [ Numero ] ] >
      < / tipo >
      < dimension_Territorial id = " 1 " >
      < ! [ CDATA [ POLITICO-INSTITUCIONAL ] ] >
      < / dimension_Territorial >
    < / atributo >
  < / educación >
  < / municipio >
< / municipios >

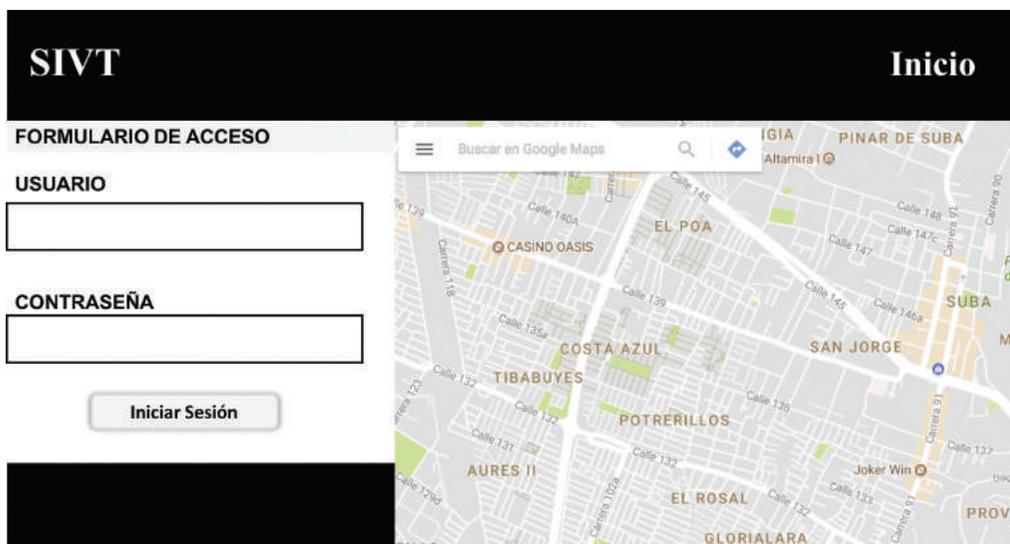
```

Fuente: autores.

En la figura anterior se puede observar que el XML está compuesto de una población (Bogotá), datos básicos como número de habitantes (7.155.000), un grupo de atributo (*education*) y dos atributos de este grupo (attribute id = 1 y attribute id = 2).

Dentro del proceso para el cálculo del índice de vulnerabilidad territorial se desarrolla la simulación del SIVT (figura 80), para que esta ejecute cada uno de los servicios web asociados a cada uno de los modelos de decisión seleccionados y se genere un archivo en estructura XML.

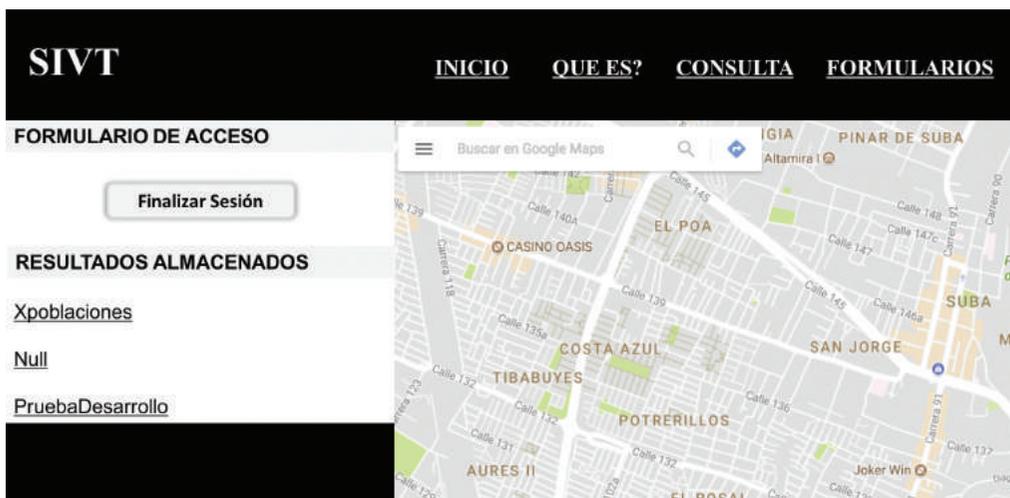
Figura 80. Página principal SIVT



Fuente: autores.

Una vez se ingresa al SIVT, presenta una estructura como la mostrada en la figura 80. La página, cuando ingresa un usuario de consulta al sistema, presenta el mapa en el cual se puede seleccionar la población a consultar; también presenta la información que se ha guardado según las consultas realizadas con anterioridad, lo cual le permite al usuario visualizar si la población que va a consultar ya tiene su previa información, o bien, generar nuevamente la información por un método diferente para tomar decisiones acertadas (figura 81).

Figura 81. Página ingreso al SIVT



Fuente: autores.

De acuerdo con este seguimiento del diseño y funcionamiento del *Front end* establecido, se establece la modificación del diseño en el módulo que muestra al usuario la información relevante a las dimensiones analizadas en las zonas estudiadas, las cuales también deben desplegar las respectivas acciones, tal como se visualiza en la figura 83.

La información también puede ser cargada utilizando la recomendación RFC 4180 *Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV), Files* (Network Working Group, 2005), debido a que facilita la incorporación de varios datos simultáneamente y no requiere digitar cada uno de los formularios, como se especifica en las figuras 77 y 78. La figura 83 presenta un ejemplo del formato CVS para el cargue de la información.

Figura 82. Información y acciones por tomar de zona analizada

The screenshot shows the SIVT web interface. At the top, there is a navigation menu with the following items: **INICIO**, **QUE ES?**, **CONSULTA**, and **FORMULARIOS**. Below the menu, there are two main sections:

- FORMULARIO DE ACCESO**: Contains a button labeled "Finalizar Sesión".
- RESULTADOS ALMACENADOS**: Lists several categories: "Xpoblaciones", "Null", and "PruebaDesarrollo".

To the right of these sections, there is a table titled "INFORMACIÓN - SUBA" with the following structure:

<u>Ambiental</u>	<u>Urbano – Regional</u>	<u>Económico – Productivo</u>
<u>Sociocultural</u>		
_____ < educación >		
_____ < atributo id = " 1 " >		
_____ < tipo id = " 1 " >		
_____ <! [CDATA [Numero]] >		
_____ </ tipo >		
_____ < dimension_Territorial id = " 1 " >		
_____ <! [CDATA [POLITICO-INSTITUCIONAL]] >		
_____ </ dimension_Territorial >		
_____ </ atributo >		

Fuente: autores.

Figura 83. Formato CVS de cargue de información

VARIABLE	NIVEL IMPORTANCIA	CRITERIO MAX/min	DIMENSIÓN	GRADO DE EXPERIENCIA
Animales en peligro de extinción en la zona afectada	3	min	Ambiental	7
Vegetación endémica en la zona afectada	4	MAX	Ambiental	7
Escombros	2	min	Ambiental	7
Reducción en la calidad de la fuente de abastecimiento de agua potable	5	min	Ambiental	7
Animales endémicos en la zona afectada	2	MAX	Ambiental	7
Tipos de vegetación en la zona	3	MAX	Ambiental	7
Enfermedades por plagas	4	min	Ambiental	3
Cobertura de usos de suelos	3	MAX	Ambiental	3
Área de humedales	4	MAX	Ambiental	3
Área de inundación	3	min	Ambiental	3
Extensión del territorio	4	MAX	Ambiental	7

Fuente: autores.

El carguer de los archivos se realiza una vez se haya especificado el modelo de toma de decisiones, tal como se presenta en la figura 85.

Figura 84. Interfaz de carga



Fuente: autores.

Pruebas del algoritmo comparación entre R y PHP

Se ejecutaron por separado en R cada uno de las dimensiones, para poder obtener los vectores de *ranking* que se usaron para obtener el promedio; luego se imprimieron los vectores que se usaron para obtener el promedio en PHP y se compararon para verificar que poseían la misma cantidad de registros y los mismos valores, antes de normalizarlos y generar el promedio (solo se adjuntan los vectores de *ranking* ascendente).

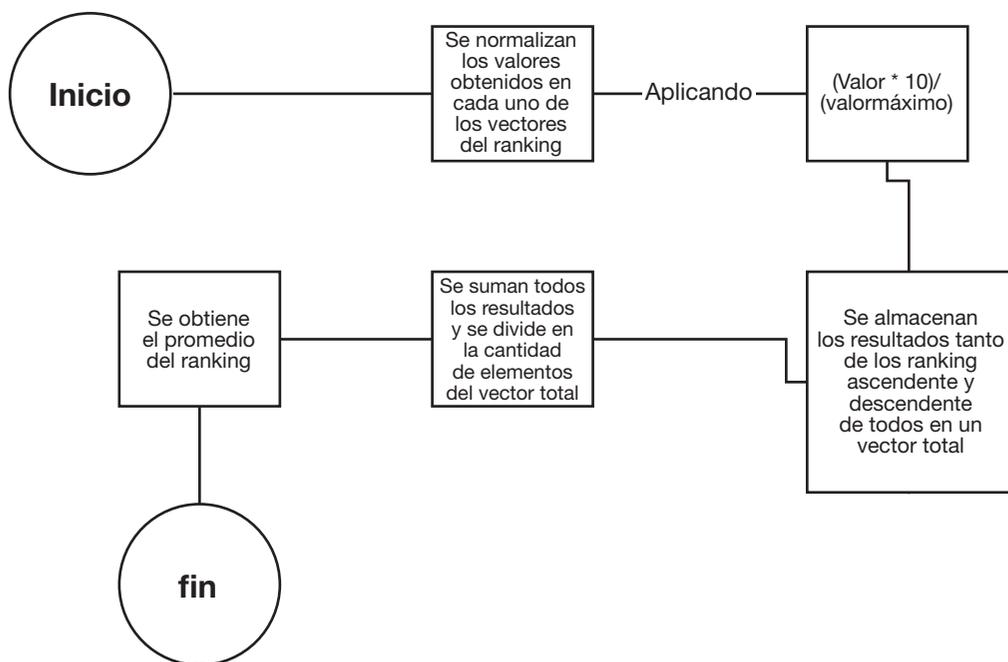
Ranking político R:

```
Distillation_1
Etape 1
v 1 v 2 v 3 v 4 v 5 v 6 v 7 v 8 v 9 v 10 v 11 v 12 v 13 v 14 v 15 v 16 v 17 v 18 v 19 v 20 v 21
1 6 0 1 1 1 6 13 13 6 6 6 6 18 18 6 13 13 13 1 18
```

Ranking ambiental R:

```
Console C:/Users/CésarJulian/Downloads/
Distillation_2
Etape 1
v 1 v 2 v 3 v 5 v 6 v 9 v 10 v 11 v 12 v 13 v 14 v 15 v 16
3 0 11 1 1 5 6 7 9 11 3 9 7
```


Figura 86. Normalización de promedio



Fuente: autores.

Al tener el sistema listo para su ejecución, se realizó la modificación de algunos archivos .php contenidos dentro del *Back end* del sistema, desarrollado en Joomla en anteriores instancias del proyecto general, para la correcta toma del resultado generado por el módulo de toma de decisiones del *web services* y su posterior publicación en el *Front end*.

Los contenidos editados, los cuales se encuentran dentro de la ruta `C:\xampp\htdocs\SIVT`, y cada una de sus funciones se relacionan a continuación:

Página de inicio del mapa SIVT:

`C:\xampp\htdocs\SIVT\components\com_SIVT\views\home\tmpl\default.php`

- Inicia API de Google Maps y *scripts*, ubicados en la carpeta *Assets* con las coordenadas específicas de las zonas afectadas en el estudio, para seleccionar *población*.
- `C:\xampp\htdocs\SIVT\components\com_SIVT\views\home\view.html.php`
- De acuerdo con las municipalidades almacenadas en la base de datos, se genera la búsqueda y activa los *scripts*, para calcular y dibujar el área afectada.
- Definición de las opciones de consulta.
- `C:\xampp\htdocs\SIVT\components\com_SIVT\views\selectradio\tmpl`

- Ejecución de los Javascripts de los mapas para el inicio de selección de población.
- Selección del modelo de toma de decisión y el radio correspondiente, para ejecutar los cálculos en el ws.

Página cliente del Web Service AHP:

C:\xampp\htdocs\SIVT\components\com_SIVT\controller.php

- Arma el XML que necesita el WS.
- Consume el WS.
- Almacena en BD el resultado que retorna el WS.

Página que presenta el resultado del índice de vulnerabilidad que retorna el WS:

C:\xampp\htdocs\SIVT\modules\mod_SIVT_result\tmpl\default.php

- Crea el objeto \$Result para invocar el API.
- Llama al método ParseResultXMLFromwsAhpFuzzy
- Envía resultado al *Front end*.

Api:

C:\xampp\htdocs\SIVT\libraries\SIVT\attribute\api.php

- Se agrega nueva función para leer el Nuevo XML que retorna el WS.
- Se agrega nueva clase para leer el XML SIVTWsAhpFuzzyResult.

Obtiene el índice de vulnerabilidad y las dimensiones.