

Implementación de un sistema de información para soporte a la gestión de los recursos hídricos

TH1109.2

Informe final

SUBCOORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA Y MECÁNICA DE RÍOS
COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA

Participantes:

M.C. Jaime Velázquez Álvarez
Dr. Héctor Sanvicente Sánchez
M.C. Yolanda Solís Alvarado
M.I. Jaime Rivera Benites

Marzo de 2012

Índice

1.	Introducción	1
2.	Objetivos	1
2.1	Objetivo General.....	2
2.2	Objetivos específicos	2
3.	Metodología	2
3.1	Recopilación y análisis de requerimientos	2
3.1.1	Requerimientos de datos geográficos y estadísticos	3
3.1.2	Requerimientos de consulta y actualización	4
3.1.3	Recopilación de información	6
3.2	Elaboración de modelos de la base de datos y propuesta de interfaces de consulta y actualización.....	8
3.2.1	Modelos conceptual, lógico y físico de la base de datos.....	8
3.2.2	Propuesta de consulta y actualización	15
3.3	Implementación de la base de datos y la interfaz de usuario	24
3.3.1	Implementación de la base de datos geográfica.....	24
3.3.2	Implementación de la base de datos estadística	26
3.3.3	Implementación de la interfaz de usuario.....	27
3.4	Elaboración de documentos y del informe final.....	28
4.	Resultados	28
5.	Conclusiones y recomendaciones	31
6.	Bibliografía	32

Resumen ejecutivo

En este documento se describen los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos dentro del proyecto denominado “Implementación de un sistema de información para soporte a la gestión de los recursos hídricos”.

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar un sistema de información para apoyar la gestión de los recursos hídricos. El sistema se compone de una base de datos geográfica, que contiene mapas y datos estadísticos que describen diversos aspectos y variables que son de interés para la gestión, y una interfaz para consultar y actualizar los datos estadísticos contenidos en ella. El universo de datos contenidos en la base de datos fue clasificado en los tres ejes del desarrollo sustentable: ambiental, social y económico, los cuales a su vez fueron divididos en sistemas.

La base de datos geográfica es de tipo corporativo y fue implementada con el software SQL server 2008, ArcInfo y ArcSDE, éstos últimos en versión 10. Los datos estadísticos fueron almacenados dentro de la base de datos geográfica en forma de un data warehouse. Para su almacenamiento se usó el modelo dimensional, en el cual el usuario percibe los datos como cubos de información, lo que facilita su consulta y análisis. El modelo lógico de un modelo dimensional se compone de diagramas en forma de estrella, en donde se tienen tablas al centro, conteniendo las variables o hechos de interés, y tablas de dimensiones, conectadas a esa tabla y ubicadas alrededor.

La interfaz de consulta de los datos contenidos en la geobase se compone de tableros de información en donde los datos se presentan en forma de reportes tabulares y gráficos, y se puede realizar la consulta definiendo los valores en las dimensiones temporal o geográfica, u otras de interés. La interfaz de actualización de datos estadísticos utiliza formatos en Excel en donde los usuarios capturan los datos que desean actualizar, y otro formato en donde se especifican las reglas de validación que se aplicarán a los datos para asegurarse que son correctos.

El sistema está disponible en la intranet del instituto en la dirección <http://sisgrh.imta.mx/sisgrh> y esta accesible a todos los usuarios.

1. Introducción

La gestión de los recursos hídricos requiere contar con información acerca de la oferta, la demanda y la calidad del agua, y que describa, entre otras cosas, su comportamiento a lo largo del tiempo así como su distribución en el espacio. Por otro lado, esta información debe estar organizada de una forma que permita que su acceso sea eficiente y que pueda ser fácilmente consultada, ya sea a través de una intranet o de internet, por ejemplo. Otra característica que debe tener esta información, para que sea de utilidad, es que debe estar actualizada y debe ser consistente, esto último quiere decir que debe ser correcta.

Dentro de los proyectos que la Coordinación de Hidrología del Instituto lleva a cabo, existen aquéllos que se relacionan con la gestión del recurso. A lo largo del tiempo se ha identificado la necesidad de contar con un sistema de información que sirva de soporte al desarrollo de estos proyectos y al público en general que esté interesado en conocer la situación que guarda el recurso en sus diferentes aspectos.

En virtud de lo anterior, se planteó el desarrollo de este proyecto interno, denominado “Implementación de un sistema de soporte a la gestión de los recursos hídricos”, cuyo objetivo principal fue el desarrollo de un sistema informático conteniendo los datos más relevantes requeridos en la gestión de los recursos hídricos y una interfaz para consultar dichos datos y actualizarlos.

Este sistema de información pondrá a disposición del personal del instituto datos que seguramente serán de utilidad para los proyectos que se realizan no solo de gestión, sino de otros temas que abordan la problemática del sector hídrico en México.

Este documento describe los objetivos planteados, la metodología empleada y los resultados obtenidos dentro de este proyecto realizado para la implementación del sistema mencionado.

2. Objetivos

Los objetivos planteados para el proyecto fueron los siguientes:

2.1 Objetivo General

- Implementar un sistema de información para el soporte a proyectos relacionados con la gestión y planeación de los recursos hídricos.

2.2 Objetivos específicos

- Implementar una base de datos geográfica que contenga los datos espaciales y estadísticos requeridos por la gestión.
- Implementar una interfaz de consulta y actualización de la información contenida en la base de datos.
- Elaborar los documentos que describan el desarrollo de la base de datos y la interfaz además del informe final del proyecto.

3. Metodología

Las actividades que se contemplaron para llevar a cabo el proyecto fueron las siguientes:

- Recopilación y análisis de requerimientos
- Elaboración de modelos de la base de datos y propuesta de consulta y actualización
- Implementación de la base de datos y la interfaz de usuario
- Elaboración de documentos y del informe final

A continuación se describe la metodología que se empleó para realizar cada una de las actividades mencionadas.

3.1 Recopilación y análisis de requerimientos

El propósito de esta actividad fue conocer las necesidades o requerimientos en cuanto a datos, tanto geográficos como estadísticos, que comúnmente se utilizan en proyectos relacionados con la gestión de los recursos hídricos así como las necesidades de consulta y actualización de estos datos.

Considerando lo anterior, se presentan por separado en esta sección los requerimientos de datos geográficos y estadísticos involucrados en la gestión de los recursos hídricos y los requerimientos de consulta y actualización.

3.1.1 Requerimientos de datos geográficos y estadísticos

Para determinar el conjunto de datos que comúnmente se requieren en la gestión y que el sistema debería contener se tuvieron reuniones con personal del IMTA y se revisaron diversos documentos de apoyo a la gestión como las Estadísticas del agua en México, Estadísticas del agua a nivel de región hidrológico-admva, Plan Nacional Hídrico y otros documentos.

Una vez que se identificó el conjunto de datos, se procedió a definir una forma de organizarlos con el fin de plasmarlos en un diagrama y así tener claridad tanto para los usuarios como para los desarrolladores del sistema durante todo el desarrollo del proyecto. Para este propósito se analizaron diferentes alternativas. Algunas opciones fueron organizar los datos en grupos correspondientes a aguas superficiales, aguas subterráneas y calidad del agua; otra opción fue organizar los datos por demanda, oferta y calidad del agua. Finalmente, después de una discusión con personal que se dedica al desarrollo de proyectos de planeación y gestión de recursos hídricos, se llegó a la conclusión de que la forma más adecuada de organizar los datos era agruparlos de acuerdo a los 3 ejes del desarrollo sustentable:

- Ambiental
- Económico
- Social

Dichos ejes son los que se consideran en la mayoría de los proyectos de gestión del agua, e incluso en proyectos de otro tipo. Cada eje se dividió en sistemas, los cuales fueron los siguientes:

Eje	Sistemas
Ambiental	Acuático
	Atmosférico
	Terrestre
Económico	Productivo
	Financiero
Social	Normativo, de organización y gestión
	Desarrollo humano

Una vez que se definieron los sistemas de caja eje, se procedió a realizar un análisis de todo el universo de datos que se utiliza en la gestión y se asignó cada dato al eje que le correspondía. La relación del conjunto de datos resultante del análisis se puso en un archivo de Excel, denominado “Universo de datos

SISGRH.xls”, el cual se encuentra en el directorio “Metodología” del DVD que está en el apartado “Cierre”, en la sección “Informe técnico final entregado al cliente”, de la carpeta que contiene el Acervo técnico del proyecto. Finalmente, se elaboró también un modelo conceptual usando el software Cmap para plasmar en él los ejes, los sistemas y los datos tanto geográficos como estadísticos que fueron considerados en cada sistema.

El modelo conceptual se presenta impreso en la sección “Planos, mapas, esquemas” del apartado “Ejecución o Desarrollo del Proyecto”, dentro de la carpeta mencionada. El archivo digital de este modelo (Modelo_conceptual_base_de_datos_SISGRH.cmap) se encuentra también en el DVD, en el directorio “Metodología” ,y ahí dentro del subdirectorio “modelos de la base de datos”. El modelo conceptual se explica con un poco más de detalle en el inciso 3.2.1 de este informe.

3.1.2 Requerimientos de consulta y actualización

Para definir los requerimientos se realizaron reuniones con personas del IMTA que se dedican a proyectos de gestión de recursos hídricos. Los requerimientos se clasifican en 2 tipos:

Requerimientos funcionales.- especifican las funciones que el sistema deberá ofrecer al usuario para cumplir con una tarea que es de su interés para obtener un resultado.

Requerimientos no funcionales.- son requerimientos que tienen que ver con las características de implementación de esas funciones como tiempos de respuesta, plataforma en la que serán desarrolladas, seguridad, etc.

Los requerimientos de consulta y actualización que se identificaron fueron los siguientes:

- Requerimientos funcionales generales de consulta
 - Visualizar el valor de una variable de un tema de interés a lo largo del tiempo
 - Visualizar la distribución de una variable en el ámbito geográfico para un cierto año.

- Visualizar el comportamiento de una variable a diferentes niveles geográficos, por ejemplo a nivel municipal, estatal o a nivel de región hidrológico-admva.
 - Exportar los datos consultados un archivo en formato Excel o PDF.
- Requerimientos funcionales de actualización
- Ingresar al sistema con un nombre de usuario y password para actualizar un tema de datos o consultar los datos.
 - Dar de alta a un usuario especificando sus datos personales, asignando un nombre de usuario y password, y asignando permisos para actualizar un tema.
 - Asignar un tema a un usuario para que lo actualice.
 - Subir al sistema un archivo de Excel.conteniendo datos para actualizar un tema.
 - Validar los datos contenidos en un archivo de Excel.
 - Insertar los datos validados a la base de datos.
- Requerimientos no funcionales
- El sistema podrá ser accesible usando un navegador de internet, como Internet Explorer o Firefox
 - La presentación de los datos de un tema en forma de gráficas no deberá exceder de 2 minutos.
 - La presentación de los datos de un tema en forma de mapa no deberá exceder de 2 minutos.
 - Para usar el sistema el usuario no deberá requerir tener instalado ningún software, solamente un explorador de internet.
 - La base de datos y los programas que componen el funcionamiento del sistema deberán estar residentes en un servidor del IMTA.
 - Para actualizar los datos el sistema deberá solicitar un nombre de usuario y un password.
 - El sistema operativo para el desarrollo del sistema de información será Windows.
 - La plataforma para implementar la base de datos geográfica será SQL Server 2008, ArcGIS Desktop y ArcSDE.
 - Las funciones para consulta de mapas serán implementadas con ArcGIS Server.
 - Los reportes para consultar la información estadística serán implementados con un software de inteligencia de negocios (BI, por sus siglas en inglés) el cual será definido durante el transcurso del

proyecto. El software de BI que se utilice deberá tener la funcionalidad para utilizar los servicios de mapas creados con el software ArcGIS server.

Una vez que se definieron los requerimientos funcionales se procedieron a analizar para identificar los diferentes tipos de usuarios, los módulos que iban a componer el sistema y los casos de uso que correspondían a las diferentes acciones que los usuarios estarían interesados en realizar.

Los casos de uso identificados se describen en el documento “Casos de uso sistema SISGRH.docx”, dentro del directorio denominado “Metodología”, del DVD del informe final que se encuentra en la carpeta del proyecto.

3.1.3 Recopilación de información

Una vez que se definió la información geográfica y estadística que se requería para el sistema se procedió a recopilar esta información de diferentes fuentes. Una fuente fueron las publicaciones que la Conagua produce principalmente de forma anual sobre la situación del recurso hídrico en varios aspectos, por ejemplo las estadísticas agrícolas, Situación del sector agua potable y saneamiento y las Estadísticas del agua en México, entre otros. Otra fuente fueron los diferentes sitios en internet en donde se publican datos sobre la situación del recurso hídrico en México.

Durante la revisión de la información se identificó la necesidad de contar con datos a nivel municipio ya que éste es el nivel básico al cual se requieren datos en diversos estudios de gestión. A partir de datos a este nivel se pueden hacer agrupaciones a nivel de región hidrológico-admva, entidad federativa y o a nivel de unidades de planeación denominadas “células”; estos niveles son los comúnmente usados en proyectos de gestión. Los temas principales en los cuales se requiere estos análisis son fisiografía e hidrología. Por otro lado, la consulta de estos datos se hace más flexible cuando se organizan en cubos de información.

Un cubo de datos es una técnica utilizada en sistemas de información, en la cual el usuario percibe los datos almacenados en una base de datos como un cubo, en donde cada eje que conforma dicho cubo representa una dimensión a lo largo de la cual se desean analizar los datos. En la figura 1, mostrada abajo, se presenta un cubo de datos con tres dimensiones: tiempo, espacio y variable.

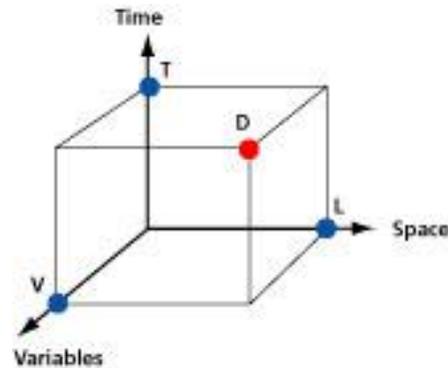


Figura 1. Cubo de datos con 3 dimensiones: tiempo, espacio y variable

Los cubos de datos proporcionan muchas ventajas entre ellas la flexibilidad para consultar los datos, rapidez en su consulta, simplicidad del modelo lógico subyacente a los cubos (modelo dimensional) lo cual le permite ser entendido más fácilmente por usuarios y desarrolladores, y la posibilidad de programar interfaces intuitivas para su consulta. El paquete Excel permite visualizar los datos como cubos mediante el uso de tablas dinámicas.

Considerando lo anterior, y para satisfacer la necesidad mencionada, se hizo una orden de servicio denominada “Construcción de los cubos nacionales de información fisiográfica e hidrológica a nivel subregión de planeación”. El informe de esta orden y el disco conteniendo sus resultados se muestran en el apartado “Otros” de la carpeta del Acervo Técnico del proyecto.

Por otro lado, una problemática que se presentó cuando se procedió a recopilar información geográfica fue que muchas capas geográficas estaban en formato shapefile, un formato creado por la empresa ESRI y que es comúnmente usado para almacenar datos vectoriales. Un problema que se presenta con este formato es que se corre el riesgo de perder uno de los archivos que lo componen (de extensiones dbf, prj, shp y shx) y de esta forma imposibilitar la lectura del archivo. Otro problema es que en ocasiones no se conocen los parámetros geográficos que se utilizaron para generar el archivo.

La solución a la problemática mencionada era integrar las capas geográficas en un depósito único de datos, como una base de datos geográfica. En virtud de esto, se planteó un trabajo, el cual se hizo mediante una orden de servicio, para construir una base de datos geográfica con datos del eje ambiental. La orden de servicio se denominó “Migración de shapefiles a una base de datos geográfica nacional de temas ambientales para la gestión de los recursos hídricos”. El informe de esta orden y el disco conteniendo sus resultados se muestran en el apartado “Otros” de la carpeta del Acervo Técnico del proyecto.

Finalmente, en relación con la recopilación de información se planteó la necesidad de contar con datos relativos a la demografía, es decir población, legislación, educación y finanzas relacionados con el sector hídrico. Los datos de población son de vital importancia ya que éstos ayudan a determinar la demanda de agua en estudios de planeación. Asimismo, los datos de finanzas son cruciales también ya que la disponibilidad de recursos financieros va a determinar si es posible realizar obras de mantenimiento, obras de ampliación u obras nuevas para el abastecimiento de agua.

Se consideró también importante contar con datos de legislación en materia hídrica debido a que permite conocer el marco jurídico vigente en diversos áreas geográficas y así determinar como ha influido éste en la gestión del recurso hídrico y que modificaciones en las leyes vigentes pueden realizarse con el fin de mejorar la disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad adecuadas, para el desarrollo de las diferentes actividades humanas. Finalmente, los datos educación son importantes para saber, entre otras cosas, que estrategias usar para implantar una cultura del agua que fomente su ahorro y toma de conciencia del cuidado de este vital recurso.

La recopilación de datos de población, legislación, educación y finanzas relacionados con el sector hídrico se hizo mediante una orden de servicio, denominada “Integración de datos tabulares de población, legislación, educación y finanzas del agua en cubos de información”. El informe de esta orden y el disco conteniendo sus resultados se muestran en el apartado “Otros” de la carpeta del Acervo Técnico del proyecto.

3.2 Elaboración de modelos de la base de datos y propuesta de interfaces de consulta y actualización

Una vez definidos los requerimientos tanto de información como de consulta y actualización, el siguiente paso que debía darse para la implementación de sistema de información era crear los modelos conceptual, lógico y físico de la base de datos que contendría todos los datos necesarios para el sistema, y proponer las interfaces para consulta y actualización de los datos. En este inciso se presenta el desarrollo de estas actividades

3.2.1 Modelos conceptual, lógico y físico de la base de datos

Antes de describir los modelos de la base de datos es conveniente mostrar los componentes de la base de datos que se deseaba implementar. Los datos requeridos para la gestión, como ya se mencionó, se componen de datos

geográficos y estadísticos, debido a esto se requiere crear una base de datos geográfica (también denominada “geobase”) para almacenar la parte espacial. Los datos estadísticos pueden almacenarse dentro de la geobase o de forma separada. En el presente proyecto se decidió almacenarlos dentro de la geobase con el fin de tener todos los datos integrados en un solo depósito de datos, esto facilita muchas cosas, entre ellas el respaldo (se respalda una sola base de datos) y las consultas (las sentencias SQL son más simples). Adicionalmente se requerían elementos para guardar datos relacionados con el control de acceso al sistema. La figura 2 muestra los componentes de la base de datos del sistema de soporte a la gestión de los recursos hídricos (SISGRH).

Por otro lado, un modelo conceptual de base de datos es una representación simplificada de los principales elementos de datos que componen un sistema u organización; este modelo es independiente de la implementación, es decir, no muestra los detalles de la forma en que se va implementar. En términos sencillos, el modelo conceptual incluye estos dos pasos:

- Identificar entidades
- Identificar relaciones entre las entidades

El modelo lógico involucra, además de identificar las entidades que componen el sistema y las relaciones entre ellas, los siguientes pasos:

- Identificar atributos de cada entidad
- Identificar los dominios de valores válidos de cada atributo
- Identificar el campo o combinación de campos que serán las llaves primarias de cada entidad, así como aquellas que serán llaves foráneas

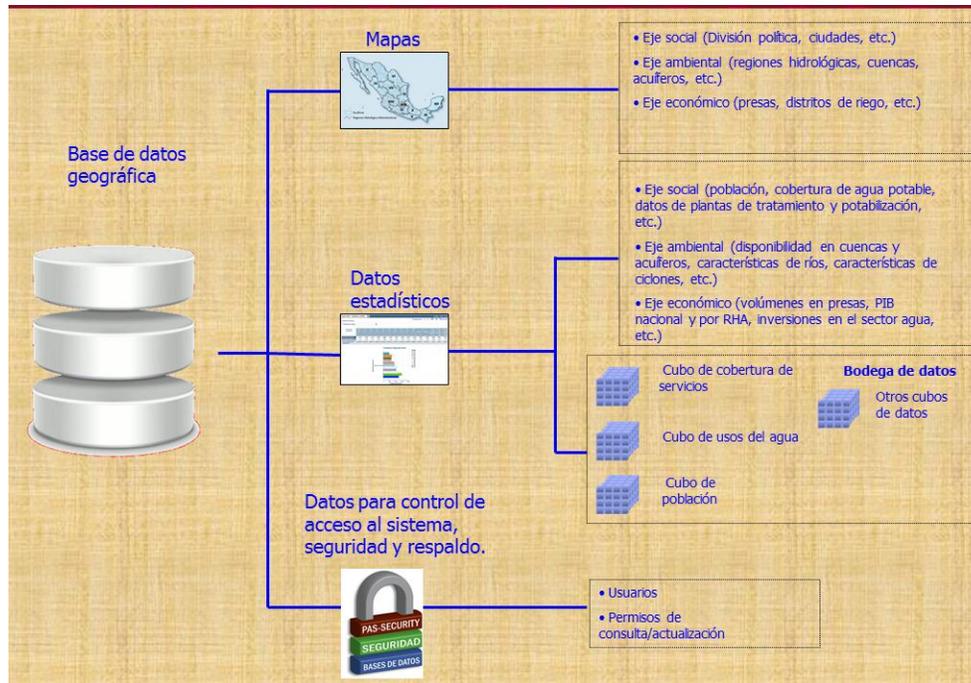


Figura 2. Componentes de la base de datos geográfica del SISGRH.

Por su parte, el modelo físico consiste de los siguientes pasos:

- Convertir las entidades a tablas
- Convertir los atributos de cada entidad a columnas de tablas, definiendo también el tipo de dato, de acuerdo al sistema de administración de bases de datos relacionales (en inglés RDBMS) utilizado
- Implementar las relaciones entre entidades como relaciones entre tablas mediante la definición de llaves foráneas
- Modificar el modelo físico para satisfacer las restricciones o requerimientos identificados en la elaboración del modelo lógico

Los modelos conceptual y lógico son independientes del RDBMS que se utilice, mientras que el modelo físico es totalmente dependiente de él. Sin embargo, es conveniente mencionar que en el caso de la base de datos geográfica, el modelo lógico sí es dependiente del sistema de información geográfica que se va a usar, ya que en el presente proyecto el modelo lógico fue elaborado con el conjunto de clases que ofrece el software ArcGIS, el cual se denomina ArcObjects.

A continuación se describe el modelo conceptual de la base de datos general (que incluye los mapas y los datos estadísticos), y los modelos lógico y físico de la

parte de la base de datos que corresponde a los mapas y la parte que corresponde a los datos estadísticos.

A. Modelo conceptual de la base de datos general

Como ya se mencionó en el inciso 3.1.1, en el presente trabajo se desarrolló el modelo conceptual de la base de datos completa mediante un mapa mental elaborado con la herramienta CMap. Se decidió usar esta herramienta porque un compañero del grupo de trabajo, el Dr. Héctor Sanvicente S., ya tenía experiencia en su uso y comentó que este software es de fácil uso, contiene herramientas apropiadas para la elaboración de estos mapas y además es gratuito.

Para la elaboración del modelo conceptual mediante un mapa mental, se procedió a definir una simbología con el fin de distinguir cuales entidades eran geográficas y cuales eran estadísticas, definir el nombre de la entidad y sus atributos, y definir elementos para indicar las variables asociadas a cada entidad. Asimismo se acordó asignar el mismo color a todas las entidades que pertenecían al mismo eje.

El modelo conceptual que se elaboró se encuentra en el archivo denominado “Modelo_conceptual_base_de_datos_SISGRH.cmap” el cual se encuentra en el directorio:

”metodologia\ modelos de la base de datos”

dentro del disco que contiene el informe final en la carpeta del proyecto. La metodología empleada para elaborar el modelo lógico y físico de la parte de la base de datos que contendría los mapas y la parte que contendría los datos estadísticos fue diferente, por lo cual se explican de forma separada.

B. Modelo lógico y físico de la componente que corresponde a mapas dentro de la base de datos geográfica

Para elaborar el modelo lógico de esta componente de la base de datos se utilizó la técnica de modelación orientada a objetos. En esta técnica se identifican las clases que componen el conjunto de datos del problema abordado, sus atributos y relaciones, y se procede a elaborar un diagrama de clases con el lenguaje unificado de modelado (UML).

El software ArcGIS, que es el software que se consideró para implementar la base de datos geográfica, define un conjunto de clases para manejar la información geográfica, este conjunto se denomina ArcObjects. Una clase, denominada Feature, se usa para representar todos los objetos geográficos que pueden representarse en forma vectorial, es decir como puntos, líneas o polígonos.

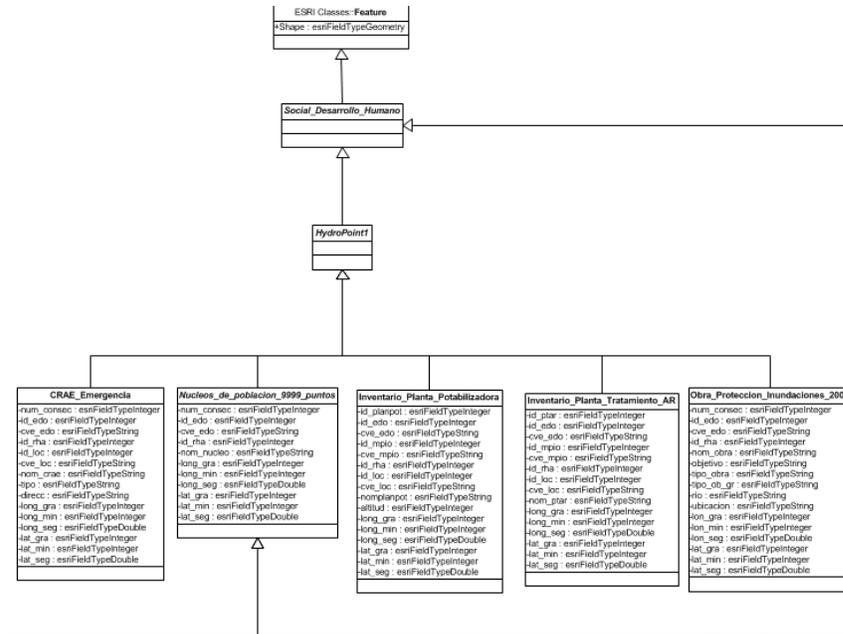


Figura 3. Modelo lógico en lenguaje UML con clases derivadas a partir de la clase Feature de ArcGIS

A partir de esta clase, considerada clase padre es posible definir clases derivadas (también denominadas clases hijas) las cuales heredan los atributos y métodos de la clase padre. La figura 3 muestra un diagrama UML en donde se presenta un ejemplo de clases derivadas a partir de la clase feature.

Las clases derivadas en el diagrama UML representan capas geográficas conteniendo objetos espaciales representados como como puntos, líneas o polígonos dentro de la base de datos. Dentro de la geobase, las capas geográficas pueden ser almacenadas dentro de contenedores, denominados feature datasets, o afuera de éstos. Un contenedor es como una carpeta o directorio que almacena objetos feature class (objetos feature), y donde todos éstos tienen el mismo datum y proyección geográfica. Cualquier capa geográfica que es almacenada en un feature dataset es transformada, al momento de insertarse, al datum y proyección que están definidos para el feature dataset.

La ventaja de tener feature datasets es que la información se puede organizar mejor dentro de la base de datos. En el presente proyecto se definieron los siguientes feature datasets para almacenar dentro de cada uno las capas geográficas que corresponden a cada sistema dentro de cada eje: social, ambiental y económico.

Eje	Sistema	Feature dataset de ArcGIS
Económico	Productivo	Economico_productivo
	Económico-financiero	No hay datos geográficos de este sistema
Social	Normativo, de organización y gestión	Social_Normativo
	Desarrollo humano	Social_Desarrollo_humano
Ambiental	Terrestre	Ambiental_Terrestre
	Acuático	Ambiental_Acuatico
	Atmosférico	Ambiental_Atmosférico

Posteriormente se procedió a elaborar el modelo lógico en lenguaje UML usando el software Visio 2010 y las clases que ofrece el software ArcGIS, como ya se mencionó. Para realizar el modelo se fue haciendo un análisis de las capas geográficas para determinar sus atributos, relaciones y dominios. En esta parte del proyecto se desarrolló la orden de servicio denominada “Elaboración del diccionario de datos de entidades geográficas asociadas al sistema social y modelo lógico”, en la cual se elaboró el modelo lógico de las entidades geográficas que se identificaron en el eje social así como el diccionario de datos en donde se describen dichas entidades”. El informe de esta orden de servicio y el disco conteniendo sus resultados se muestran en el apartado “Otros” de la carpeta del Acervo Técnico del proyecto.

El modelo lógico completo de la parte de la base de datos geográfica que corresponde a los mapas, que fue el resultado de esta actividad, esta contenido en el archivo Modelo_lógico_BDG_SISGRH.vsd dentro del directorio:

”metodologia\modelos de la base de datos”

en el disco que contiene el informe final, en la carpeta del proyecto.

Finalmente, para implementar el modelo físico de la base de datos lo primero que se hizo fue generar el esquema de la base de datos a partir del archivo en Visio conteniendo el modelo lógico. El esquema de la base de datos contiene la definición de la estructura de la base de datos, en donde se incluyen los nombres de las entidades, sus atributos y el tipo de datos al corresponde cada uno (numérico, texto, fecha, etc.). Una vez que se generó el esquema, se procedió a crear una base de datos geográfica vacía y se le aplicó el esquema para crear todas las tablas, atributos y relaciones que se definieron en el modelo conceptual.

La base de datos fue creada en SQL server 2008, por lo cual los tipos de datos son los que brinda este software. Los tipos son los siguientes:

Tipo de dato	Tipo de dato en SQL Server 2008
Entero	tinyint, smallint, int, bigint
Booleano (falso o verdadero)	bit
Decimales	decimal, numeric, real
Fecha	datetime, smalldatetime
Texto	char, Varchar, nchar, nvarchar
documentos	binary, varbinary, image

El modelo físico no se incluyó en el disco de resultados de este informe, este modelo es sólo visible dentro del software SQL server.

C. Modelo lógico y físico de la base de datos que corresponde a datos estadísticos dentro de la base de datos geográfica

Para elaborar el modelo lógico de esta componente de la base de datos se utilizó también el lenguaje unificado de modelado (UML). Los datos estadísticos se almacenaron en un data warehouse, por lo cual el modelo lógico se elaboró utilizando el modelo dimensional de datos en el cual los datos se perciben como un cubo. Cuando se elabora el modelo lógico se tiene una tabla central, denominada tabla de hechos, y tablas alrededor de ella, denominadas dimensiones, las cuales definen el contexto en el cual ocurrieron esos hechos como la fecha, el lugar geográfico y otras dimensiones de interés. Esta conformación de tablas, una central y tablas alrededor conectadas a ésta, forman lo que se denomina un diagrama de estrella. La figura 4 muestra un ejemplo de un modelo lógico en forma de diagrama de estrella para los datos de usos del agua.

A partir del modelo conceptual se identificaron los diferentes temas para los cuales se iban a tener datos en el data warehouse y se elaboraron las estrellas del modelo lógico que correspondían a cada tema. El archivo de nombre "Modelo_logico_data_warehouse2_SISGRH.vsd" contiene las estrellas para los temas que se identificaron en la base de datos estadística; el archivo se encuentra en el disco que contiene el informe final, en la carpeta del proyecto.

Al igual que en el caso de la base de datos geográfica, el modelo físico del data warehouse no se incluyó en el disco de resultados de este informe, ya que es sólo visible dentro del software SQL server.

3.2.2 Propuesta de consulta y actualización

A. Propuesta de consulta

La consulta de los datos contenidos en la base de datos se consideró también en 2 partes diferentes: una interfaz para consultar los datos estadísticos y una interfaz para consultar las diversas capas contenidas en la base de datos geográfica.

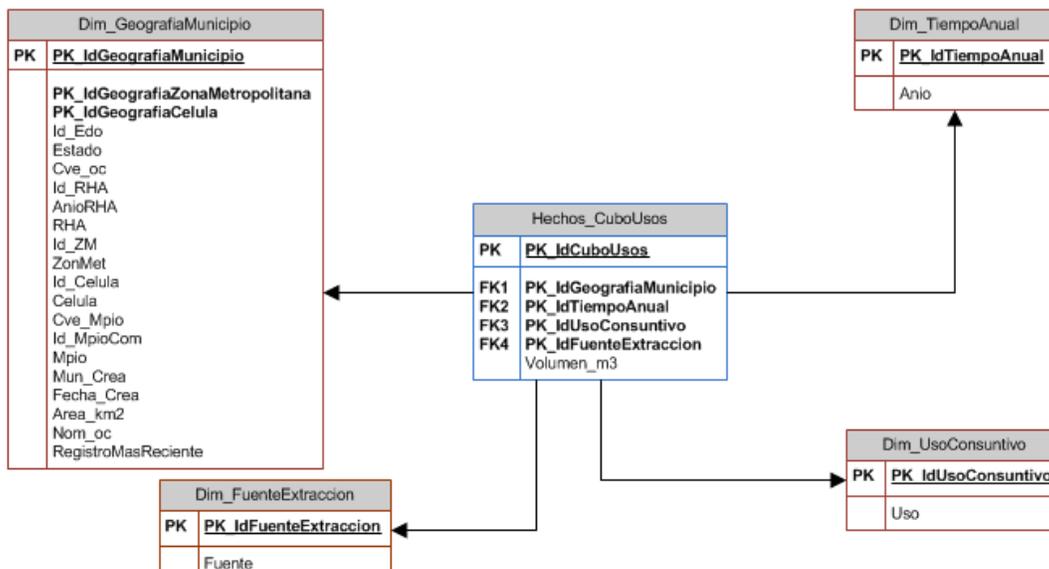


Figura 4. Modelo lógico en forma de diagrama de estrella para los datos de usos del agua.

Para la primera parte se consideró la consulta de los datos en reportes (en forma similar a lo que se denomina “tableros de información”), compuestos por tablas y gráficas, que muestran el comportamiento de las diversas variables a lo largo del tiempo, y también la consulta en forma de mapas, en donde se muestra el comportamiento de la variable tanto en el tiempo como en el espacio. Todo el conjunto de temas se consideró conveniente ponerlo disponible al usuario en un ventana que se denominó “Reporteador temático”. Esta ventana de diálogo tendría la apariencia mostrada en la figura 5.

consultas	admón_de_informacion	admón_sistema	Sistema de información para soporte a la gestión de los recursos hídricos
tema 1	tema 2		tema 3
tema 4	tema 5		tema 6
	...		
	...		
			tema n
		Reporteador temático	Visor geográfico

Figura 5. Ventana de diálogo del reporteador temático

Por otro lado, en la ventana de diálogo para los reportes se consideraron opciones para visualizar los datos a diferentes niveles geográficos: nacional, regional y estatal (lo cual va a depender de la resolución espacial con que se tengan), indicar el año para el cual se desean visualizar los datos y una opción para visualizar en un mapa los datos consultados. La figura 6 muestra la ventana de diálogo típica para un reporte.

Por otro lado, se diseñó también una ventana de diálogo para mostrar la distribución de una variable en el espacio, de acuerdo a una resolución espacial de interés (municipio, estado, región hidrológico-admva, etc.) y para un año determinado. La figura 7 muestra la ventana de diálogo para este propósito. Los iconos que aparecen en la parte superior derecha de las figuras 6 y 7, (uno en forma de mapa y otro en forma de una gráfica de barras, respectivamente) permiten pasar de una ventana de diálogo a otra.

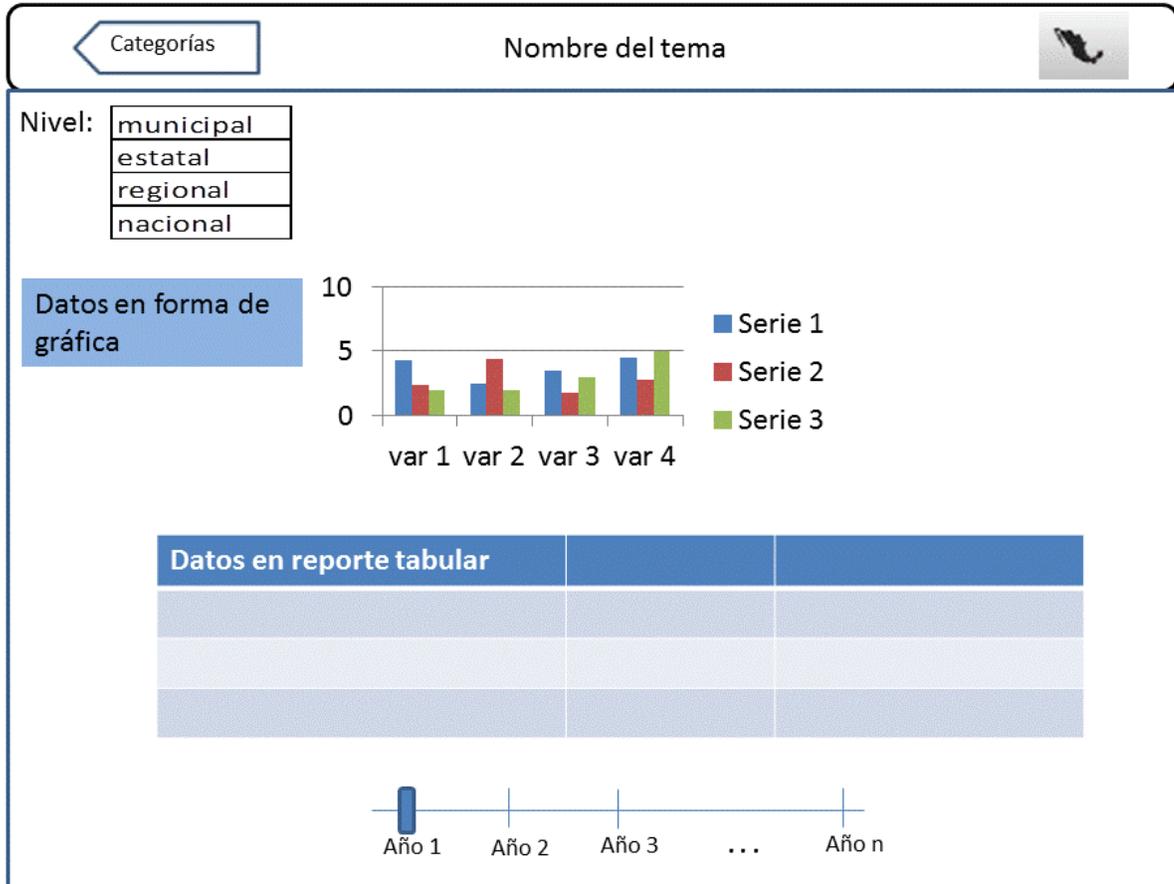


Figura 6. Ventana de diálogo para la consulta de los datos estadísticos de un tema

Una vez que se definieron de forma general las ventanas de diálogo para la consulta de los datos estadísticos, se realizaron tres órdenes de servicio denominadas “Elaboración de tableros de información de datos correspondientes al eje social”, “Elaboración de tableros de información de datos correspondientes al eje económico” y “Elaboración de tableros de información de datos correspondientes al eje ambiental”, en las cuales se hizo el diseño de los tableros de información para los diferentes temas que componen cada uno de los ejes. Los informes de estas órdenes de servicio se encuentran en el apartado “Otros” de la carpeta del Acervo Técnico del proyecto.

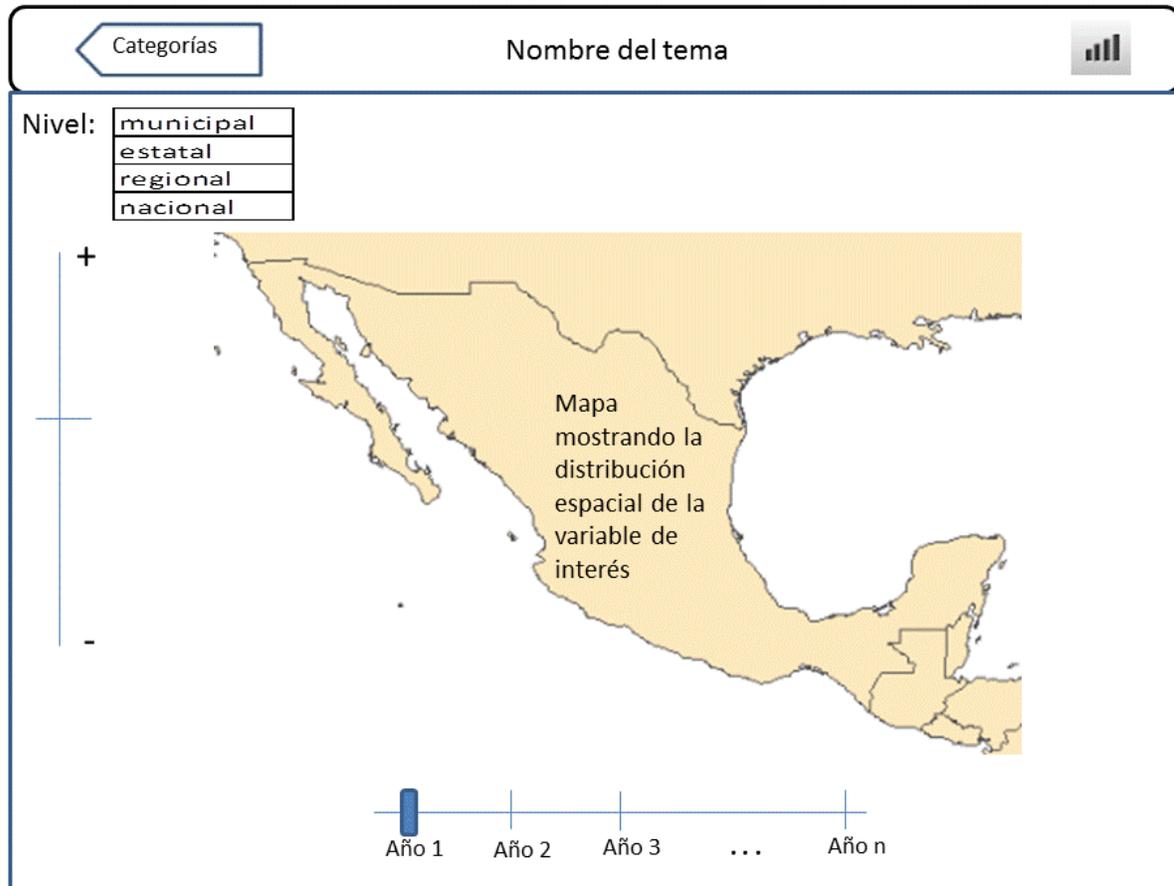


Figura 7. Ventana de diálogo para visualizar la distribución espacial de una variable para una resolución espacial y tiempo determinados

Por otro lado, se hizo también el diseño de una ventana de diálogo para visualizar las capas contenidas en la base de datos geográfica. La ventana contiene las funciones básicas para la visualización de una capa, lo cual incluye funciones para acercar, alejar, desplazar e identificar, entre otras, y funciones para consultar los metadatos y atributos de la capa.

B. Propuesta de actualización

En esta parte del proyecto se diseñaron ventanas de diálogo para actualizar diferentes elementos de información, por ejemplo los usuarios, pero el elemento más importante fue el de datos estadísticos. Se hicieron diferentes análisis para determinar la forma más eficiente de actualizar estos datos y se llegó a la

conclusión de que la más adecuada era mediante archivos de Excel. La razón de esto es porque es un paquete de cómputo de uso común, la captura de los datos es sencilla dentro de él y porque así se evitaba el desarrollo de una interfaz para captura dentro del sistema.

El mecanismo de actualización requería de 2 cosas: una plantilla o formato para capturar los datos a ingresar a la base de datos, y otra para especificar las reglas de validación que se aplicarían a los datos para asegurarse que los datos son correctos. Respecto al primer formato se analizaron varias alternativas pero el formato que al final se decidió usar es un archivo que contiene 3 hojas de cálculo:

- Una de nombre “Notas generales”, que contiene indicaciones para el usuario sobre como llenar el formato.
- Una de nombre “Catálogos”, que contiene los catálogos que el usuario puede requerir al momento de poner los datos en el archivo de Excel, por ejemplo el catálogo de estados o municipios.
- Una hoja que contiene propiamente los datos que se desean validar y cargar al data warehouse, y cuyo nombre depende del tema al cual pertenecen dichos datos.

Para la hoja que contiene los datos se definió un formato que permitiera al usuario conocer el tipo de dato (entero, decimal, texto, etc.), y las características de éste (número de decimales, número de caracteres, etc.), que se debe insertar en cada celda de la hoja. Este formato considera un encabezado compuesto por 9 renglones, en donde se especifica el tipo y características del dato. Los nombres de estos 9 renglones y su contenido son los siguientes (colocados en la columna A de la hoja):

Nombre del renglón	Contenido del renglón
Columna	Permite especificar el nombre de la columna al que corresponde el dato
Tipo de dato	Permite especificar el tipo de dato que se espera en esa columna. Los tipos de datos que se pueden especificar son “Numérico”, “Texto”, “Fecha” y “Documento”.
Obligatorio	Permite especificar si el dato es obligatorio o no. Se especifica con “si” o “no”.
Campo en base de datos	Permite especificar el nombre del campo en la base de datos en donde se almacenará el dato.
Cantidad de enteros o caracteres	Permite especificar la cantidad de enteros o caracteres que el dato debe tener
Decimales	Si el dato es decimal, permite especificar aquí el

	número de decimales que se esperan
Unidades en que debe reportarse	Permite especificar las unidades en que debe estar el dato, por ejemplo milímetros o millones de metros cúbicos.
NOTA	Permite poner una nota que dé más claridad al usuario sobre el llenado del formato o algún aspecto de los datos.
Ejemplo	Permite poner un dato de ejemplo.

La figura de abajo 8 muestra un ejemplo del formato. La columna A contiene los nombres de los renglones descritos anteriormente, cuyas celdas se muestran en color azul oscuro.

	A	B	C	D	E
1	Columna	Año	Clave de entidad federativa	Nombre de la entidad federativa	Tasa de mortalidad en niños menores de 5 años
2	Tipo de dato	Número	Número	Texto	Número
3	Obligatorio	Si	Si	Si	Si
4	Campo en base de datos	Anio	Id_Edo	Estado	TasaMortalidadMenores5Anios_Hab_Cada100000
5	Cant. de enteros o caracteres	4	2	50	10
6	Decimales	0	0		6
7	Unidades en que debe reportarse				
8	NOTA				
9	Ejemplo	2011	32	Zacatecas	108.38
10		2012		1 Aguascalientes	79.85
11		2012		2 Baja California	68.41
12		2012		3 Baja California Sur	52.25
13		2012		4 Campeche	123.36
14		2012		5 Coahuila de Zaragoza	37.28
15		2012		6 Colima	120.75
16		2012		7 Chiapas	267.02

Figura 8. Ejemplo del formato de captura de datos para actualizar un tema

El siguiente paso fue definir el formato de Excel en el cual se especificarían las reglas de validación que aplicarían a cada columna de datos. Después de analizar varias alternativas, se decidió usar el formato usado en la figura 9, en donde para cada columna se especifican las reglas que aplican a ella.

Columna	Año	Indicador	Clave	Nombre	Porcentaje excelente	Buena calidad	Calidad aceptable
Campo en base de datos	Año	Siglas	Cve_oc	RHA	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
Tabla	Dimension.Dim_TiempoAnual	Dimension.Dim_Indica	Dimension.Dim_Geo	Dimension	Ambiental.Hechos_Es	Ambiental.Hechos_	Ambiental.Hechos_
Tipo validación	rango	catálogo	general	catálogo	rango	rango	rango
Valor mínimo	1900				0	0	0
Valor máximo	año actual				100	100	100
Consulta SQL		Siglas		Cve_oc,RHA			
Regla de validación adicional					F+G+H+I+J=100,0		
Tipo de dato	Numerico	Texto	Texto	Texto	Numerico	Numerico	Numerico
Obligatorio	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Figura 9. Ejemplo del formato donde se especifican las reglas de validación que se aplican a los datos con los que se actualiza un tema

El formato que se definió para las reglas de validación consiste de 8 renglones. En la columna A se definen los nombres de los renglones, cuyo contenido se describe en el cuadro mostrado a continuación. Las columnas B en adelante contienen en sí las columnas que corresponden al tema de interés y las reglas que aplican a cada columna.

Nombre del renglón	Contenido del renglón
Columna	Nombre de la columna para la cual se definen sus reglas de validación
Campo en base de datos	Permite especificar el nombre del campo en la base de datos en donde se almacenará el dato o el campo del cual se tomarán valores ya existentes en la base de datos para calcular la desviación estándar o el campo de donde se tomará el conjunto de valores que forman un catálogo (por ejemplo un catálogo de estados).
Tabla	Permite especificar el nombre de la tabla en donde se almacenará el dato o de donde se tomarán los datos para calcular la desviación estándar o los valores de un catálogo.
Tipo validación	Permite indicar el tipo de validación que aplica a los datos de esa columna. Los tipos de validación y lo que significan son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Rango. Indica que los valores de esa columna deben estar dentro de un rango. • Catálogo. Indica que los valores de esa

	<p>columna deben estar dentro de un conjunto de valores (un catálogo) ya almacenados en la tabla y campo de la base de datos especificados en los renglones “Tabla” y “Campo en base de datos”, respectivamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desviación estándar. Indica que los valores de esa columna deben estar dentro del rango definido por la desviación estándar. • General. Indica que sólo se aplican reglas de validación general a los valores, que incluye verificar si la celda tiene valor (cuando se especifica que el dato es obligatorio) y que el dato es del tipo indicado en el renglón “Tipo de dato” • Documento. Indica que el valor de la celda es el nombre de un documento y que se debe verificar que exista en un directorio para poder subirlo a la base de datos.
Valor mínimo	<p>Permite especificar el valor mínimo cuando el tipo de validación es rango o desviación estándar. Cuando el tipo de dato especificado en el archivo de datos es “Fecha”, se puede especificar la fecha más antigua para la cual se pueden aceptar los datos. Cuando los valores están referidos a un año, aquí se puede poner el año mínimo para el cual se aceptan datos.</p>
Valor máximo	<p>Permite especificar el valor máximo cuando el tipo de validación es rango o desviación estándar. Cuando el tipo de dato especificado en el archivo de datos es “Fecha”, aquí se puede especificar la fecha más reciente para la cual se pueden aceptar los datos; se puede poner también el texto “Fecha actual” para indicar que los datos no pueden tener fecha posterior a la fecha actual. Cuando los valores están referidos a un año, aquí se puede poner el año máximo para el cual se aceptan datos. Se puede poner también el texto “año actual” para indicar que el año al que corresponden los valores no puede ser posterior al año actual.</p>
Consulta SQL	<p>Se utiliza en 2 casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando el tipo de validación es “Catálogo” se especifican aquí el campo o los campos de la tabla en la base de datos que se utilizarán para verificar que un dato o combinación de datos,

	<p>contenidos en el archivo de Excel con datos a validar, se encuentran en el catálogo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando el tipo de validación es “Desviación estándar” se especifica aquí una condición adicional, que será incluida en la sección “WHERE” de la instrucción SQL, para el cálculo de la desviación estándar.
<p>Regla de validación adicional</p>	<p>Este renglón se utiliza en dos casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permite especificar una condición adicional que se debe cumplir y que involucra a varias columnas del archivo de datos de Excel. Un ejemplo es el caso del porcentaje de sitios en cada rango de clasificación de calidad del agua (excelente, buena calidad, aceptable, contaminada, muy contaminada). Una regla de validación adicional que aplica en este caso es que la suma de los porcentajes debe ser igual a 100. Si estos porcentajes están puestos en el archivo de Excel, por ejemplo, en las columnas F, G, H, I y J, la regla de validación se especifica como: <p style="text-align: center;">$F+G+H+I+J=100.0$</p> - Permite especificar las columnas del archivo de Excel que se tomarán en cuenta para el cálculo de la desviación estándar. Los valores en esas columnas se especificarán en la cláusula WHERE de la sentencia SQL. Por ejemplo, en el caso de cobertura de agua potable por municipio, si se desea que la desviación estándar de la variable: <p>”Ocupantes en viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada dentro de la vivienda”</p> se calcule por cada municipio y por tamaño de localidad, y suponiendo que ambos datos están en las columnas C y D respectivamente del archivo de Excel, entonces en este renglón se especificarían ambas letras de columna,

	separadas por coma.
Tipo de dato	Permite especificar el tipo de dato que debe estar en la columna.

Finalmente en esta parte, usando como base los dos formatos descritos anteriormente, se definieron las plantillas que se usarían para capturar los datos para actualizar un tema y las reglas de validación que se aplicarían a esos datos para asegurarse que sean correctos.

3.3 Implementación de la base de datos y la interfaz de usuario

En esta parte se describe la implementación de la base de datos geográfica y la base de datos estadística: se describe también la implementación de la interfaz de usuario de acuerdo al diseño propuesto en el inciso 3.2.2.

3.3.1 Implementación de la base de datos geográfica

A. Preparación de los datos

En esta actividad se adecuaron todas las capas geográficas al diseño que fue plasmado en el modelo lógico de la base de datos, esto incluyó agregar los campos que fueron definidos en el modelo y poner datos numéricos en aquellos campos que usaban algún dominio o catálogo de la base de datos. Por otro lado, se transformaron las capas al sistema geográfico coordinado (también denominado Datum) y proyección que se definió para el proyecto, los cuales son los que el INEGI utiliza para México:

Datum	ITRF92
Meridiano central	-102° Oeste
Latitud de referencia	12° Norte
Paralelo Estándar 1	17.5
Paralelo Estándar 2	29.5
Falso Este	2,500,000
Falso norte	0

La preparación de los datos se hizo con el software ArcGIS Desktop en nivel ArcInfo y versión 9.3

B. Creación de la base de datos geográfica, aplicación del esquema y carga de los datos

Una vez que se prepararon los datos, se procedió a crear la base de datos geográfica, la cual fue una base de tipo corporativo (también denominada empresarial). Esto incluyó cuatro pasos:

- Generar el esquema con el software Visio, a partir del modelo lógico elaborado en esta plataforma.
- Crear la base de datos vacía, mediante el software ArcGIS Server, ArcSDE y el software SQL server 2008 R2.
- Aplicar el esquema a la base de datos vacía para crear toda la estructura de la base de datos geográfica (incluyendo tablas, relaciones, dominios, etc.). Esta actividad se hizo con la aplicación ArcCatalog, del software ArcGIS Desktop, con las herramientas CASE (Computer Assisted Software Engineering) que ofrece dicha aplicación.
- Cargar la información espacial a su capa correspondiente en la base de datos geográfica.

La figura 9 muestra en forma parcial el contenido de la base de datos geográfica, en donde se visualizan los feature datasets que fueron creados para almacenar la información que corresponde a los ejes ambiental, social y económico, y a sus respectivos sistemas en cada uno.

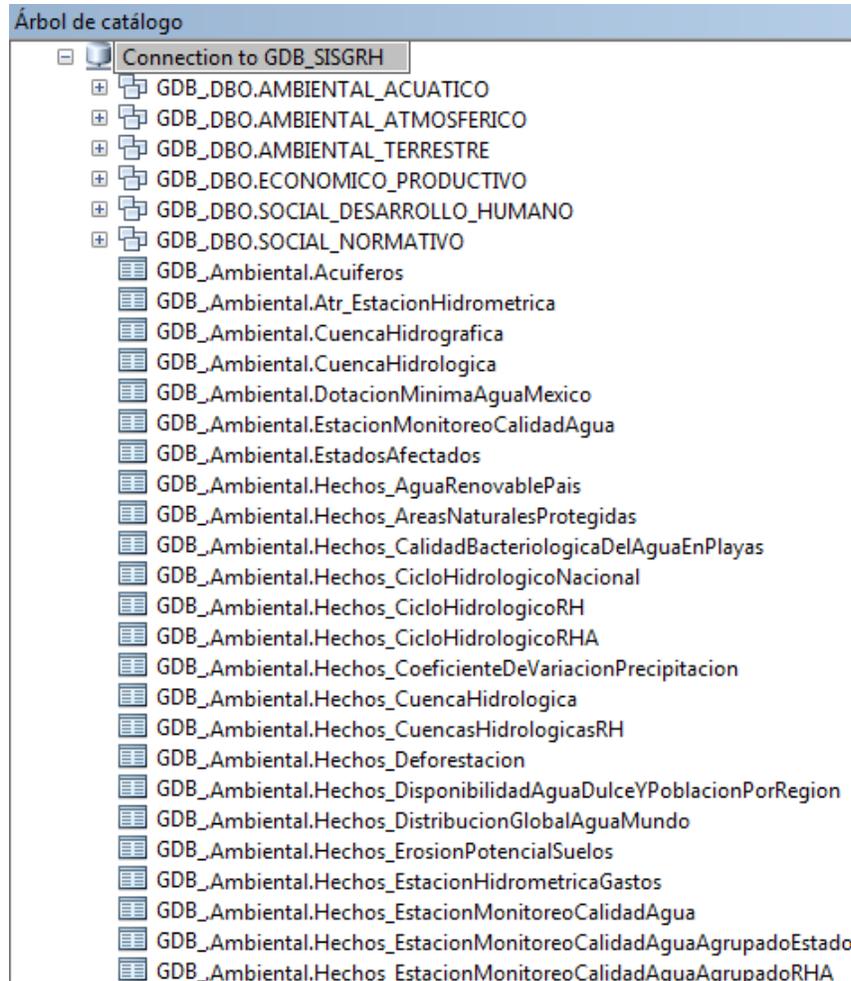


Figura 9. Contenido parcial de la base de datos geográfica implementada dentro del proyecto

3.3.2 Implementación de la base de datos estadística

En esta actividad se implementó el data warehouse que permitió almacenar toda la información estadística que se consideró fundamental para el apoyo a la gestión de los recursos hídricos, esta información fue plasmada en el modelo conceptual que se elaboró al principio del proyecto. Para la implementación, se consideró conveniente realizar una orden de servicio, denominada “Elaboración de un Data Warehouse conteniendo datos asociados a los recursos hídricos e implementación de reportes en la plataforma WebFOCUS”, en donde uno de sus objetivos fue crear el data warehouse en la plataforma SQL Server 2008 r2.

Para ello, en el IMTA se recopilaron los datos de los diferentes temas para los diferentes años para los cuales se tenían datos y se pusieron en un formato apropiado para cargarlos a las tablas de la base de datos. Los datos fueron enviados al proveedor de la orden de servicio, quien cargaba los datos en el data warehouse, y posteriormente se verificaba en el IMTA que los datos estuvieran cargados correctamente. El otro objetivo de la orden de servicio fue la implementación de reportes en la plataforma WebFOCUS, el cual se describe en el siguiente inciso.

El respaldo de la base de datos geográfica, conteniendo los mapas y datos estadísticos, se encuentra en el DVD que se ubica en el apartado “Cierre”, en la sección “Informe técnico final entregado al cliente”, de la carpeta del proyecto.

3.3.3 Implementación de la interfaz de usuario

En esta actividad se tuvo que hacer un análisis para decidir en cual plataforma serían implementados los tableros de información que fueron diseñados para consultar los datos estadísticos. Existen diversas plataformas en el mercado que permiten la conexión a un data warehouse y elaborar reportes a partir de la información contenida ahí. Éstas se conocen comúnmente como plataformas de inteligencia de negocios (abreviadas como BI, por sus siglas en inglés).

Después de hacer una revisión de las características que ofrecen algunas de las plataformas comerciales más conocidas, se decidió utilizar el software WebFOCUS, debido a que este ofrece un conector que permite la conexión a bases de datos geográficas de ArcGIS y la generación de reportes conteniendo mapas, en los cuales se observa la distribución en el espacio geográfico de una cierta variable en una cierta fecha. Por otro lado, se eligió ese producto porque la SEMARNAT usa este software también para elaboración de reportes que contienen mapas.

Dentro de la orden de servicio “Elaboración de un Data Warehouse conteniendo datos asociados a los recursos hídricos e implementación de reportes en la plataforma WebFOCUS”, como su nombre lo indica, se consideró también la implementación de unos reportes utilizando el software WebFOCUS. El informe de la orden de servicio se encuentra en

Respecto a la interfaz para actualizar los datos, ésta se desarrolló con el componente de SQL Server 2008 denominado “Integration Services” el cual ofrece herramientas para la elaboración de procedimientos de Extracción, transformación y carga de datos a un data warehouse. Para la elaboración de estos

procedimientos se usó también la plataforma de desarrollo Visual Studio 2010 y el lenguaje C#.

3.4 Elaboración de documentos y del informe final

En esta actividad, una vez terminada la creación de la base de datos y comprobar que la interfaz de usuario funcionaba correctamente, se procedió a elaborar el manual de usuario, manual del administrador e informe final del proyecto, el cual es el presente documento. El manual de usuario, el manual del administrador y este informe se encuentran en el DVD dentro de la carpeta del proyecto.

4. Resultados

En esta sección se presentan alguno de los resultados obtenidos del proyecto. El sistema de información desarrollado fue puesto en un servidor dentro de la Coordinación de Hidrología del IMTA y se tiene acceso a él mediante la siguiente liga:

[Http://sisgrh.imta.mx/sisgrh](http://sisgrh.imta.mx/sisgrh)

La figura 10 muestra la pantalla principal del sistema en donde se ven algunos de los temas que se pueden consultar.



Figura 10. Pantalla principal del sistema de información para soporte a la gestión de los recursos hídricos, dentro de la intranet del IMTA

El usuario puede elegir un tema dando clic sobre él con el botón izquierdo del ratón. Si se elige por ejemplo el tema de cuencas-disponibilidad se despliega a continuación una ventana como la mostrada en la figura 11, en donde se visualiza el número de cuencas con disponibilidad y el número de ellas con déficit para cada región hidrológico-admva. Los datos se muestran tanto en forma tabular, como en forma gráfica.

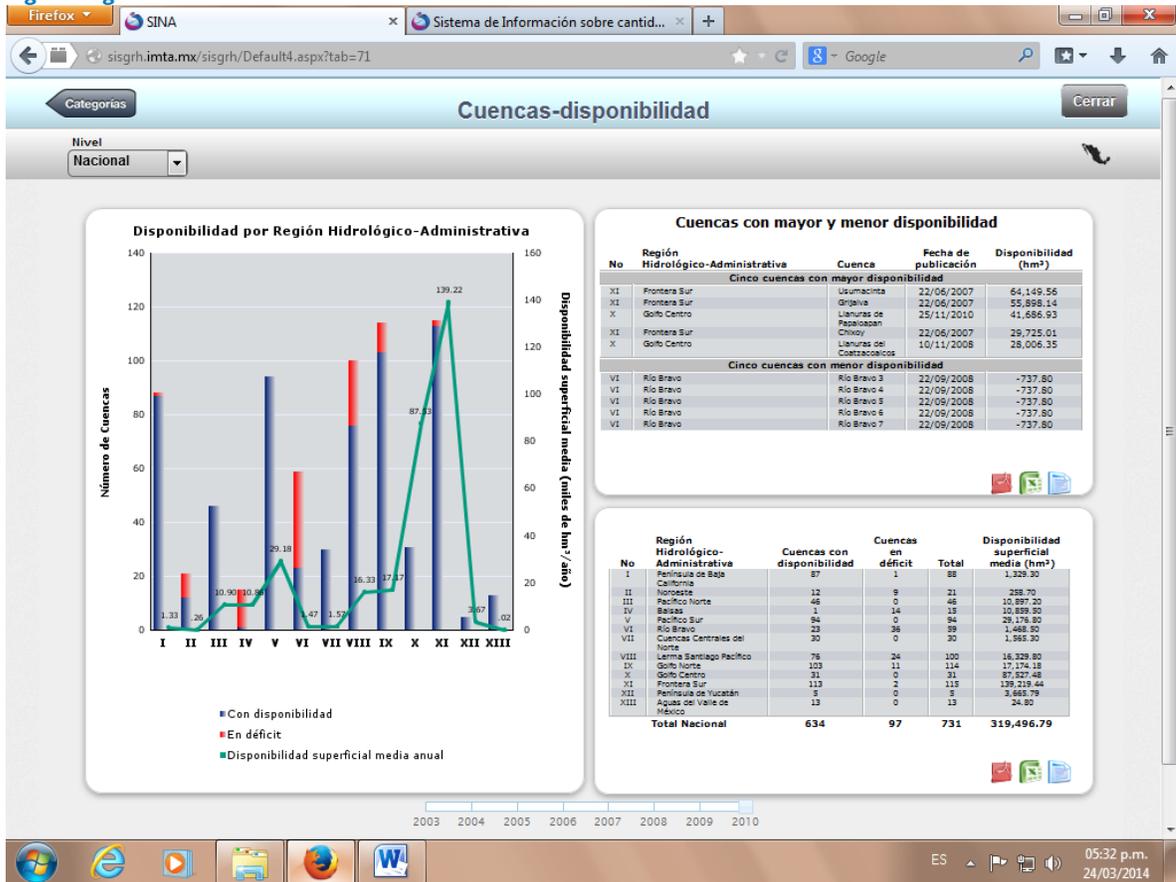


Figura 11. Ejemplo de tablero de información del tema de cuencas-disponibilidad

Asimismo, como se mencionó en la sección 3.2.2, inciso A, se tiene también la opción de visualizar en un mapa la distribución de una variable, en este caso la disponibilidad de agua superficial agua por cuenca. La figura 12 muestra un ejemplo de esto.

Finalmente, en la figura 13 se presenta la ventana de diálogo del visor geográfico que permite ver, de forma sencilla, las capas geográficas contenidas dentro de la geobase corporativa que se implementó como parte del sistema.

El código de la aplicación de consulta y actualización de los datos geográficos y estadísticos se encuentra en el DVD que se ubica en el apartado “Cierre”, en la sección “Informe técnico final entregado al cliente”, de la carpeta del proyecto.

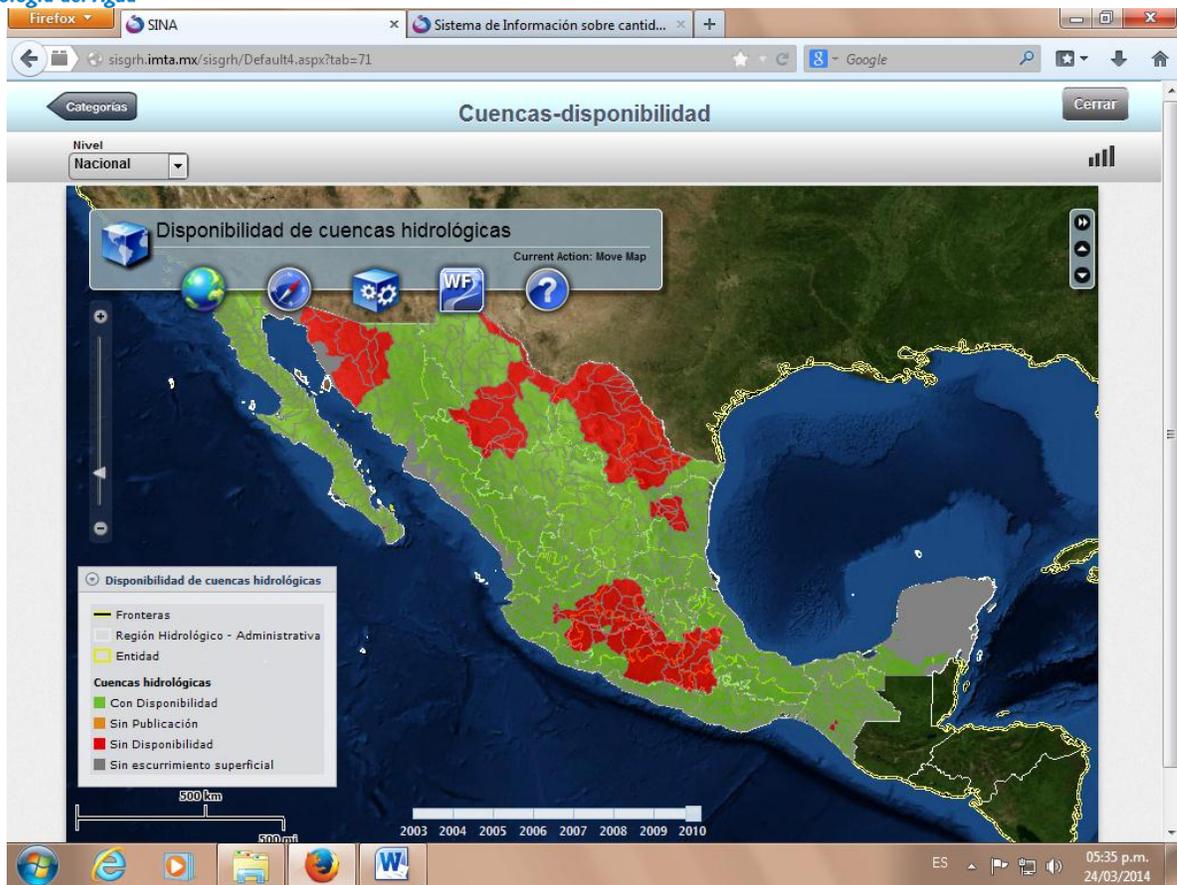


Figura 12. Ejemplo de visualización de la distribución espacial de una variable para una cierta fecha, en este caso disponibilidad de agua superficial por cuenca en el año 2010.

5. Conclusiones y recomendaciones

La realización de este proyecto permitió integrar en un solo depósito de datos (una base de datos geográfica de tipo corporativo) los datos espaciales y estadísticos utilizados en proyectos relacionados con la gestión de los recursos hídricos. Esto propiciará que los datos puedan ser actualizados y los cambios sean visibles para todos los usuarios del Instituto que participan en proyectos de este tipo. Asimismo, con ello se eliminan los problemas de consistencia que normalmente surgen cuando los datos se encuentran almacenados en diferentes lugares.

Por otro lado, la interfaz de consulta y actualización desarrollada, accesible desde la intranet del Instituto, permitirá que los usuarios tengan acceso de forma fácil a los datos contenidos en el data warehouse y la base de datos geográfica, y

conocer la evolución, tanto en el tiempo como en el espacio, de diferentes variables relacionadas con los recursos hídricos en el país.

Finalmente, se recomienda que a futuro se desarrolle un procedimiento para actualizar de forma automática las capas geográficas, ya que esto es algo que faltó en este proyecto. Actualmente este proceso tiene que realizarse a mano, lo cual es algo tedioso y propenso a error. Para realizar el procedimiento podrían utilizarse las bibliotecas que ofrece el software ArcGIS junto con las clases que del conjunto ArcObjects que trae disponible también ese producto.

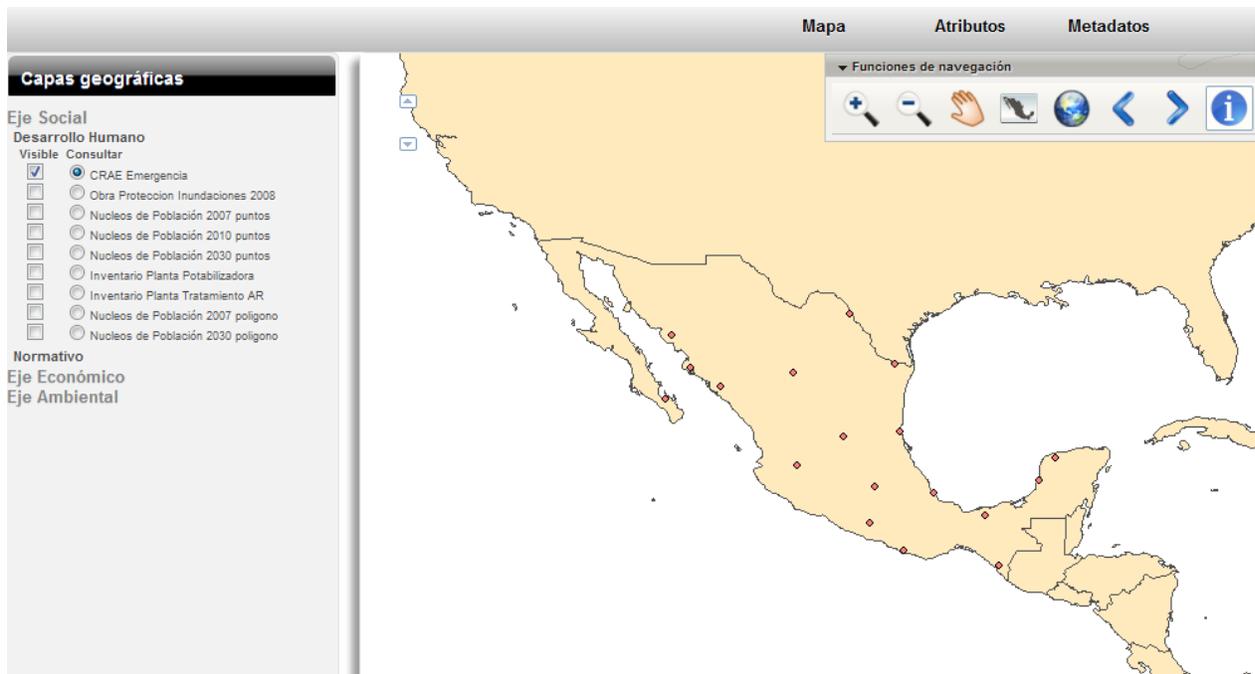


Figura 13. Ventana de diálogo de la aplicación que se desarrolló para visualizar las capas geográficas contenidas en la geobase del sistema.

6. Bibliografía

- a. Maidment, David R., ArchHydro GIS for water resources. ESRI Press. Redlands, California, USA, 2002
- b. Zeiler, M. y Murphy, J. Modeling Our World, Second Edition: The Esri Guide to Geodatabase Concepts, . ESRI Press. Redlands, California, USA, 2010.
- c. [http://es.wikipedia.org/wiki/Extract, transform and load](http://es.wikipedia.org/wiki/Extract,_transform_and_load)

- d. Velázquez A. Jaime, Diseño e implementación de una bodega de datos climatológicos. Tesis de maestría en ciencias de la computación, ITESM Campus Morelos, 2002.