

UNA VISIÓN POLICÉNTRICA DEL AMBIENTE BAJO EL ENFOQUE ORIENTADO A OBJETOS

A polycentric vision of the environment under the Object-Oriented approach

Xavier Bustos C

RESUMEN

En este artículo se muestra una visión policéntrica de los componentes estructurales del ambiente bajo el enfoque orientado a objetos (O-O). Para la elaboración del modelo de datos, se siguen los lineamientos del Lenguaje Unificado de Modelado, conocido por sus siglas en inglés como UML (Unified Modeling Language), ampliamente utilizado en la actualidad para diseñar sistemas bajo la perspectiva O-O. Basados en el concepto de conjunto ambiental visto como una holografía de factores físico-químicos, bióticos y socio-culturales se produce un primer diagrama a nivel de categorías de clases o paquetes de información. Siguiendo, en primer lugar, un proceso de abstracción y sustentados en el Modelo Conceptual Lógico Operativo del Ambiente (MOCLOA) se afina y complementa este primer diagrama hasta llegar a un modelo en el que se describen las clases (espaciales y de objetos) y sus relaciones, que puede ser implantado mediante una herramienta geotecnológica. La visualización del modelo policéntrico ambiental de acuerdo a un enfoque para desarrollo de sistemas informáticos, permite dar guías para el modelado del mundo real. Tanto el policentrismo ambiental como el MOCLOA son trabajos producidos por investigadores del Centro de Estudios Integrales del Ambiente de la UCV (CENAMB-UCV)

Palabras clave: Ambiente, información, diseño, policentrismo, orientación a objetos, modelo de datos, objeto-relacional.

ABSTRACT: This article shows a polycentric vision of the structural components of the environment under the object-oriented (O-O) approach. To create the data model, guidelines of the Unified Modeling Language(UML) which is broadly used nowadays to design systems under the O-O perspective are followed. Being based on the concept of the Environmental Set, seen it as a holography of physic - chemist, biotic and social-cultural factors, a first diagram

conforming class categories or information packages is produced. Following an abstraction process and supported on the Conceptual Logical Operative Model of the Environment (CLOMA) this diagram is refined and complemented to get a model that describes the classes (features and objects) and their relations, which can be implemented using a geotechnological tool. The visualization of the environmental polycentric model according to an approach to develop computer systems is shown to give the user guidelines for modeling the real world. Both, the environmental polycentrism and the CLOMA are works produced by researchers of the Center of Integral Studies of the Environment (CENAMB-UCV)

Key words: Environment, information, design, polycentrism, object-oriented, object-relational.

INTRODUCCIÓN

Una de las fases del proceso de construcción de sistemas informáticos, es crear el modelo lógico de datos que represente la realidad que se pretende automatizar. Cuando se aborda un proyecto que requiere del empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es recomendable diseñar un modelo de datos de los elementos ambientales y sus relaciones, lo que permite ordenar y validar la información del estudio, potenciando así, las bondades que estos programas ofrecen para realizar análisis espacial. Un modelo, diseñado mediante un proceso de abstracción y empleando una notación o simbología, permite definir los elementos, relaciones y límites del sistema que se pretende crear. El enfoque orientado a objetos (O-O) ha sido empleado para el modelado de componentes ambientales e importantes desarrollos geotecnológicos propietarios, como por ejemplo, el ARCGis de Esri (programa de SIG), y libres como el Spring (Sistema de Procesamiento de Información Georeferenciada) del INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales - Brasil) que se construyen de acuerdo a sus principios. Estos permiten a sus usuarios la personalización de las aplicaciones mediante la extensibilidad de las herramientas que se proveen para tal fin, por lo que es

recomendable conocer su base conceptual para aprovechar al máximo de esta ventaja.

Este trabajo expone los lineamientos para diseñar e implementar la visión policéntrica del ambiente bajo el enfoque O-O, así como mostrar las ventajas en cuanto al mantenimiento y escabilidad de los sistemas geomáticos concebidos bajo dicha perspectiva.

Metodología empleada

Para la elaboración del modelo policéntrico ambiental O-O, se siguen los siguientes pasos:

- 1) Selección y explicación del modelo policéntrico del ambiente como base para ser modelado de acuerdo a la perspectiva O-O utilizando el Lenguaje Unificado de Modelado (UML).
- 2) Definiciones del enfoque orientado a objetos y aplicación de sus conceptos para la elaboración de un primer nivel de abstracción (a nivel de categorías de clases) del modelo policéntrico ambiental.
- 3) Refinamiento del modelo creado en el paso anterior, tomando los conceptos del MOCLOA, y que definen y describen los siguientes componentes ambientales: geológico, geomorfológico, atmosférico, hídrico, edáfico, animal, vegetal y humano.
- 4) Dar lineamientos para una implementación del modelo empleando una herramienta geotecnológica que soporte el enfoque planteado.

EL CONCEPTO ESTRUCTURAL DEL AMBIENTE

Múltiples son las definiciones de ambiente, en el Centro de Estudios Integrales del Ambiente de la Universidad Central de Venezuela (CENAMB-UCV) se ha estado trabajando sobre una línea de investigación denominada el planteamiento ambiental, y lo conciben "como una estructura sistémica, en la que se diferencian subsistemas cuya organización depende de los procesos originados por la propagación del flujo de la energía. Esta se manifiesta bien

como fuerza, como materia o bien como información, a través de los factores que la epistemología científica aceptada reconoce, es decir: físicos, químicos, bióticos, sociales y culturales” (De Lisio, 1999).

En el trabajo “Entropía y Neguentropía Urbanas. Bases para la reformulación del Estudio Ambiental del la Ciudad” (De Lisio, 1999), se presenta una visión alternativa del ambiente, enfocado desde una visión policéntrica, es decir, que las lecturas del ambiente puedan iniciarse de manera independiente desde cualquiera de los factores que lo componen, sin tener que partir desde lo físico-químico, y basado en proposiciones lógico-operativas señala que estructuralmente, el ambiente es “un conjunto compuesto por las interrelaciones entre los elementos físico-químicos, bióticos, sociales y culturales”. Sobre el sustento de lógica de conjuntos, también señala que “Siendo A un conjunto ambiental determinado, FQ representa el subconjunto de elementos físico-químicos, B el subconjunto de los elementos bióticos, S el subconjunto de los elementos sociales y C el subconjunto de elementos culturales. Sin embargo, una condición indispensable para que cada subconjunto de elementos sea considerado como parte del conjunto {A} es que esté interrelacionado con los otros subconjuntos estructuralmente identificados, es decir que”:

$$FQ \in A \rightarrow A = \{FQ \cap (B \cup S \cup C)\} \leftrightarrow A = \{(FQ \cap B) \cup (FQ \cap S) \cup (FQ \cap C)\}$$

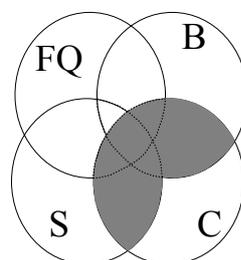
$$B \in A \rightarrow A = \{B \cap (FQ \cup S \cup C)\} \leftrightarrow A = \{(B \cap FQ) \cup (B \cap S) \cup (B \cap C)\}$$

$$S \in A \rightarrow A = \{S \cap (FQ \cup B \cup C)\} \leftrightarrow A = \{(S \cap FQ) \cup (S \cap B) \cup (S \cap C)\}$$

$$C \in A \rightarrow A = \{C \cap (FQ \cup B \cup S)\} \leftrightarrow A = \{(C \cap FQ) \cup (C \cap B) \cup (C \cap S)\}$$

De acuerdo a esta definición, para una organización ambiental centrada en lo cultural, por ejemplo la ciudad, su estructura se muestra a continuación.

Figura 1. La ciudad como organización ambiental centrada en lo cultural



Seguidamente se procede a definir brevemente cada uno de los subconjuntos (factores) ambientales de acuerdo al ideograma ambiental desde su primera publicación (González *et al.*, 1984), hasta reformulaciones del planteamiento hechas por De Lisio en el año 1999.

Factores físico-químicos: corresponde a la materia en estado sólido, líquido, gaseoso o plasmático, sin alcanzar las propiedades que consideramos vitales (nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte)

Factores bióticos: lo vital engloba a todas las manifestaciones de vida que se suceden en el ambiente, vegetales como animales, incluyendo al hombre como ente biológico, sus interrelaciones, sus características y sus interacciones con los demás factores del ambiente.

Factores sociales: corresponden a la complejización de los factores bióticos de todas las especies, ya que es el comportamiento colectivo de esas especies. Lo conforman elementos tales como: la comunicación, la organización, el proceso de hominización, entre otros.

Factores culturales: están referidos a todos aquellos factores que el creados por el hombre (medios modificados) y que pueden considerarse como “artificiales”.

Basados en la definición del ambiente como sistema, visto como conjunto conformado por los subconjuntos antes descritos, se procede a crear un modelo orientado a objetos del ambiente, que servirá en la construcción de una base de datos ambiental.

EL ENFOQUE ORIENTADO A OBJETOS (O-O)

La orientación al objeto puede describirse como una estrategia para organizar un sistema visto como una colección de objetos interactuantes, los cuales combinan datos y comportamiento. Se basa en la premisa de que el

mundo real puede ser modelado como objetos o entidades distinguibles las cuales se agrupan conjuntamente en clases (Twumasi, 2002).

En el campo ambiental este enfoque se ha empleado en el modelado de SIG tanto a nivel nacional como internacional, se sugiere revisar el trabajo presentado en Montilva et al, 2004, allí destacan los artículos de Patrones de Diseño para el Modelado de Redes en Sistemas de Información Geográfica (Montilva y Ramos, 2004), y Spatio-Temporal Conceptual Modeling for GIS Applications” (Vargas et al., 2004).

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML)

Es un lenguaje de computación cuyo fin es especificar, visualizar, documentar y construir artefactos de software; entendiéndose por artefacto cualquier pieza de información que sea producida y usada en el proceso de desarrollo de software. Un artefacto puede ser un modelo o una descripción o un software (Zambrano et al., 1997); actualmente es un lenguaje estándar orientado a objetos, y por tanto, se utilizará como herramienta de desarrollo. Como bibliografía sobre modelos de sistemas geográficos bajo O-O, empleando el UML se sugiere consultar a Zeiler (1999)

Definiciones del enfoque orientado a objetos (O-O) utilizadas.

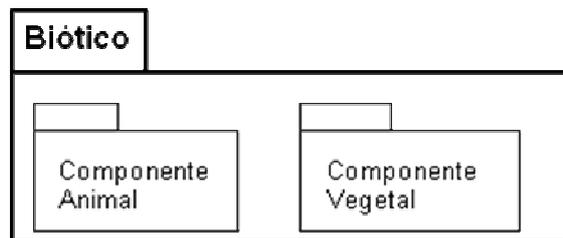
Se procederá a definir y ejemplificar algunos conceptos utilizados en el diseño del modelo policéntrico ambiental a crear. Estos son: categorías de clases, clase, objetos, tipos de relaciones y clase asociativa. A partir de dichas definiciones se elabora con el UML un diagrama de clases que representa la estructura policéntrica ambiental.

Categoría de Clases: de acuerdo al UML (1997), el modelo puede ser particionado en componentes denominados “paquetes”, que agrupan elementos del modelo. Cada paquete se corresponde con un subsistema del Sistema. Las categorías de clases (Booch, 1991) o paquetes son equivalentes a la estructura de Módulos que Rumbaugh et al. (1991) definen como

“constructores lógicos para agrupar clases, asociaciones, etc.”. Cuando los sistemas son complejos o manejan muchas variables su organización inicial puede comenzar mediante los paquetes.

De acuerdo al UML y basados en la definición de conjunto ambiental, los componentes animal y vegetal pueden verse como dos paquetes anidados en uno que representa al subconjunto Biótico (figura 2).

Figura 2. Ejemplo de anidación de paquetes



Booch (1991) define **clase** como “un conjunto de objetos que comparten una estructura común y un comportamiento común. Un **objeto** es simplemente una ocurrencia (instancia) de una clase”. La estructura común se representa por los atributos o propiedades que describen a los objetos, mientras que el comportamiento es a través de las operaciones.

Date (2001) y Rumbaugh (1991) se refieren al mismo concepto como clase de objetos (Object class), utilizado por Zeiler (1999) para agrupar objetos no espaciales; es decir, aquellos que por su naturaleza no son cartografiados, tal como propietarios de parcelas; diferenciándolos de objetos espaciales que se agrupan en clases espaciales (feature class), que entre sus propiedades incluyen las variables geometría y georeferencia; terminología abordada más adelante.

La clasificación es uno de los mecanismos más importante del proceso de abstracción y con el fin de ejemplificar este concepto se toma del componente físico-químico a las familias de rocas, las cuales pueden agruparse en una clase (figura 3).

En el UML las clases se denotan con un rectángulo con tres compartimientos, donde el primero contiene el nombre de la clase, el segundo los atributos y el tercero las operaciones (UML, 1997). Por ejemplo, veamos la clase: Familia de roca, sus atributos y sus métodos.

Figura 3. Clase de objetos: familia de roca



Descripción de los atributos

- oid_familia (identificador del objeto familia de roca): número correlativo asociado a cada familia de roca.
- nombre: se corresponde con el nombre de las familias de roca

La lista de atributos puede aumentar de acuerdo a las necesidades o requerimientos; por ejemplo, un atributo para almacenar la foto de cada familia sería recomendable con el fin de mostrar información adicional.

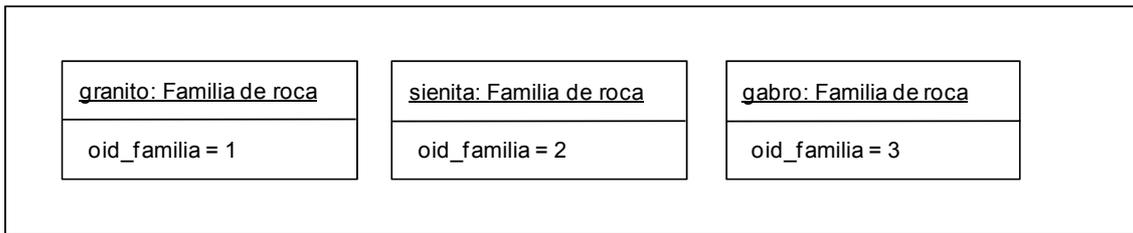
Descripción de las operaciones

- Registrar_familia_roca(): mediante esta operación se registran las familias de roca en el sistema.
- Listar_familias_roca(): despliega al usuario las familias de roca registradas en el sistema.

Objeto: es una entidad identificable real o abstracta y que juega un rol específico en el dominio de la aplicación (Twumasi, 2002). En el UML un objeto se representa por un rectángulo con dos compartimientos; en el compartimiento superior se muestran subrayados el nombre del objeto y la clase perteneciente. El segundo compartimiento muestra una lista de los

atributos para el objeto y sus valores. La figura 4 muestra una representación de objetos.

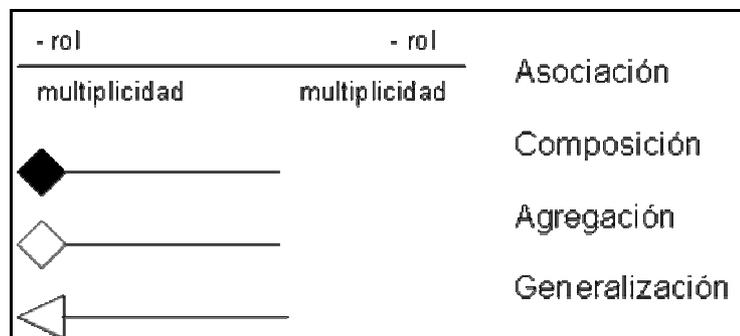
Figura 4. Objetos de la clase familia de roca



Tipos de relaciones

Una relación es una conexión semántica entre elementos del modelo. En el UML se definen relaciones de asociación, generalización y dependencia. La agregación y composición son casos especiales de relaciones de asociación, en la figura 5 se describe el concepto (Zambrano, 1997).

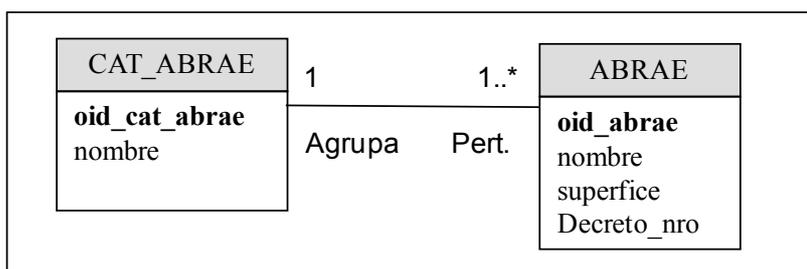
Figura 5. Tipos de relaciones. Notación UML



a) Asociación: es un enlace físico o conceptual entre objetos y denota algún tipo de dependencia semántica entre los objetos. Esta relación es mostrada mediante enlaces representados por líneas sólidas que conectan los elementos y que son enriquecidas con una variedad de adornos que indican sus propiedades, la figura 6 describe el concepto.

- Asociación binaria: se establece entre dos clases y es representada por una línea que las relaciona; cada línea de la relación determina un rol, que indica el comportamiento de una clase en la asociación.

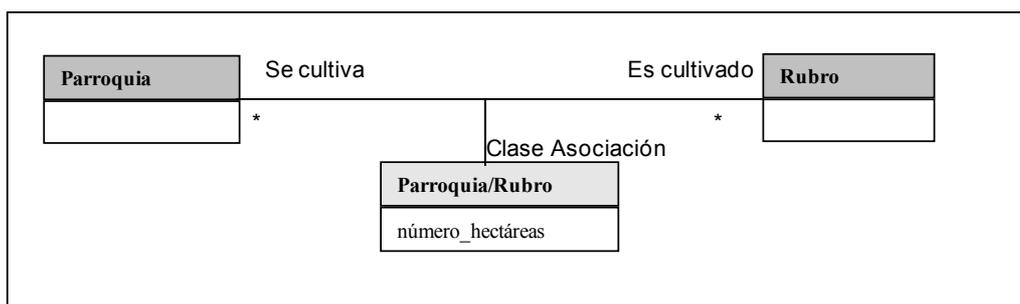
Figura 6. Asociación binaria



Ejemplo de lo anterior se presenta en la figura 6, considerando la figuras jurídico administrativas denominadas áreas bajo régimen especial (ABRAE), se interpreta de la siguiente forma: cada categoría de ABRAE (Parque Nacional-PN, Refugio de Fauna-RF, entre otras) agrupa muchas ABRAES (PN El Ávila, PN Sierra Nevada, RF Cuare) y cada ABRAE pertenece a una categoría.

Si la asociación es compleja puede definirse una clase que contenga las propiedades de la asociación, y es llamada “clase asociación”, representa una asociación que tiene propiedades de clase (atributos, operaciones y asociaciones); se denota mediante un rectángulo de clase atado a una asociación por medio de una línea punteada.

Figura 7. Clase asociación



La asociación de las clases de la figura 7 se interpreta de la siguiente forma, tomando como ejemplo un área de producción agrícola: en una parroquia se cultivan varios rubros agrícolas, y cada rubro es cultivado en algunas parroquias. La clase asociación Parroquia/Rubro presenta un atributo llamado número_de_hectáreas, e indica las hectáreas dedicadas a un

determinado rubro en una parroquia dada. También es necesario mencionar que una asociación entre tres o más clases se denomina asociación n-aria.

Un rol, tal como se menciona en la definición de asociación binaria, puede tener los siguientes adornos, y son:

- El nombre del rol, vinculado al extremo de la asociación.
- Multiplicidad, la cual especifica el rango de la cardinalidad permitida (un intervalo con el formato: *límite-inferior..límite-superior*; un entero; el símbolo * que denota un número ilimitado de elementos)

b) Agregación: es una forma de asociación que especifica una relación todo-parte entre el agregado (el todo) y sus componentes (las partes).

c) Composición: es una agregación fuerte en donde “el todo” y “las partes” coinciden en su tiempo de vida.

d) Generalización o herencia: es una relación entre una clase (superclase) y una o más variaciones de la clase (subclases). La superclase contiene los atributos y métodos comunes mientras que la subclase los heredan añadiendo sus propios atributos y operaciones.

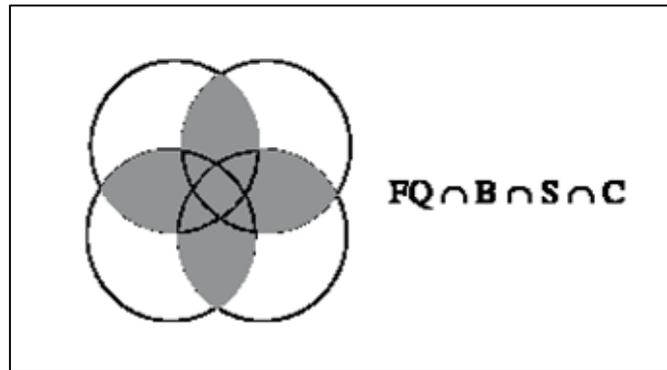
ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE CLASES

En el UML se desarrollan diferentes modelos y cada uno está asociado a un diagrama gráfico que provee una visión o perspectiva del sistema (Zambrano, 1997). En el diagrama de clases se describe la estructura estática del modelo; los elementos mostrados pueden incluir paquetes, clases y sus estructuras internas, las relaciones e incluso objetos.

Modelo policéntrico ambiental O-O. Primer nivel de abstracción

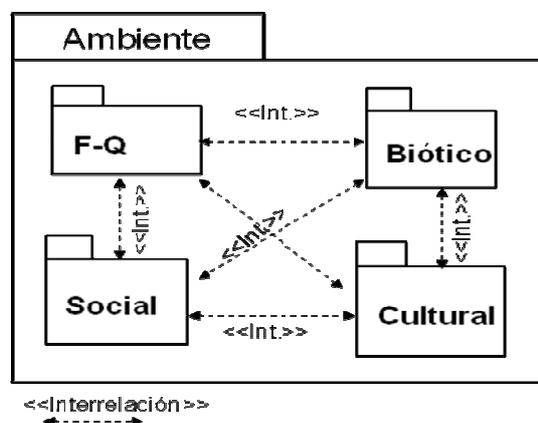
Basados en la definición estructural de ambiente como conjunto (De Lisio, 2001), en donde cada uno de los subconjuntos (FQ,B,S,C) que lo componen son vistos como subsistemas interceptados (figura 8), se procede a representar dicha estructura de acuerdo al enfoque O-O; se representan como cuatro categorías de clases (paquetes) al mismo nivel, agrupados en un paquete denominado Ambiente (figura 9).

Figura 8. Intersección en el conjunto ambiental



Las intersecciones de los conjuntos expresan algebraicamente el significado entre las interrelaciones e interacciones, y a su vez entre los componentes ambientales; para su representación, cada paquete es interconectado con los demás por flechas punteadas en sentido doble.

Figura 9. El policentrismo ambiental O-O. Modelo a nivel de paquetes



Complementando el diagrama de clases ambientales

Con el fin de dar operatividad al modelo se deben “poblar” los paquetes identificados en la figura 9 con clases y relaciones, que por su naturaleza se “ubiquen” dentro de la categoría específica. Para lograr esta tarea se utiliza la información del trabajo del CENAMB (1995), conocido como MOCLOA.

Esta propuesta se sustenta en la interpretación de los distintos componentes físico-químicos, bióticos, sociales y culturales en función de las fases operativas a ser consideradas en la ejecución de un estudio ambiental. El modelo queda estructurado en función de ocho grandes componentes: geológico, geomorfológico, atmosférico, hídrico, edáfico, animal, vegetal y humano; a su vez se subdividen en entidades, subentidades y atributos, seleccionados de acuerdo a su participación en las etapas de estudio ambiental que son: identificación, cartográfica, clasificación, interpretación y evaluación.

Basados principalmente en las fases de identificación y cartografía del MOCLOA, el cuadro 1 muestra un extracto de información para diseñarla como paquetes, clases y relaciones. Asimismo los ocho componentes y sus elementos ambientales pueden distribuirse en los subconjuntos FQ, B, S, C de acuerdo al tema tratado.

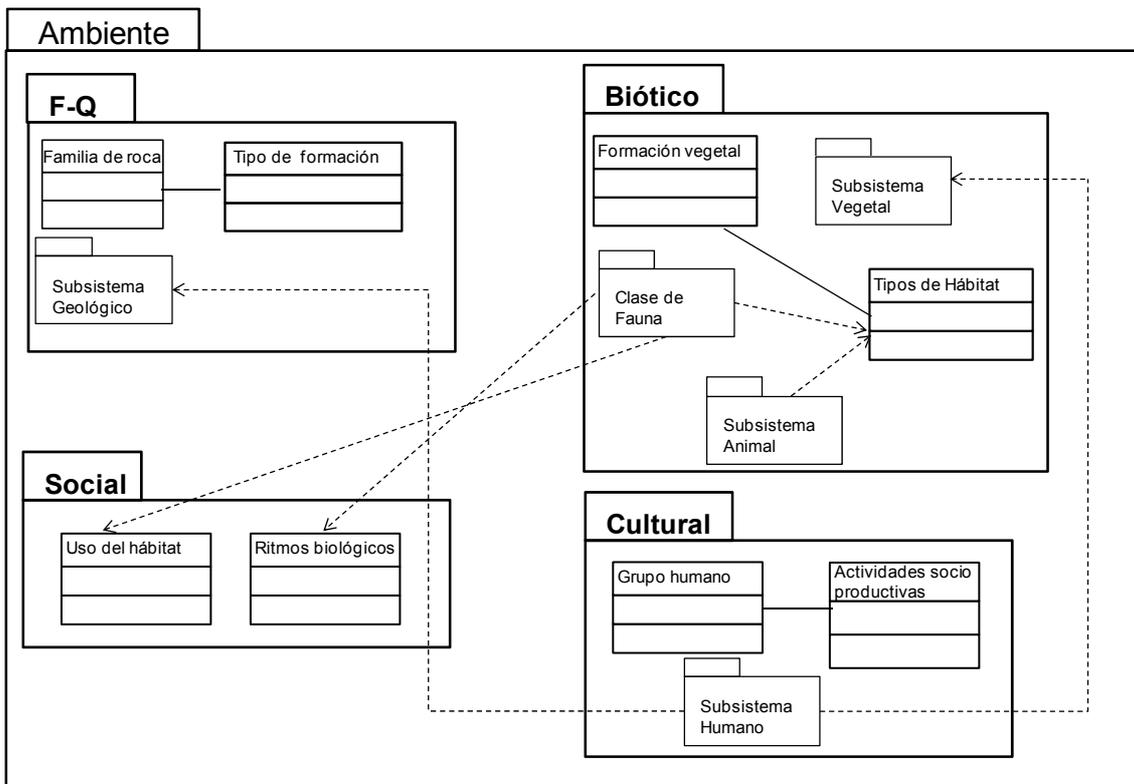
Cuadro 1. Ejemplo de componentes ambientales

Subconjunto /Componente	Elemento	Definición
FQ/Geológico	Clase de roca	Se refiere a la morfología de la roca, predominancia de algún mineral o su origen, las rocas son de 3 clases: ígneas, sedimentarias y metamórficas.
	Familia de roca	Agrupación de rocas que tienen una clase y un tipo común.
	Formación geológica	Es una unidad geológica estratificada definida por una litología primaria.
	Subsistema geológico	Expresa la funcionalidad de las formaciones geológicas como sustento, causa y efecto de otros subsistemas.
FQ/Geomorfológico	Tipo de paisaje	Porción del espacio, medido en decenas de Km ² , constituido por una repetición de tipos de relieves idénticos o por una asociación de tipos de relieves diferentes
	Tipo de relieve	Formas de la corteza terrestre relativo a los componentes de un paisaje.
Biótico/Vegetal	Formación vegetal	Nivel de integración conformado por la agrupación de los tipos de vegetación que poseen un mismo aspecto fisionómico.
	Subsistema vegetal	Disposición espacial de los fitotopos cuya interpretación se vincula directamente con su dinámica y funcionamiento.
	Uso del hábitat	Formas como los animales usan el espacio, el alimento y la cobertura vegetal y/o agua disponible en distintos hábitats.

Social / Animal	Ritmos biológicos	Se refiere a los patrones o ritmos característicos de ciertos animales.
	Territorialidad	La tendencia manifiesta a poseer, defender y organizar un área geográfica delimitada
Cultural/ Humano	Grupo humano	Se refiere a la predominancia en cantidad de habitantes de un grupo (criollo, indígena) en un asentamiento humano.
	Subsistema humano	Conjunto de atributos que conforman o establecen la dinámica interna y de su funcionalidad en base a su componente poblacional y la influencia de la base territorial.

Basados en los conceptos anteriores se conforman clases o paquetes que pueden refinarse *a posteriori* de acuerdo al interés del estudio (figura 10); las líneas punteadas indican interrelaciones entre paquetes y/o clases a un nivel general; mientras que las líneas sólidas indican relaciones consolidadas entre clases; que serán detalladas más adelante, al tomar como caso de estudio al componente geológico del subconjunto físico-químico.

Figura 10. El policentrismo ambiental O-O. Paquetes y clases



Describiendo las relaciones entre las clases y agregando atributos

Una vez identificadas las clases, se procede a interconectarlas mediante relaciones y construir de esta manera un sistema que pueda implantarse mediante el uso de una tecnología objeto-relacional, cuyo producto puede ser una base de datos ambiental. A continuación, y a manera de ejemplo, se describen y se detallan las relaciones entre tres clases del subconjunto físico-químico: clase de roca, familia de roca y formación geológica.

Relación entre las clases: Clase de roca y Familia de roca

Tipo de relación: composición.

Multiplicidad: uno a muchos (1-----*)

Rol de la relación (lectura): Cada clase de roca está compuesta por varias familias de roca y cada familia de roca pertenece a una sola clase de roca.

Relación entre las Clases: Familia de roca y Tipo de formación

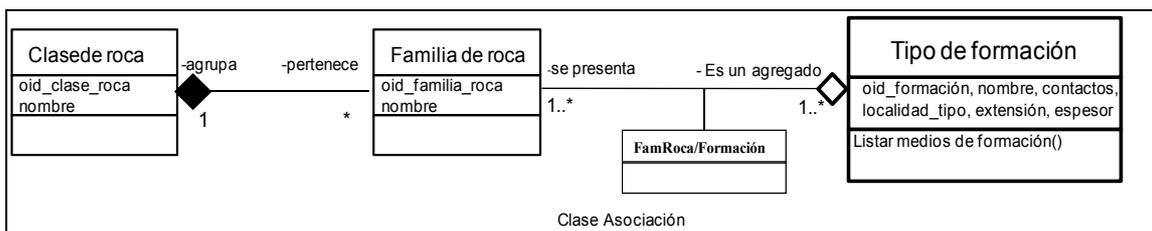
Tipo de relación: agregación.

Multiplicidad: muchos a muchos (1..*-----1..*)

Rol de la relación (lectura): Cada tipo de formación es un agregado de varias familias de rocas y una determinada familia de roca se presenta en varios tipos de formaciones geológicas.

En el caso de las relaciones con multiplicidad del tipo “muchos a muchos” se necesita de una clase asociativa (FamRoca/formación) para establecer físicamente el vínculo. Una de las formas de implantar las relaciones intra o inter componentes es a través de las clases asociativas. El diagrama de clases para el ejemplo es el siguiente:

Figura 11. Clases de objetos. Componente geológico



A este nivel de abstracción – clases de objetos y asociaciones- puede darse operatividad al modelo mediante un sistema manejador de bases de datos relacional tal como Mysql, Access, SQLServer, Oracle, etc.

AÑADIENDO LA VARIABLE ESPACIAL

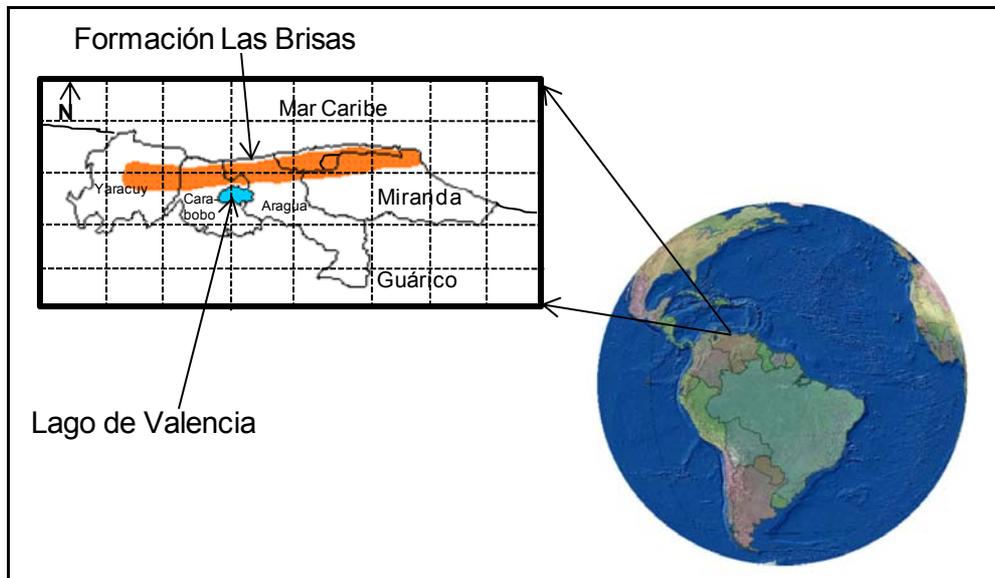
En el contexto ambiental gran cantidad de información es espacializable. En el policentrismo ambiental se afirma que “el espacio-tiempo del conjunto ambiental es el resultado del acoplamiento entre los espacio-tiempos propios de cada componente” (De Lisio, 2001). En el MOCLOA (CENAMB, 1995) se establece para ello la fase cartográfica en donde se definen entidades y atributos espacializables. El enfoque O-O interpolado a la geomática ofrece los conceptos clase espacial y objeto espacial, que se definen a continuación.

Clase espacial: es una colección de objetos geográficos que tienen el mismo tipo de geometría (línea, punto o polígono), mismos atributos y la misma referencia espacial; permite agrupar objetos espaciales homogéneos en una sola unidad, con propósitos de almacenamiento.

Objeto espacial (geo-objetos): son abstracciones del espacio geográfico real que pueden corresponder con elementos de la naturaleza o con elementos producto de la mano del hombre. Su característica intrínseca es la referencia espacial en dos o tres dimensiones. Conforman las ocurrencias (instancias) de las clases espaciales. Por ejemplo, para la clase espacial: centros poblados, se tienen los siguientes objetos espaciales: El Sombrero, Barrancas, Uracoa, etc.

Retomando el ejemplo, se tiene que el tipo de formación geológica es una clase espacial, ya que sus objetos espaciales pueden ser cartografiados, entre ellos: formación geológica Las Brisas, La Tortuga, Las Mercedes, Chaguaramas, como ejemplos. La figura 12 muestra la ubicación del geo-objeto poligonal Formación Las Brisas, de acuerdo a la división política-territorial del país.

FIGURA 12. Objeto espacial formación Las Brisas



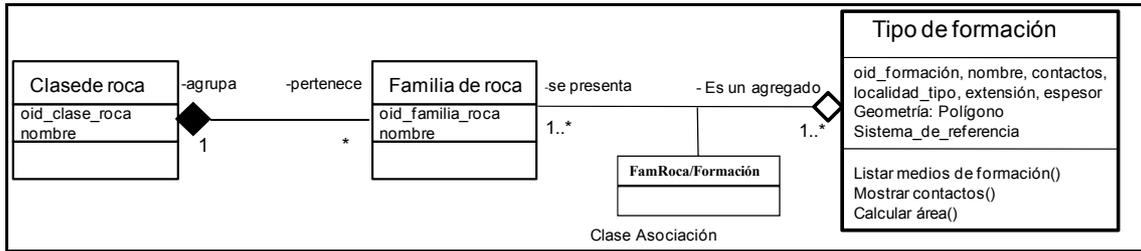
En la figura anterior se pueden identificar dos clases espaciales poligonales adicionales.

- Clase espacial: entidad federal; se identifican los siguientes objetos espaciales: los estados Miranda, Vargas, Distrito Capital, Aragua, Carabobo y Yaracuy.
- Clase espacial: cuerpo de agua que muestra al geo-objeto, Lago de Valencia.

Al sustituir la clase de objetos: tipo de formación, por una clase espacial del mismo nombre; el diagrama final de clases queda estructurado tal y como se muestra en la figura 13. A la clase espacial tipo de formación se le incluyen los atributos tipo de geometría (polígonos en este caso) y sistema de referencia; así como las operaciones mostrar contactos y calcular área, de naturaleza espacial.

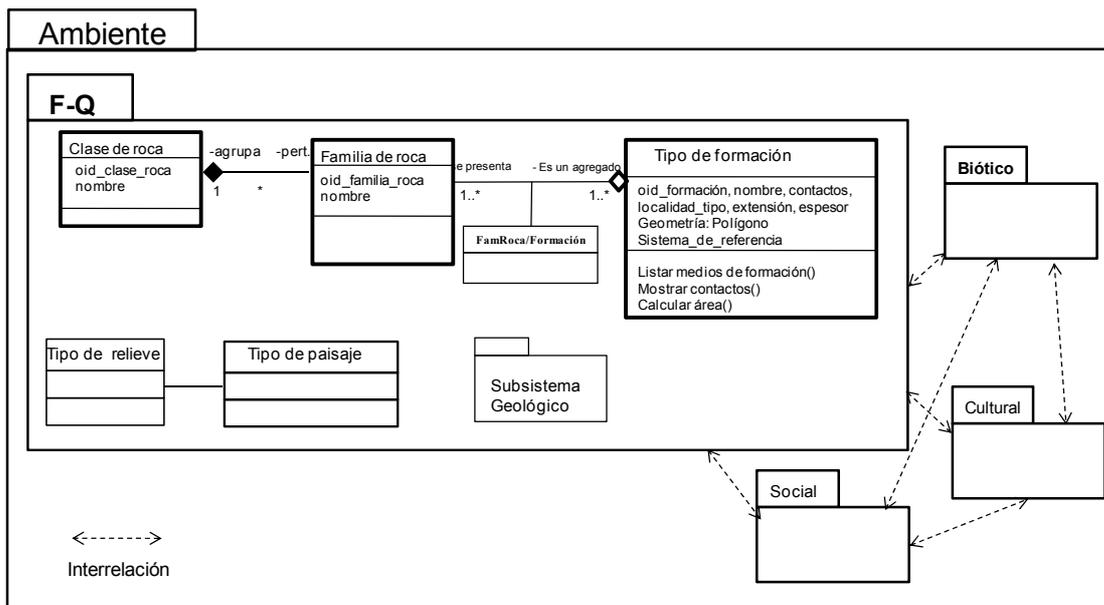
A este nivel de abstracción – clases de objetos, clases espaciales y asociaciones- se puede implementar el sistema mediante una herramienta geotecnológica objeto-relacional.

Figura 13. Clases espaciales y clases de objetos



Seguidamente se contextualiza el diagrama de clases espaciales y de objetos mostrado en la figura 14 respecto al conjunto policéntrico ambiental global.

Figura 14. Modelo del policentrismo ambiental O-O. Detalle componente FQ



IMPLEMENTANDO EL MODELO

En esta sección se expone la forma de implantar el modelo a través del uso de varias herramientas de desarrollo sistemas que soporten el enfoque.

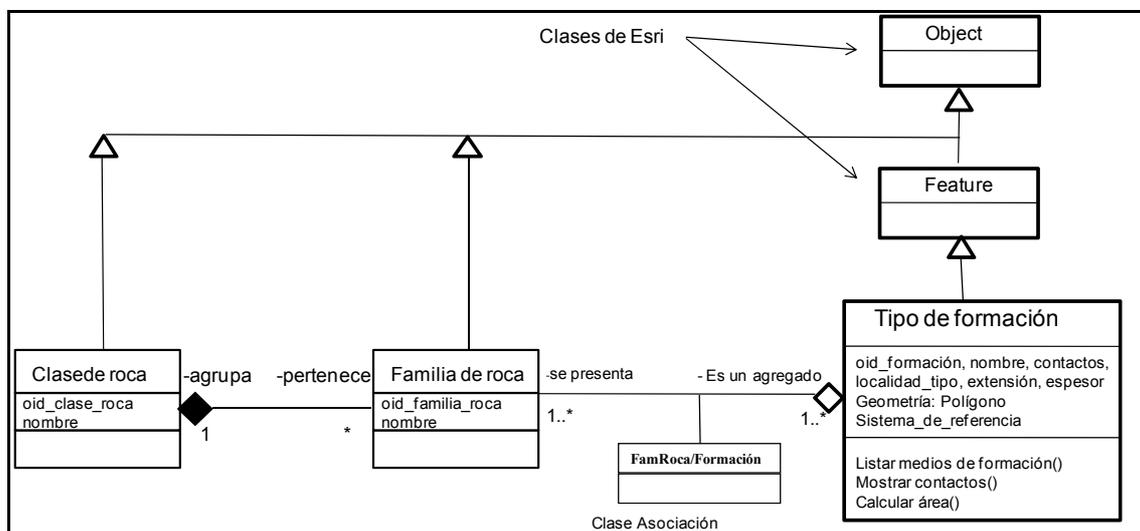
El modelo objeto-relacional

Llamado también modelo relacional extendido es una integración de los conceptos de los modelos relacional y orientado a objetos. En este enfoque se incorporan a las bases de datos relacionales los conceptos del enfoque O-O; permitiendo así las ventajas de la orientación a objeto, a la vez que se mantiene la funcionalidad del modelo relacional. Actualmente varios sistemas manejadores de bases de datos y SIG incorporan características orientadas a objetos en los manejadores relacionales, se tienen por ejemplo el Oracle 8 y el modelo de Geodatabases de ESRI (Twumasi, 2002).

Una **geodatabase** es un modelo objeto-relacional para el almacenamiento de objetos geográficos, sus atributos, sus relaciones (espaciales o no), y comportamiento de cada uno de sus elementos (ESRI, 2002); esta se implementa a través de un sistema manejador de bases de datos relacional que soporte dicha tecnología.

Finalmente con el empleo del Framework (conjunto de clases concebidas para trabajar en conjunto) de Esri, se extienden las clases “Feature class” y “Object class” para usar las operaciones que estas últimas proveen. De esta manera, a través del ArcGis (un SIG) se implementa el modelo de componentes geológicos, cuya información se gestionará desde una base de datos geográfica (Geodatabase).

Figura 15. Diagrama de clases. Nivel de implementación



ALCANCES

En este trabajo se modela componentes estructurales del ambiente, que representan la estructura estática del sistema. La realidad ambiental es mucho más compleja, ya que incluye la dinámica, funcionamiento y sensibilidad de los componentes ambientales; temas que pueden ser abordados por los modelos funcionales y dinámicos de la metodología O-O en sintonía con otras herramientas para el modelado matemático.

En la etapa correspondiente a la implantación, se utiliza el programa de sistema de información ArcGIS de Esri que es propietario o comercial (figura 15); como alternativa de software libre, se sugiere explorar las potencialidades de los siguientes programas:

- El PostgreSQL: sistema de base de datos relacional libre que conjuntamente con la extensión PostGIS, módulo que añade soporte de objetos geográficos a la base de datos, permite su utilización en Sistemas de Información Geográfica (Muñoz y García, 2006).
- El Sistema de Información Geográfica GRASS (acrónimo en inglés de Geographic Resources Analysis Support System), cuya información y descarga puede efectuarse desde el sitio web: <http://grass.itc.it>

CONCLUSIONES

De las múltiples definiciones de ambiente consultadas, la estructura policéntrica del ambiente compuesta por los subconjuntos FQ, B, S y C, interceptados, se ajusta bien para traducirse al enfoque de sistemas O-O, debido a que el soporte matemático es el mismo; esto se demuestra a través del desarrollo del ejemplo basado en componentes geológicos.

El construir sistemas ambientales que por su complejidad o extensión requieran de una cantidad significativa de variables ambientales, bajo el

enfoque O-O, permite su documentación, mantenimiento y extensión; a la vez sugiere la independencia de la plataforma en que se ejecutan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Centro de Estudios Integrales del Ambiente (CENAMB), U.C.V. (1995). Propuesta de Modelo Conceptual Lógico Operativo del Ambiente para Lagoven S.A. CENAMB. Vicerrectorado Académico. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
2. Booch, G. (1991). Object Oriented Analysis and Design With Applications, 2d Ed. Redwood city, California: Benjamin/Cummings Publishing
3. Date, C. (2001). Introducción a los Sistemas de bases de datos. Séptima Edición. México: Pearson Educación.
4. De Lisio, A (1999). Entropía y neguentropía urbanas. Bases para la reformulación del estudio ambiental de la ciudad. El crecimiento y expansión de Caracas como caso de investigación. Tesis doctoral. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
5. De Lisio, A (2001) Del determinismo de la duración a la apertura de un instante. Propuesta ante el pensamiento ambiental evolucionista. *Desarrollo e Medio Ambiente*, n.4, p.9-22, jul./dez 2001.
6. ESRI (2002). Building a Geodatabase. 380 New York St. Redlands, California.
7. González, A (1984). El Ideograma Ambiental. Cuaderno 8401. Centro de Estudios Integrales del Ambiente. Universidad Central de Venezuela.
8. Montilva, J., Besembel I., Pérez M., Losavio F., (2004). Sistemas de Información e Ingeniería de Software. Temas Selectos. Mérida: Centro de Estudios en Informática.
9. Muñoz, C & García, C (2006). Instalación de PostgreSQL con la extensión PostGIS como base de datos espacial. Curso: Puesta en marcha y explotación de geoservicios del Open Geospatial Consortium. Universidad Politécnica de Madrid, España.
10. Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani W., Eddy F., Lorensen W., (1991). Object-Oriented Modeling and Design. General Electric Research and Development Center. Schenectady, New York: Prentice Hall.
11. Twumasi, O (2002). Modelling spatial object behaviours in object-relational geodatabase. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede.
12. Unified Modeling Language UML. (1997) Notation Guide. Version 1.0. Documento en Línea. Disponible: <http://www.rational.com>

13. Zambrano N., Cecilia M., y Mariela M., (1997). Acerca de UML: El lenguaje de Modelación Unificado. Escuela de Computación. Facultad de Ciencias. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
14. Zeiler, M. (1999). Modeling our World. Environmental System Research Institute, Inc. 380 New York St. Redlands, California.

Xavier Bustos Catarí. Licenciado en Ciencias de la Computación. UCV, 1994. MSc. en Ciencias de la Computación. Universidad Central de Venezuela. Investigador- Docente del CENAMB en las áreas de: Educación a Distancia, Sistema de Información Geográfica y Teledetección, Sistemas de Bases de Datos, Desarrollo de Sistemas bajo el enfoque Orientado a Objetos e Internet. Profesor de las materias “Computación para los Estudios Ambientales” en la Escuela de Geografía de la UCV (pregrado). e “Informática para los Estudios Ambientales” de la Maestría en geografía: Análisis espacial y Gestión del Territorio. Correo electrónico: xavierbustos@gmail.com.