

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

**Sistema de Información Zonal: Propuesta metodológica para la
implementación de Nodos IDE Locales**

Fredy Remigio Avila Matute

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, febrero de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Sistema de Información Zonal: Propuesta metodológica para la
implementación de Nodos IDE Locales**

Fredy Remigio Avila Matute

Richard Resl, Ph.Dc.

Director de Tesis

.....

Anton Eitzinger, Ms.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Richard Resl, Ph.Dc.

**Director de la Maestría en Sistemas
de Información Geográfica**

.....

Stella de la Torre, Ph.D.

**Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales**

.....

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

Decano del Colegio de Posgrados

.....

Quito, febrero de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

.....

FREDY REMIGIO AVILA MATUTE
C. I.: 0301740718

Quito, febrero de 2014

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional en todos los proyectos que emprendido.

A mi esposa, Priscila, mi compañera de vida, por su comprensión y apoyo para seguir adelante.

A mis hijos, Josué y Amélie, por ser la inspiración para esforzarme cada día y alcanzar todo lo que me he propuesto.

Finalmente, a todos mis familiares y amigos que tuvieron una palabra de aliento y me apoyaron durante esta etapa de estudios.

Agradecimientos

A todo el equipo de UNIGIS de la USFQ, quienes brindaron su total apoyo para la consecución de este trabajo.

A los tutores, en especial a Anton Eitzinger y Richard Resl por su colaboración y valiosos aportes; por guiar el presente trabajo hasta su proceso de culminación.

RESUMEN

Alrededor del todo el mundo la necesidad de disponer e intercambiar información geográfica, organizada y documentada, es un imperativo para asuntos de planificación y toma de decisiones. En los países en vías de desarrollo el tema de intercambiar información es muy importante para evitar la duplicidad de esfuerzos y el desperdicio de recursos. En la actualidad, el desarrollo de las tecnologías de información geográfica, el incremento de la disponibilidad de acceso a la Internet, y la reducción de costos de los equipos de cómputo, son factores que brindan el soporte tecnológico para el intercambio de información. Sin embargo, hardware y software no son los únicos componentes para cumplir con este fin, es necesario trabajar fuerte en los temas organizativos de los que depende mayormente la disponibilidad de compartir los datos.

Asimismo, diseminados por el mundo existen varias iniciativas para intercambiar información geográfica, mediante la aplicación del concepto de Infraestructura de Datos Espaciales, IDE, en donde existen nodos, que son las organizaciones generadoras de información geográfica, las cuales publican y comparten entre sí la información a través del Internet. Cada una de estas iniciativas ha desarrollado sus propias metodologías y han recorrido sus propios caminos con resultados mixtos.

El presente trabajo pretende establecer una metodología para implementar los nodos que componen una IDE. Para esto, se ha tomado como referencia las experiencias y buenas prácticas de otros trabajos realizados en este tema a nivel mundial. Por ser Ecuador el país en el que se asienta este trabajo, también se analizó el marco legal que sustenta el desarrollo de sistemas para la publicación y el intercambio de información geográfica. Se tomó como referencia las razones para el surgimiento de las IDE, sus objetivos y requerimientos, para definir el modelo de Arquitectura básica de un nodo IDE; y en base a este modelo se estableció la hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE.

Finalmente, es importante recordar que toda tarea de publicación e intercambio de información geográfica y relacionada, debe contar con el apoyo ejecutivo para contar con los recursos tecnológicos, financieros y de talento humano, necesarios para alcanzar este objetivo.

ABSTRACT

Around the whole world the need for geographical and exchange, organized and documented information, it is imperative for business planning and decision making. In developing countries the issue of sharing information is very important to avoid duplication of efforts and waste of resources. At present, the development of geographic information technologies, increasing the availability of Internet access, and reducing cost of computer equipment are factors that provide technological support for the exchange of information. However, hardware and software are not the only components to fulfill this purpose, it is necessary to work hard on organizational issues that largely depends on the availability of data sharing.

Also scattered throughout the world there are several initiatives to exchange geographic information by applying the concept of Spatial Data Infrastructure, IDE, where there are nodes that are organizations generating geographic information, which publish and share information with each other through the Internet. Each of these initiatives have developed their own methodologies and have gone their own ways with mixed results.

This paper aims to establish a methodology to implement the nodes that make up an IDE. To achieve this, has been considered the experiences and good practices recommended in work in this topic worldwide. Because Ecuador the country in which this work is based, the legal framework that supports the development of systems for publishing and sharing of geographic information was also analyzed. Reference was the reasons for the emergence of the IDE, objectives and requirements, to define the basic architecture model of a SDI node, and based on this model the roadmap for the implementation of an SDI node was established.

Finally, it is important to remember that the whole task of publishing and sharing of geographic and related information, must have executive support to have the technological, financial and human talent necessary resources to achieve this goal

Tabla de contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
Índice de figuras	13
Índice de tablas	14
I. PRESENTACIÓN	15
A. INTRODUCCIÓN	15
1.1 <i>Antecedentes</i>	15
1.2 <i>El problema</i>	15
1.3 <i>Objetivos</i>	16
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	16
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
1.4 <i>Hipótesis</i>	16
1.5 <i>Justificación</i>	16
1.6 <i>Contexto</i>	17
1.6.1 <i>Constitución de la república del Ecuador y el libre acceso a la información</i>	17
1.6.2 <i>Principio de publicidad de la información pública</i>	18
1.6.3 <i>Sistema nacional de información, SNI</i>	18
II. MARCO TEÓRICO	21
2. INTRODUCCIÓN A LAS IDE	21
2.1 <i>Necesidad de compartir información</i>	21
2.2 <i>¿Qué es una IDE?</i>	22
2.3 <i>Razón del surgimiento de las IDE</i>	23
2.4 <i>Objetivos de una IDE</i>	24
2.5 <i>Importancia de las IDE</i>	25
2.6 <i>Componentes de una IDE</i>	27
2.7 <i>Los actores de una IDE</i>	28
2.8 <i>Organización de las IDE</i>	29
2.9 <i>Principios para el establecimiento de las IDE</i>	31
2.10 <i>Principales factores para el desarrollo de una IDE</i>	32
3. ESTÁNDARES E INTEROPERABILIDAD	34

3.1	<i>Introducción</i>	34
3.2	<i>Interoperabilidad</i>	34
3.3	<i>Necesidad de los estándares</i>	36
3.4	<i>Aspectos clave de normalización en una IDE</i>	37
3.5	<i>¿Quiénes dictan los estándares?</i>	38
3.6	<i>Metadatos</i>	38
3.7	<i>Estándares de metadatos</i>	40
3.7.1	Comité Europeo de Normalización	40
3.7.2	Federal Geographic Data Committee	41
3.7.3	Organización Internacional para la Estandarización	41
3.7.4	Otras iniciativas internacionales: OpenGIS Consortium.....	41
3.8	<i>Norma de Metadatos ISO 19115</i>	42
3.9	<i>Lenguajes de transferencia y comunicación</i>	43
3.10	<i>Estándares de servicios IDE</i>	44
3.10.1	Servicio Web de Mapas (WMS)	45
3.10.2	Descriptor de Estilos de Capa (SLD)	46
3.10.3	Servicio Web de Fenómenos, entidades u objetos (WFS)	46
3.10.4	Servicio de Nomenclátor (WFS-G).....	46
3.10.5	Servicio Web de Coberturas (WCS)	46
3.10.6	Servicio de Catálogo para la Web (CSW).....	47
3.10.7	Otros estándares en las IDE.....	47
III.	METODOLOGÍA	48
4.	Arquitectura referencial para un nodo IDE	49
4.1	<i>Proceso</i>	49
4.1.1	Análisis de las razones del surgimiento de las IDE.....	50
4.1.2	Análisis de objetivos de la IDE	51
4.1.3	Análisis de los requerimientos de datos	52
4.1.4	Análisis de requerimientos tecnológicos	53
4.1.5	Diseño de la arquitectura de un nodo IDE	55
5.	Implementación de un nodo IDE: Hoja de ruta	60
5.1	<i>Consideraciones preliminares</i>	60
5.1.1	Cooperación y alianzas.....	60
5.2	<i>Hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE</i>	62
5.3	<i>Recursos</i>	65
5.3.1	Talento Humano	66
5.3.2	Tecnología.....	66
5.3.3	Recursos financieros	67
5.4	<i>Implementación física</i>	67
5.4.1	Servidor de Base de Datos	68
5.4.2	Servidor Web.....	69

5.4.3	Servidor de Mapas.....	70
5.4.4	Servidor de Metadatos.....	71
5.4.5	Servidor de Archivos.....	71
5.4.6	Consideraciones finales.....	72
5.5	<i>Migración de los datos</i>	72
5.5.1	Organización de los datos	73
5.5.2	Almacenamiento de los datos.....	74
5.6	<i>Publicar la información</i>	75
5.6.1	Usuarios internos.....	75
5.6.2	Usuarios externos	76
5.7	<i>Geoportales</i>	77
5.7.1	Componentes fundamentales de un geoportal.....	77
5.7.2	Usabilidad.....	78
5.7.3	Diseño Centrado en el Usuario.....	79
	La página principal.....	79
	La navegación	80
	Los Contenidos.....	81
5.8	<i>Programación SIG</i>	82
5.9	<i>Difusión y comunicación</i>	83
5.9.1	Concienciación.....	83
5.9.2	Marketing y promoción.....	84
5.9.3	Plan de comunicación.....	84
5.9.4	Difusión.....	86
6.	Conclusiones	88
7.	Bibliografía	90
	ANEXOS	92
I.	CONCEPTOS SIG	92
1.1	<i>¿Qué es un SIG?</i>	92
1.1.1	<i>Subsistemas de un SIG</i>	92
1.1.2	<i>Componentes de un SIG.</i>	93
1.2	<i>Historia de los SIG</i>	95
1.3	<i>Componentes de la información geográfica</i>	99
1.4	<i>División horizontal de la información geográfica</i>	100
1.5	<i>División vertical de la información: Capas</i>	100
1.6	<i>Modelos de datos SIG</i>	101
1.6.1	Modelo Vector.....	102
1.6.2	Modelo Raster (Mapa de bits).....	104
	Imágenes	106

II. FUNDAMENTOS CARTOGRÁFICOS Y GEODÉSICOS.....	107
2.1 <i>Elipsoide de referencia y Geoide</i>	<i>107</i>
2.2 <i>El datum geodésico</i>	<i>109</i>
2.3 <i>Sistemas de Coordenadas.....</i>	<i>110</i>
2.3.1 <i>Coordenadas geográficas.....</i>	<i>110</i>
2.3.2 <i>Proyecciones cartográficas.....</i>	<i>112</i>
Tipos de proyecciones.....	113
2.3.3 <i>La proyección UTM.....</i>	<i>114</i>
2.4 <i>La escala</i>	<i>116</i>

Índice de figuras

Figura 2-1 Componentes de una IDE	28
Figura 2-2 Organización de una IDE.	30
Figura 2-3 Niveles jerárquicos de una IDE.	31
Figura 2-4 La influencia de las personas y procesos en la tecnología usada en la creación y funcionamiento de una IDE (Henricksen, 2007).....	33
Figura 3-1 Arquitecturas básicas para interoperabilidad.....	35
Figura 4-1 Proceso de definición de la arquitectura del nodo IDE	49
Figura 4-2 Arquitectura de un nodo IDE	56
Figura 5-1 Hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE.....	65

Índice de tablas

Tabla 4-1 Análisis de las razones del surgimiento de las IDE	50
Tabla 4-2 Análisis de objetivos de la IDE.....	51
Tabla 4-3 Análisis de los requerimientos de datos.....	52
Tabla 4-4 Análisis de requerimientos tecnológicos	53
Tabla 4-5 Componentes básicos de un nodo IDE	55
Tabla II-1 Elipsoides comunes.....	109

I. PRESENTACIÓN

A. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, SENPLADES, a través de la Subsecretaría de Información, lidera el desarrollo del Sistema Nacional de Información, SNI, el mismo que integra sinérgicamente a las entidades del gobierno central y a los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) a fin de proveer datos e información relevantes en los procesos de planificación de los distintos niveles de gobierno, así como para el seguimiento y evaluación de sus programas y proyectos.

En este contexto, la Subsecretaría de Planificación Zonal 6 – Austro, de la SENPLADES, conformó el Sistema de Información Zonal, SiZ6, articulado al SNI, y que tiene por objeto facilitar y promover la difusión e intercambio de información estadística y geoespacial desagregada, y generada por la entidades del gobierno central, los GAD, la academia y otras organizaciones asentadas en las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

El SiZ6 inicio su construcción a finales del 2010 como un proyecto piloto, dentro del Sistema Nacional de Información. A partir del 2011, se iniciaron los procesos técnicos y organizacionales necesarios para la adhesión de las primeras entidades al SiZ6. A finales del 2012, la Subsecretaría de Información, de la SENPLADES, a través del Proyecto Emblemático SNI, ha replicado el modelo del SiZ6 en el resto de Zonas de Planificación de la SENPLADES, convirtiéndonos en un referente nacional.

1.2 El problema

Actualmente, los principales objetivos en los que se trabaja en el SiZ6 son la adhesión de un mayor número de entidades de gobierno y de los GAD de la Zona 6, así como en el desarrollo de nuevas herramientas para el intercambio y uso de la información.

Sin embargo, tanto en las entidades de gobierno, como en los GAD, hacen falta procesos estándar para a la gestión de la información geoespacial; los datos, a menudo, están pobremente documentados y se almacenan en formatos incompatibles, lo que dificulta el intercambio, el acceso y reutilización de dichos datos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una guía metodológica para la implementación de Nodos IDE Locales, mediante la aplicación de las experiencias y mejores prácticas a, nivel internacional, en el desarrollo de Infraestructuras de Datos Espaciales.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar las experiencias y mejores prácticas en el desarrollo de Infraestructuras de Datos Espaciales, IDE, a nivel internacional, para:

- Definir los elementos que conforman la arquitectura referencial para un nodo IDE.
- Establecer una hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE.

1.4 Hipótesis

Un modelo de gestión ayuda en la implementación y desarrollo de IDE locales, y evitan las dificultades en el acceso, intercambio y difusión de los datos.

1.5 Justificación

La necesidad de información geográfica y relacionada, hoy es imperativo en todos los niveles de gobierno, en el sector privado y otros sectores en los que se planifica y se toman decisiones.

En el Ecuador, a raíz del mandato constituyente para la elaboración de una planificación descentralizada y participativa, la necesidad de información confiable y compatible se ha vuelto en un imperativo.

Específicamente, la elaboración de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial fue un hecho que hizo surgir la imperiosa necesidad de desarrollar y/o implementar un sistema para compartir e intercambiar datos e información geográfica y no geográfica, entre las diferentes entidades del gobierno central, así como entre los diferentes niveles de GAD.

1.6 Contexto

1.6.1 Constitución de la república del Ecuador y el libre acceso a la información

La Constitución de la república del Ecuador, vigente a partir de 20 de octubre del 2008, en el capítulo concerniente a los *Derechos del buen vivir*, artículo 16, numeral 2, establece:

- *“Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a: El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación”.*

Esto se complementa con el artículo 18, numerales 1 y 2 que rezan, respectivamente: *“Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:”*

- *“Buscar, recibir, intercambiar, producir y difundir información veraz, verificada, oportuna, contextualizada, plural, sin censura previa acerca de los hechos, acontecimientos y procesos de interés general, y con responsabilidad ulterior.”*
- *“Acceder libremente a la información generada en entidades públicas, o en las privadas que manejen fondos del Estado o realicen funciones públicas. No existirá reserva de información excepto en los casos expresamente establecidos en la ley. En caso de violación a los derechos humanos, ninguna entidad pública negará la información.”*

1.6.2 Principio de publicidad de la información pública

La Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública, en su artículo 1, establece el Principio de publicidad de la información pública:

“Toda la información que emane o que esté en poder de las instituciones, organismos y entidades, personas jurídicas de derecho público o privado que, para el tema materia de la información tengan participación del Estado o sean concesionarios de éste, en cualquiera de sus modalidades, conforme lo dispone la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado; las organizaciones de trabajadores y servidores de las instituciones del Estado, instituciones de educación superior que perciban rentas del Estado, las denominadas organizaciones no gubernamentales (ONG’s), están sometidas al principio de publicidad; por lo tanto, toda información que posean es pública, salvo las excepciones establecidas en esta Ley.”

En consecuencia, el acceso, intercambio y difusión de la información, generada con recursos públicos, es un derecho de las personas, garantizado constitucionalmente; y por ende debe ser cumplido y aplicado por todas las entidades del sector público, y por las entidades privadas que usan fondos públicos para generar y/o procesar información.

1.6.3 Sistema nacional de información, SNI

Con Acuerdo 151 – 2008, se expiden reformas al Estatuto Orgánico de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. En este estatuto se establece, entre los objetivos principales, lo siguiente:

“Proveer a los actores del Sistema Nacional de Planificación de información sistematizada, pertinente y confiable sobre aspectos relevantes de la realidad nacional; estudios e investigaciones que contribuyan a mejorar la formulación de políticas públicas y la elaboración de propuestas de desarrollo”.

Se define como la misión de la Subsecretaría de Información e Investigación:

"Garantizar a la población en general y, en particular, a los actores del Sistema Nacional de Planificación, el acceso a información confiable, oportuna y consistente sobre los diversos ámbitos de la realidad nacional; mediante la dirección, articulación y coordinación del Sistema Nacional de Información vinculado a la formulación de propuestas de desarrollo y diseño de políticas públicas a través de la investigación; el establecimiento de competencias apropiadas en el sector público para la planificación mediante la formación profesional; y, la implantación de procesos y metodologías que permitan operativizar los procesos institucionales".

Adicionalmente, mediante Decreto Ejecutivo No. 1577, de 11 de febrero de 2009, por el cual se crea el Consejo Nacional de Planificación, y en su Disposición General manifiesta:

"Las instituciones públicas dependientes de la Función Ejecutiva que hayan creado, creen y/o administren bases de datos, deberán obligatoriamente integrar su información al Sistema Nacional de Información coordinado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo".

Con estos antecedentes, nace el Sistema Nacional de Información, SNI, que integra que integra sinérgicamente a las entidades del gobierno central y a los gobiernos autónomos a fin de proveer datos e información relevantes en los procesos de planificación de los distintos niveles de gobierno, así como para el seguimiento y evaluación de los avances en la construcción de la Sociedad del Buen Vivir.

La razón de ser del SNI, se fortalece legalmente a través de las disposiciones del Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, expedido y vigente a partir del 2010, en el cual se establece:

“ ...

- **Art.30 Generalidades.**-... *La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo establecerá los mecanismos, metodologías y procedimientos aplicables a la generación y administración de la información para la planificación, así como sus estándares de calidad y pertinencia.*

Adicionalmente, definirá el carácter de oficial de los datos relevantes para la planificación nacional, y definirá los lineamientos para la administración, levantamiento y procesamiento de la información, que serán aplicables para las entidades que conforman el sistema¹.

- **Art. 31.- Libre acceso a la información.-***La información para la construcción de las políticas públicas será de libre acceso, tanto para las personas naturales como para las jurídicas públicas y privadas, salvo en los casos que señale la Ley. Para el efecto, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo tendrá a su cargo el Sistema Nacional de Información.*
- **Art. 32.- Sistema Estadístico y Geográfico Nacional.-***El Sistema Estadístico y Geográfico Nacional será la fuente de información para el análisis económico, social, geográfico y ambiental, que sustente la construcción y evaluación de la planificación de la política pública en los diferentes niveles de gobierno.*

...

La información estadística y geográfica generada o actualizada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados se coordinará con el Sistema Nacional de Información.

- **Art. 33.- Del Sistema Nacional de Información.-***El Sistema Nacional de Información constituye el conjunto organizado de elementos que permiten la interacción de actores con el objeto de acceder, recoger, almacenar y transformar datos en información relevante para la planificación del desarrollo y las finanzas públicas. Sus características, funciones, fuentes, derechos y responsabilidades asociadas a la provisión y uso de la información serán regulados por este código, su reglamento y las demás normas aplicables.*

...”

¹El término “sistema” hace referencia al Sistema Nacional Descentralizado de Planificación Participativa

II. MARCO TEÓRICO

2. INTRODUCCIÓN A LAS IDE

2.1 Necesidad de compartir información

Los continuos avances en las tecnologías geoespaciales, incluyendo la posibilidad, cada vez mayor, de adquirir una variedad de datos a bajo costo, y el aumento en la capacidad de cálculo de los computadores, no sólo han facilitado, sino que incluso han incrementado la demanda de la información geográfica.

La necesidad de compartir información y el rápido crecimiento del internet ha hecho de este el medio el preferido para la difusión de datos. Igualmente que podemos acceder a otros tipos de información a través de internet, o de una red local (intranet), también podemos emplear esta tecnología para acceder a información geográfica y trabajar con ella dentro de un SIG de escritorio, o a través de aplicaciones geoespaciales basadas en la web.

A medida que crece la importancia de la información geográfica aplicada a una variedad de temas sociales, medioambientales y económicos, con los que se enfrentan las sociedades en todo el mundo, el establecimiento de una Infraestructura de Datos Espaciales, IDE, para compartir y usar estos datos a nivel local, nacional y transnacionalmente, tiene cada vez mayor sentido hasta convertirse actualmente en una necesidad.

En la actualidad, no se puede depender únicamente de datos almacenados en el mismo computador en el que se trabaja con un SIG (datos locales), sino que es ineludible la necesidad de operar con datos remotos, provenientes de las entidades productoras y procesadoras de los datos. Por esta razón, en (United Nations, 2009) se afirma que el desarrollo de las IDE nacionales son la mejor alternativa para facilitar la disponibilidad y el acceso a los datos espaciales para las organizaciones gubernamentales, el sector privado, la academia y la sociedad civil en general.

En los últimos años, el sector de la información geográfica ha experimentado un importante cambio de paradigma: desde las aplicaciones SIG de escritorio se ha evolucionado hacia las IDE.

Por lo tanto, está claro que la principal finalidad de las IDE es conseguir lo que se ha denominado la democratización de la información geográfica. Es decir, que todos los usuarios, tanto los especialistas como los que no lo son, puedan utilizar este tipo de información, a través de las tecnologías web, del modo más eficaz posible.

2.2 ¿Qué es una IDE?

El concepto de Infraestructura de Datos Espaciales o IDE, se desarrolló y arraigó en la década de 1990 para apoyar el desarrollo de normas para el intercambio de información geográfica y el establecimiento de redes de información espacial a nivel nacional, en países como los EE.UU., Reino Unido, Canadá, la Comunidad Europea, Australia y Nueva Zelanda. Un claro ejemplo de esto, es la orden ejecutiva, sobre coordinación de adquisición y acceso de datos geográficos, firmada en 1994 por el Gobierno Federal de Estados Unidos, elevando el asunto de las IDE de un tema técnico a ser uno esencial para el desarrollo social y económico del país (Henricksen, 2007).

Es así que según (Bernabé P. & López V., 2012), una Infraestructura de Datos Espaciales, IDE, *“es un conjunto de datos, tecnologías y acuerdos políticos que permiten a ciudadanos e instituciones acceder de forma ubicua a la información geográfica, almacenada en servidores institucionales y privados, a través de internet, con las limitaciones de acceso y uso que el propietario de la información disponga”*.

Desde el punto de vista técnico, las IDE son sistemas de información distribuidos en internet, con una arquitectura orientada a servicios web (*SOA, siglas en inglés*). Por su lado, los servicios web, son sistemas de software que permiten la interoperabilidad entre distintos computadores conectados a internet. Esta interoperabilidad se produce a través de ciertas operaciones que forman la interfaz de los servicios, y que los propios servicios describen para que otros los puedan utilizar.

Los servicios web propios de las IDE son aquellos diseñados para gestionar datos espaciales, principalmente los servicios de catálogo, de visualización, de descarga y de procesamiento de estos datos.

Además de servicios web, las IDE pueden ofrecer aplicaciones que hacen uso de estos servicios y que proporcionan nuevas funcionalidades a los usuarios finales. Entre estas aplicaciones cabe destacar los geoportales, que son portales web que dan acceso a las aplicaciones y servicios de una IDE.

Consecuentemente, el problema de compartir datos de manera ubicua está prácticamente solucionado gracias a la utilización de tecnologías basadas en internet. Por el contrario, los escenarios organizacionales y políticos son más complejos. La definición y adopción de estándares, políticas de acceso, dominio, uso y propiedad de los datos, son los asuntos que pueden retrasar, e incluso hacer que fracase, la implantación de una infraestructura de datos espaciales.

2.3 Razón del surgimiento de las IDE

Un hecho de dominio público, y que se ratifica en la literatura consultada, es que en todo el mundo las organizaciones gastan muchos recursos produciendo y utilizando información geográfica. No obstante, aún persiste la carencia de información que necesitan las instituciones para tomar decisiones. En este problema hay varios aspectos y situaciones que considerar:

- Datos espaciales almacenados en equipos de cómputo personales, y en el mejor de los casos, dispersos por la red, con la consiguiente dificultad de localización de los mismos, así como el contacto con las entidades propietarias de los mismos.
- La mayoría de las organizaciones necesitan más datos de lo que pueden permitirse adquirir.
- Desconocimiento por parte de los propietarios de la totalidad de los datos almacenados.
- Las organizaciones a menudo necesitan datos fuera de su jurisdicción o áreas de operación. No recogen estos datos por ellas mismas, sino que otras lo hacen por ellas.

- Los datos recogidos por diferentes organizaciones son a menudo incompatibles.
- Los datos pueden cubrir la misma área geográfica pero utilizar bases y normas geográficas diferentes.
- Existencia de información espacial duplicada. Muchas de las organizaciones que gastan recursos en sistemas de información geográfica (SIG) duplican los esfuerzos de recolección de datos de otras organizaciones. Los mismos temas de información geográfica para un área son recogidos una y otra vez, a un gran coste.

Estas situaciones pueden mejorar considerablemente mediante el apoyo a los esfuerzos individuales IDE, de manera que los datos puedan ser intercambiados por colaboradores de los sectores público y privado, suministrando datos geográficos en un lenguaje común, y descubribles mediante un catálogo al cual cualquiera puede acceder.

2.4 Objetivos de una IDE

Tomando como referencia el punto 2.3, que trata sobre la razón del surgimiento de las IDE, y de acuerdo con (Valencia Martínez, 2008), la implementación de una IDE tiene como objeto dar respuesta a los problemas descritos anteriormente. Consecuentemente, los principales objetivos de una IDE son claramente reconocibles, y se detallan a continuación:

- **Facilitar el acceso y la integración** de la información geoespacial², tanto a nivel institucional y empresarial, así como de los propios ciudadanos, lo que permitirá extender el conocimiento y el uso de la información geográfica y la optimización de la toma de decisiones.
- Promover el **uso de metadatos** estandarizados como método para documentar la información espacial.

² Los términos *información geográfica* e *información geoespacial* para este trabajo son considerados sinónimos, por lo que se usarán indistintamente.

- Posibilitar la **reutilización** de la información geográfica generada en un proyecto para finalidades diferentes, lo que permitirá la reducción de costos y evitar la duplicación de esfuerzos.
- Promover a la **cooperación**, favoreciendo un clima de confianza para el intercambio de datos.

2.5 Importancia de las IDE

La consecución de los objetivos de la IDE conlleva una serie de beneficios, tanto para los productores de información espacial como para los usuarios. En definitiva, las IDE son importantes para la sociedad en su conjunto, dado que aportan beneficios mutuos para los diferentes actores que se involucran en su accionar, entre estos beneficios se destacan los siguientes:

- **Para el Estado**
 - Disponer, en forma homogénea, de toda la información geográfica producida por sus instituciones. Garantiza un mejor conocimiento de la realidad nacional.
 - Permite el intercambio de información, horizontalmente, a través de todas las entidades de la administración pública del mismo nivel; y verticalmente, a través del Estado, los gobiernos locales, la academia, el sector privado y los ciudadanos.
 - Promover políticas de acceso a la información para que los ciudadanos que estén más informados.
 - La información será capturada una vez y usada muchas veces como soporte a múltiples requerimientos. Permitiendo la coordinación y la integración de datos a distintos niveles de la administración pública, evitando así la información duplicada, y reduciendo costos.
 - Permite que el Estado tenga una herramienta de apoyo para la toma de decisiones sobre su territorio.
- **Para los productores**

- Proporciona dinamismo en la comunicación con sus clientes. Los productores se ven beneficiados por la creación y ampliación de la demanda de información geoespacial y, al mismo tiempo, se da a conocer la oferta de datos, servicios y aplicaciones geográficas.
 - Facilita conocer la información existente en otras entidades y establecer mecanismos de intercambio. Al facilitar la cooperación entre productores, se reducen las inversiones de cada organización en la captura e integración de datos.
 - Reutilización de los datos (reutilización vs recolección o transformación).
 - Permite disponer de reglas de juego claras. Promueve la aplicación corporativa de estándares y mejores prácticas.
 - Incentiva a vincularse de manera activa y definida en la producción, mantenimiento, custodia, distribución y generación de valor agregado en los productos y servicios de información geográfica.
 - Oportunidad de integrar los datos de diversos tipos para crear productos y servicios innovadores.
 - Desarrollo y soporte a una amplia gama de nuevas aplicaciones geoespaciales con valor agregado.
 - Publicidad.
-
- **Para los usuarios**
 - Facilidad de acceso a la información mediante portales en internet.
 - La combinación de información de diversas fuentes en función de un objetivo determinado.
 - Conocer con detalle la oferta existente y la manera de acceder a los datos geográficos.
 - Permite el acceso oportuno a la información. Podrán conocerla, evaluarla, adquirirla, integrarla y usarla para tomar sus decisiones en diferentes aplicaciones.
 - Conocimiento de las cualidades de la información antes de adquirirla. Surge la posibilidad de evaluar la calidad de los datos que ofrece cada productor.

- Suministro de actualizaciones de forma automática; los datos se actualizan en la fuente y los cambios se reflejan de manera transparente para los usuarios.

2.6 Componentes de una IDE

El consenso internacional recomienda que una IDE debe basarse en cinco pilares o componentes fundamentales, los cuales, según (Warnest, 2005), están fuertemente relacionados e interactúan entre sí.

- **Datos:** Son el núcleo de una IDE. Comprende a los datos y servicios geográficos, descritos por sus respectivos metadatos³.
- **Actores:** Son los organismos o entidades que desempeñan un rol dentro la IDE, entre los cuales están: los productores de datos, desarrolladores de software, intermediarios y usuarios finales. Los usuarios pueden ser las empresas, pequeñas o grandes, negocios o personas, públicas o privadas. Este componente es necesario para que una IDE permanezca y se consolide con el paso del tiempo y en consecuencia, consiga el éxito de esta iniciativa en la sociedad.
- **Marco institucional:** Normalmente las IDE se organizan jerárquicamente, siendo necesario establecer políticas y acuerdos que permitan crear un marco institucional para establecer una IDE a nivel local, y coordinarse para la creación de IDE regionales, nacionales o incluso a nivel global. Aunque los aspectos políticos no son el núcleo de las IDE, ejercen una gran influencia sobre el desarrollo las mismas.
- **Tecnología:** Comprende a los medios físicos e infraestructura, necesarios para el establecimiento de redes y mecanismos informáticos que permitan almacenar,

³ Los metadatos informan a los usuarios sobre las características de los datos existentes para que sean capaces de entender lo que representan y cómo lo representan, y además permiten la búsqueda y selección de los datos que les interesan.

buscar, explorar, consultar, acceder, compartir y utilizar los datos y servicios geoespaciales, conjuntamente con sus respectivos metadatos.

- **Estándares:** Permiten el intercambio, la integración y reutilización de la información tanto dentro de la propia infraestructura como en su integración con otras IDE o entidades externas. Estos estándares abarcan los sistemas de referencia, modelos, transferencia e interoperabilidad de datos y metadatos.



Figura 2-1 Componentes de una IDE

2.7 Los actores de una IDE

En un que un proyecto IDE, es necesaria la participación de un conjunto de actores, cada uno con su rol específico.

- **Productores de datos:** Son entidades y organizaciones públicas o privadas que se encargan de producir datos. En la mayoría de los proyectos IDE, este papel por lo general lo desempeñan organismos públicos.
- **Proveedores de servicios:** Son organizaciones que asumen la implementación, puesta en producción y mantenimiento de servicios web geoespaciales. Lo más natural y eficaz es que la entidad que ha producido unos datos sea la que se

encargue de proporcionar el servicio web correspondiente, garantizando así que la información que muestre el servicio esté actualizada y sea oficial.

- **Desarrolladores de software:** Son individuos, entidades u organizaciones, públicas o privadas, que crean las aplicaciones informáticas que intervienen en una IDE; ya sean las aplicaciones que proporcionan los servicios, las aplicaciones cliente que los utilizan, o los geoportales, que son la puerta de entrada a una IDE y que presentan toda la información. Este papel con frecuencia lo desempeñan empresas privadas y universidades.
- **Colaboradores en la definición de estándares:** Son organismos públicos, universidades y empresas privadas que colaboran en el desarrollo de los borradores y contribuyen a la creación de las versiones finales de estos documentos.
- **Intermediarios:** Generalmente son empresas y organizaciones que aprovechando los recursos básicos que hay disponibles en una IDE (servicios, software compartido, datos, metadatos, etc.) los integran, adaptan y generan servicios y productos de valor añadido.
- **Usuarios finales:** Son ciudadanos, entidades públicas o privadas, empresas, universidades y cualquier otra persona física o jurídica que definen las necesidades de la IDE. Colectivamente son el actor más importante para el desarrollo de un proyecto IDE, y suelen organizarse en comunidades.

2.8 Organización de las IDE

Las Infraestructuras de Datos Espaciales se conforman con una serie de nodos (nodos IDE), que se corresponden con cada una de las instituciones productoras de datos geoespaciales. Las relaciones que existen entre los nodos representan los acuerdos que se establecen en el marco de una IDE, es decir, que dichas relaciones respetan el marco institucional, los estándares, los aspectos tecnológicos y las políticas de datos adoptadas de común acuerdo entre los miembros de la IDE.

Los nodos ponen a disposición de la IDE los datos, los metadatos, los servicios y aplicaciones geoespaciales para que ésta pueda brindarlos en forma centralizada a toda la comunidad, para conformar un punto de acceso único a toda la información geográfica de la jurisdicción en la que se ha establecido la IDE. De todas maneras, cada nodo puede optar por publicar los datos, metadatos, servicios y aplicaciones propias, o de otros nodos, también desde su propio geoportal.

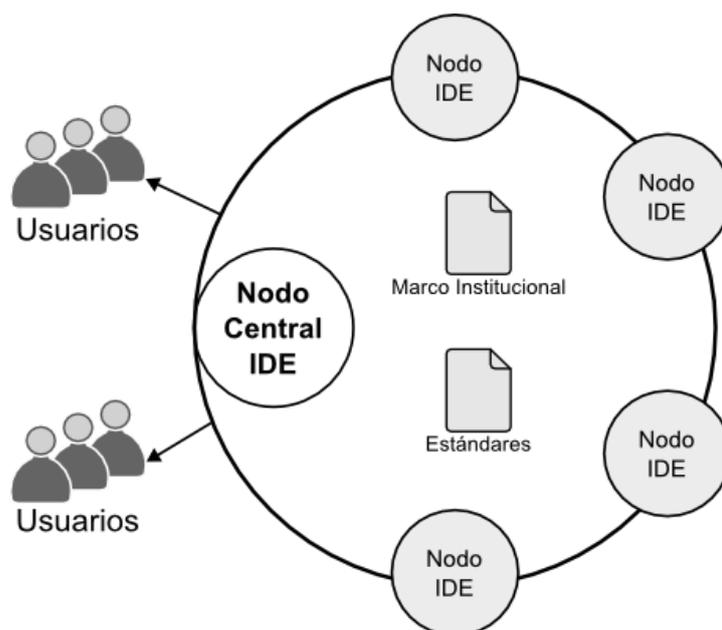


Figura 2-2 Organización de una IDE.

Por otra parte, existen distintas jerarquías de IDE, en función de la jurisdicción del territorio que les corresponde representar: global, regional, nacional, provincial, local y organizacional. Entre otras características de estas jerarquías, el nivel de detalle de los datos geoespaciales, que proporciona una IDE, es mayor a medida que se está más en contacto con la gestión local del territorio.

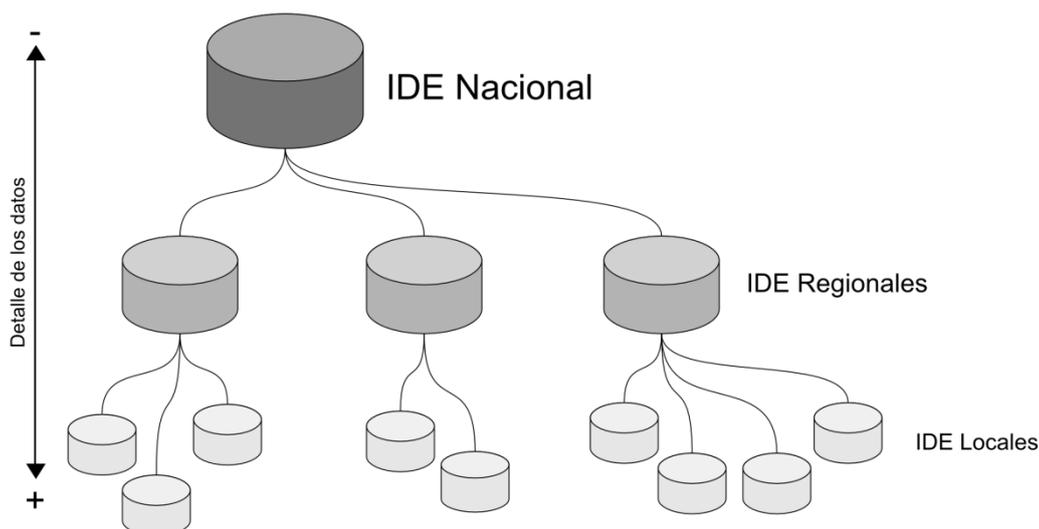


Figura 2-3 Niveles jerárquicos de una IDE.

Entre las IDE pertenecientes a los diferentes niveles, existen relaciones muy importantes, ya que las IDE de menor jerarquía constituyen una parte de las IDE mayores; y a su vez, las IDE de mayor jerarquía establecen condiciones mínimas que deben ser adoptadas y complementadas en las IDE de menor nivel de desagregación territorial. De la misma manera, es muy recomendable que las IDE que pertenecen a la misma jerarquía, establezcan relaciones entre sí, y particularmente las que se ocupan de territorios adyacentes.

2.9 Principios para el establecimiento de las IDE

Los cuatro principios elementales, que según (Henricksen, 2007), sustentan cualquier IDE, proporcionan una guía de referencia útil para su implementación y desarrollo.

1. El objetivo primordial de una IDE es maximizar el uso de la información geográfica.
2. La implementación de una IDE involucra una amplia gama de actividades, tanto técnicas como institucionales/organizacionales.
3. Las IDE no pueden realizarse sin la acción coordinada de los gobiernos.
4. Las IDE deben ser impulsadas por la comunidad de usuarios.

Además de estos cuatro principios fundamentales de las IDE, el establecimiento de una IDE también incluye los siguientes principios comunes:

- **Marco Institucional:** El establecimiento de acuerdos entre los productores de información geográfica, especialmente entre los productores oficiales, para generar y mantener los datos geoespaciales.
- **Política de datos:** El establecimiento de las políticas, alianzas y acuerdos de colaboración necesarios para aumentar la disponibilidad de datos espaciales y compartir los desarrollos tecnológicos.
- **Estándares:** El establecimiento y adopción de normas a las que deberá ajustarse la información geográfica, los intercambios de ésta y la interoperación de los sistemas que la manejan.
- **Tecnología:** El establecimiento de mecanismos informáticos que permitan: buscar, consultar, encontrar, acceder, suministrar, intercambiar y usar los datos geoespaciales.

2.10 Principales factores para el desarrollo de una IDE

Existen dos clases de factores trascendentales que impulsan la implementación y operación exitosa de una IDE, los llamados factores tangibles y los factores intangibles.

La tecnología, que abarca los componentes tangibles de una IDE, es sólo la punta del iceberg. Los especialistas técnicos no siempre perciben la relación de esta manera, dando poca importancia a los otros elementos que conforman una IDE. Los datos, por ejemplo, a menudo son recolectados y adecuados para servir a procesos de negocio y propósitos específicos. El resultado de esto es el uso ineficiente de los recursos, la posible duplicación, inconsistencia, incompatibilidad e incapacidad de maximizar el valor de los datos.

Según (Henricksen, 2007), la influencia de los factores intangibles tales como las personas, los procedimientos y la cultura de trabajo ejercen alrededor del 80% de

responsabilidad sobre el éxito y fracaso de las IDE. En contraste, los factores tecnológicos, incluyendo el hardware y el software necesarios para el funcionamiento de una IDE, comparten tan sólo el 20% de la influencia total sobre su eficacia operativa.

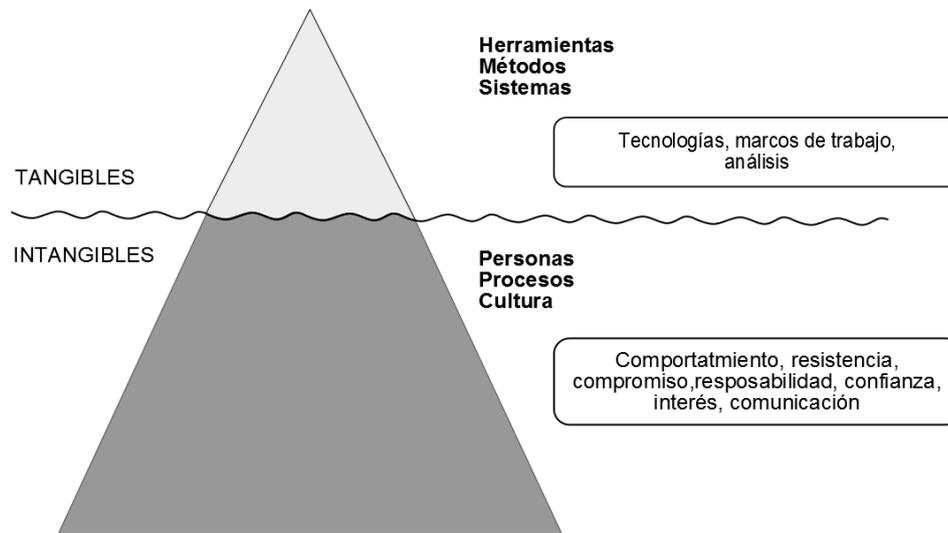


Figura 2-4 La influencia de las personas y procesos en la tecnología usada en la creación y funcionamiento de una IDE (Henricksen, 2007).

La gran influencia de los factores intangibles sobre los tangibles asociados a la creación y funcionamiento de una IDE es claramente notoria. Por ende, las instituciones involucradas en una IDE deben estar dispuestas a trabajar juntas con una visión y objetivos comunes.

3. ESTÁNDARES E INTEROPERABILIDAD

3.1 Introducción

Uno de los objetivos de las IDE es que se pueda compartir la información geográfica procedente de diversas fuentes a través de Internet. Para eso, técnicamente es necesario que los sistemas se entiendan entre sí y además, que los datos que se compartan sean inteligibles y comparables por cada uno de los sistemas que los usan. Para lograrlo, se establecen los estándares que facilitan la interoperabilidad necesaria para que los datos, servicios y recursos de una IDE puedan utilizarse combinados y compartidos.

Los estándares de tecnología y de datos permiten que los recursos y servicios de información sean interoperables. No obstante, las normas no sólo se aplican a los datos y a la tecnología, también son aplicables al conjunto de los procesos operativos en una IDE. Sin embargo, no todos los estándares pueden satisfacer las necesidades de cada comunidad de usuarios y, en algunos casos, productos derivados no convencionales pueden ser necesarios, (NAS & USGS, 2012).

Solamente, a través de convenciones comunes y acuerdos técnicos será fácilmente posible, para las personas encargadas de la toma de decisiones descubrir, adquirir, explotar y compartir información geográfica vital para solventar los problemas que se presenten, (Nebert, 2005). Es decir, las normas deben servir a la más amplia gama de tipos de usuarios posibles.

3.2 Interoperabilidad

La interoperabilidad es una de las principales preocupaciones, ya que es difícil de interconectar diversos sistemas desarrollados por diferentes organizaciones para diferentes propósitos. Para que un sistema de sistemas funcione efectivamente, deben ser definidas interfaces claras y abiertas entre los sistemas, independientemente de sus estructuras específicas y la implementación de sus componentes.

Existen tres arquitecturas para sistemas interoperables (Lasshuyt y van Hekken, 2001), como se muestra en la figura 3-1.

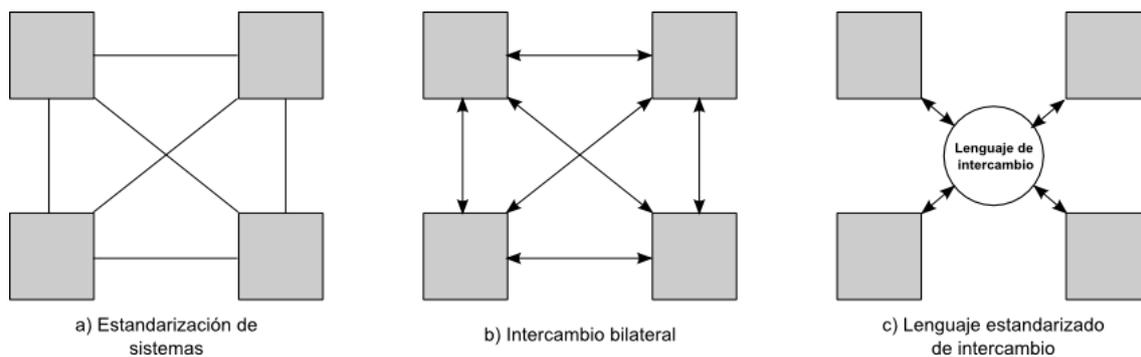


Figura 3-1 Arquitecturas básicas para interoperabilidad.

Como se muestra en la Figura 3-1a, cuando los sistemas se encuentran normalizados se comunican unos con otros en una forma completamente interoperable. En la mayoría de los casos, este enfoque no funciona ya que cada sistema debe ser desarrollado de acuerdo con las normas establecidas, convenios, o mejores prácticas de una organización o comunidad de usuarios en particular.

En el caso de intercambios bilaterales (Figura 3-1b), se requieren interfaces dedicadas entre cada par de sistemas interconectados. El número de interfaces crece rápidamente con el número de diferentes sistemas.

La tercera opción (Figura 3-1c) se suele considerar la solución más práctica para la interoperabilidad. Este es un sistema flexible de sistemas, que se pueden añadir nuevos sistemas sin tener que adaptar los ya existentes o añadir nuevas interfaces, ya que todos hacen uso de un lenguaje de intercambio común.

La obligación de lograr la interoperabilidad conduce a la necesidad de abordar la creación y adopción de estándares. Los propósitos de los estándares en el campo de la información geográfica, entre otros son:

- Proporcionar una buena especificación semántica (tener bien definido el significado de los datos que se quieren intercambiar).
- Proporcionar formatos definidos. Se reducirán costes y no se perderá la calidad al no tener que convertir formatos para que sean interoperables.

- Reducir costes en la implementación y mantenimiento del software.
- Reducir costes al evitar duplicaciones. Cada productor de datos se encarga de mantener sus datos actualizados.
- Mejorar la colaboración entre instituciones y clientes entre sí.

3.3 Necesidad de los estándares

Según (GSDI, 2000), los usuarios de los SIG tienden a desarrollar sus propios conjuntos de datos, a pesar de la existencia de conjuntos de datos geoespaciales disponibles, debido a las siguientes razones:

- Pueden no estar al tanto de los conjuntos de datos existentes que podrían ser usados apropiadamente para sus aplicaciones; o el acceso a estos conjuntos de datos es difícil.
- No estén acostumbrados a compartir conjuntos de datos con otros sectores y organizaciones.
- Los conjuntos de datos geoespaciales existentes en un determinado sistema SIG pueden ser difícilmente exportados a otros sistemas.

Estos problemas surgen del hecho de que los conjuntos de datos geoespaciales se han documentado de un modo pobremente normalizado, y en algunos casos la documentación no existe. Consecuentemente, pueden existir esfuerzos duplicados en el desarrollo y producción de datos geoespaciales, además de obstaculizar una mayor difusión de los datos a través de las circunscripciones nacionales y locales. La falta de conocimiento de los datos que manejan otras organizaciones puede conducir a una duplicación de esfuerzos.

Como resultado, la nueva era de SIG está aún caracterizada por:

- Muchos actores involucrados en la recolección y distribución de datos.
- Una proliferación de las aplicaciones, tipos de productos y formatos SIG.

- Duplicación como consecuencia de las dificultades de acceso a los datos existentes y a la alta calidad específica de los datos recogidos.
- Aumento de la dificultad para el intercambio y uso de datos que provienen de diferentes organizaciones.

Los usuarios que tratan de integrar datos espaciales a partir de fuentes dispares, o de reutilizar la información desarrollada en otros sistemas, se enfrentan con problemas de compatibilidad de los datos e inconsistencias. La raíz del problema radica en las diferentes pautas políticas, económicas, culturales y técnicas establecidas para la producción de los datos, las cuales se expresan en diferentes representaciones de sintaxis, semántica, espaciales y temporales, así como la falta de consideración de dependencia entre los temas (Tóth, Portele, Iller, Lutz, & Nunes de Lima, 2012).

3.4 Aspectos clave de normalización en una IDE

En una IDE, los aspectos de estandarización que son de vital importancia incluyen:

- Producción, gestión de datos
- Presentación de los datos
- Transferencia / intercambio,
- Estándares de hardware y software

Por tanto, los estándares para el uso de la información geográfica se centran en tres temas principales, a saber:

- a) Portabilidad:** se refiere a la habilidad para utilizar y transferir datos, software y aplicaciones personalizadas entre varios ordenadores y entornos de sistema operativo sin reorganización o cambio de formato.
- b) La interoperabilidad y el acceso a la información:** se refiere a la capacidad de los usuarios para conectarse y recuperar información de múltiples sistemas.

- c) Capacidad de **mantenimiento**: se refiere a la utilización de las normas para promover a largo plazo y eficiente actualización, la actualización y el uso eficaz de los sistemas informáticos y bases de datos.

3.5 ¿Quiénes dictan los estándares?

Principalmente, los estándares en el dominio geoespacial son introducidos en los niveles nacional o internacional. El Comité Técnico 211 (TC 211, siglas en inglés), de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, siglas en inglés) y el Consorcio Geoespacial Abierto (OGC, siglas en inglés) definen las bases para la creación y manejo de información geoespacial que debe ser coherente en todos los dominios.

Los estándares ISO son formulados en colaboración con organismos de normalización nacionales, mientras que las normas OGC son creadas con el apoyo de los usuarios y proveedores de la tecnología.

3.6 Metadatos

Con el aumento de la cantidad de datos que están siendo creados y almacenados (pero a menudo no muy bien organizados) existe una necesidad imperativa de documentarlos para un uso actual y futuro, y para ser tan accesibles como sea posible por un público lo más amplio posible. De nada sirve que haya muchos datos y que estén muy documentados si no se sabe dónde están ubicados.

Los metadatos informan a los usuarios sobre las características de los datos y de los servicios geográficos:

- **Metadatos de datos**, son los que describen las características de conjuntos de datos geográficos. Así, en un mapa topográfico, producido por un organismo cartográfico, su registro de metadatos incluiría: la escala, el sistema de referencia por coordenadas, la fecha de creación, la fecha en que la información fue recogida, su autor, el ámbito espacial que cubren, etc.
- **Metadatos de servicio**, que describen las características del servicio. En este caso, un servicio de visualización de una organización (WMS, Web Map

Service) incluiría la siguiente información en su registro de metadatos: su dirección URL, la organización que lo proporciona, el ámbito espacial que cubre, el tiempo de respuesta, etc.

La documentación de los datos geospaciales, puede parecer una carga que añadir al coste de la recolección de datos, pero a largo plazo el valor de los datos depende de su documentación. Los datos sin contexto no son tan valiosos como los datos documentados. Entre los beneficios significativos de documentar los datos geospaciales para las organizaciones constan:

- Los metadatos ayudan a organizar los datos y brindan información en un catálogo sobre los conjuntos de datos de una organización.
- El desarrollo de metadatos evita la duplicación de esfuerzos en la recolección y producción de datos, al asegurar que la organización esté informada de la existencia del conjunto de datos.
- Los usuarios pueden localizar todos los datos geospaciales disponibles, asociados y relevantes a un área de interés.
- La información descriptiva de los metadatos promueve el uso de datos geospaciales más allá de la comunidad geoespacial tradicional.

Una vez creados, los datos geospaciales pueden ser utilizados por múltiples sistemas de software para diferentes propósitos. Dada la naturaleza dinámica de los datos geospaciales en un ambiente de trabajo en red, los metadatos son por tanto un requisito esencial para localizar y evaluar los datos disponibles.

Los proveedores de datos pueden publicitar y promover la disponibilidad de sus datos, y potencialmente ligarlos a los servicios en red (por ejemplo, informes de texto, imágenes, cartografía web y comercio electrónico) que se relacionan a sus conjuntos de datos específicos.

Los metadatos ayudan a las personas que utilizan información geoespacial a encontrar la información que necesitan y a determinar cómo utilizarla mejor. Los

metadatos también benefician a la organización productora de datos, ya que cuando el personal cambia en una organización, los datos no documentados pueden perder su valor. Los trabajadores posteriores pueden tener poca comprensión de los contenidos y usos de una base de datos y pueden encontrar que no pueden confiar en los resultados generados por estos datos.

3.7 Estándares de metadatos

La estandarización de los formatos de datos aumenta la base de usuarios y hace que sea más fácil de integrar y acceder a diferentes tipos de datos. Del mismo modo, los metadatos deben estar en un formato estándar y fácilmente interpretables. En la ausencia de metadatos, los usuarios corren el riesgo de la utilización de los datos y productos derivados incorrectos; un convenio único para los nombres de variable ayudaría a evitar un mal uso de los datos.

Existen diferentes estándares y pre-estándares de metadatos para la documentación de información geoespacial elaborados por organismos estatales e internacionales. De forma breve se pueden destacar los siguientes:

3.7.1 Comité Europeo de Normalización

El Comité Europeo de Normalización, CEN, creó a finales de 1991 el comité técnico (TC 287) responsable de la estandarización en el marco de la información geográfica. Este comité aprobó un total de 12 documentos pre-normativos entre ellos el *European Pre-standard (ENV) 125657: Geographic Information – Data Description – Metadata*, aprobado en octubre de 1998. Su período de validez era inicialmente de tres años, hasta la aprobación de las normas definitivas. Actualmente el CEN ha detenido el desarrollo de estas normas en espera de la publicación de la norma definitiva internacional ISO (International Organization for Standardization), que recoge en buena parte el trabajo realizado por el CEN.

3.7.2 Federal Geographic Data Committee

El Federal Geographic Data Committee, FGDC, es el organismo de los Estados Unidos de América encargado de desarrollar la *National Spatial Data Infrastructure*, en los aspectos que afectan a la distribución de los datos geográficos. En junio de 1994 aprobó el estándar de metadatos *Content Standard for Digital Geospatial Metadata* (o *FGDC-STD-001-1998*). La segunda y última revisión de este documento fue aprobada definitivamente en junio de 1998. Éste es el único estándar aprobado de forma definitiva y que está siendo aplicado en la documentación de datos geográficos.

3.7.3 Organización Internacional para la Estandarización

La *International Organization for Standardization*, ISO, es el organismo encargado de la normalización a nivel internacional. El Comité Técnico 211, *TC 211: Geographic information/Geomatics*, se basa en el trabajo realizado previamente por FGDC, CEN y OpenGIS Consortium.

El primer borrador de trabajo del estándar de metadatos de ISO, *ISO-Draft International Standard 19115*, se aprobó en septiembre de 2001.

3.7.4 Otras iniciativas internacionales: OpenGIS Consortium

El OpenGis Consortium, OGC, es una organización internacional fundada en el año 1994. En la actualidad está formada por 210 miembros entre los cuales destacan prestigiosas universidades y centros de investigación, así como las principales compañías de software y telecomunicaciones. OpenGIS participa en el desarrollo del estándar de metadatos de ISO.

La consideración que este organismo realiza sobre los metadatos es básicamente estructural. Define el *Modelo esencial* y el *Modelo abstracto*, pero deja la definición de las entradas y elementos de metadatos a otros organismos incluyendo ISO/TC 211 y FGDC.

3.8 Norma de Metadatos ISO 19115

La norma para metadatos recomendada y ampliamente aceptada es la ISO 19115, la cual provee un modelo lógico para la organización de los metadatos geoespaciales. Una especificación complementaria, ISO 19139, normaliza la expresión de los metadatos 19115 usando el Lenguaje Extensible de Marcado (XML) e incluye el modelo lógico (UML) derivado de la ISO 19115.

Según la ISO 19115, los metadatos se encuentran organizados en siete categorías que describen los siguientes aspectos:

- Información del metadato.
- Información de identificación.
- Información de calidad de los datos.
- Información de la representación espacial.
- Información del sistema de referencia.
- Información del contenido.
- Información de la distribución.

En la **información del metadato** se pretende recoger las fechas de creación, actualización del propio metadato, el estándar y versión en el que está descrito, las restricciones de uso y acceso de los datos, los sistemas de seguridad, el acceso en línea o la información de contacto para el responsable de los metadatos.

En la **información de identificación** del metadato se recogen los campos más interesantes desde el punto de vista del descubrimiento de la información catalogada. Se trata de la información que describe el conjunto de datos, se define el estado de avance de los datos, el periodo temporal y la actualidad de los mismos; se describe también el dominio espacial al que hacen referencia los datos, se proporcionan las palabras claves que permitirán realizar búsquedas más rápidas e indexar los registros y de nuevo la información de contacto del responsable de la misma, los niveles de seguridad y acceso a los datos.

En la **información relativa a la calidad de los datos** se describe el estado de consistencia de los mismos y su completitud, pudiéndose aportar atributos de exactitud

para las posiciones horizontales y verticales, así como las referencias de las fuentes de información utilizadas para la creación de los datos.

En cuanto a la **representación espacial**, se anotan los datos relativos a la información a describir, sean datos raster o vectoriales. En el caso de imágenes se debe definir las dimensiones de las mismas (filas y columnas), así como las resoluciones en cada dimensión. En el caso de los datos vectoriales se debe describir la escala pudiéndose definir con mayor grado de detalle la información vectorial contenida en los datos.

La información del **sistema de referencia** pretende identificar el tipo de coordenadas utilizadas, ya sean geográficas, locales o proyecciones cartográficas. En todos los casos se pretende disponer de la información necesaria para conocer las precisiones de las mismas, o los datos necesarios para realizar posibles transformaciones o conversiones de coordenadas. Para ello se debe describir el tipo de datum utilizado, el elipsoide de referencia y el sistema de proyección cartográfica.

La **información del contenido** pretende detallar las entidades y atributos de los datos descritos.

La **información de distribución** tiene por objeto dar la información necesaria, para que la solicitud de datos pueda llevarse a cabo. Para este objetivo se debe disponer de un contacto, unas pautas y horarios, definir los posibles formatos de almacenamiento y distribución de la información, así como el coste de los mismos.

3.9 Lenguajes de transferencia y comunicación

En el marco de trabajo de las IDE, es necesario el establecimiento de servicios de red, que deben garantizar la interoperabilidad y hacer posible localizar, transformar, visualizar y descargar datos espaciales.

En los proyectos IDE, la arquitectura informática por excelencia es la denominada arquitectura cliente-servidor, en la que una serie de clientes (navegadores web) solicitan una serie de servicios a ordenadores-servidores remotos. Estos últimos procesan las

peticiones de los navegadores (realizadas según el protocolo HTTP) y devuelven respuestas que se ven en páginas HTML.

La estructura principal de las páginas que se muestran a través de Internet es una combinación de etiquetas, en la que a cada una se le asigna un valor. Dentro de los lenguajes de etiquetas, en el ámbito de las IDE es importante destacar dos lenguajes:

- **XML:** Es un metalenguaje extensible de etiquetas desarrollado por el W3C. La puesta en práctica de este lenguaje se puede encontrar, por ejemplo, en los registros de metadatos.
- **GML:** Es un dialecto de XML para el modelado, transporte y almacenamiento de la IG. Un ejemplo práctico de uso de este lenguaje se encuentra en la descarga de datos de un WFS.

3.10 Estándares de servicios IDE

Una IDE se basa en un conjunto de servicios web que ofrecen una serie de funcionalidades útiles para la comunidad de usuarios. Este conjunto de funcionalidades resultan accesibles desde un simple navegador a través de Internet y consisten principalmente en la visualización, consulta, análisis y descarga de datos geográficos.

La definición técnicamente rigurosa de *servicio* es la que aparece en la Norma ISO 19119:2005 que afirma que “*servicio es una parte distinguible de la funcionalidad proporcionada por una entidad a través de una interfaz*”. En un lenguaje más próximo a nuestro entorno geomático se puede decir que un servicio web no es más que una aplicación que está ejecutándose continuamente en un ordenador (servidor), accesible desde Internet, que cuando recibe una petición en el formato adecuado, proporciona la respuesta correspondiente.

En las IDE, el concepto fundamental alrededor del que gira toda la concepción del sistema, es el servicio y no los datos como ocurre en un SIG. Quien mejor ha dado una lección en ese sentido ha sido Google Earth, seguido de otros Globos Virtuales que, con

datos de fecha desconocida, problemas de resolución, errores de cientos de metros en ocasiones y otros problemas, ha tenido un éxito espectacular debido a que la calidad del servicio es excelente.

El organismo encargado de elaborar los documentos técnicos de cada uno de los servicios web que se pueden implementar en una IDE es la OGC. A continuación, se describe brevemente las características principales de los servicios más importantes especificados por este consorcio.

3.10.1 Servicio Web de Mapas (WMS)

Su principal objetivo es visualizar la información geográfica almacenada en los servidores de datos de las organizaciones que integran la IDE. Esta especificación define mapa como una representación de la IG en forma de imagen digital, adaptada para la visualización en una pantalla de ordenador. El mapa es una imagen de los datos almacenados en los servidores.

Este servicio se solicita a través del navegador web del usuario que envía una petición en forma de URL. Esta petición se recibe y procesa por el servidor WMS que, como respuesta, devuelve al usuario una imagen en formato JPEG, GIF, PNG, etc. La definición de un formato u otro garantiza la transparencia de las capas de información, permitiendo la combinación de capas procedentes de diferentes servicio WMS. Este servicio permite también opcionalmente consultar los atributos alfanuméricos de la información que se visualiza.

Los mapas generados por los WMS pueden visualizarse a través de un navegador web (también llamados clientes ligeros), como Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome, etc., o a través de algún software SIG (llamados clientes pesados) que deben instalarse en el ordenador del usuario. En ambos tipos de clientes los visualizadores incluyen operaciones sencillas de visualización como: activar y desactivar capas, cambiar el orden y transparencia de las mismas, acercar y alejar, desplazarse sobre el mapa, vuelo panorámico, etc.

3.10.2 Descriptor de Estilos de Capa (SLD)

Es una extensión de la especificación WMS que permite a los usuarios utilizar estilos de simbolización propios, permitiendo definir cómo se va a representar la información geográfica a través de la web. La OGC define las características del lenguaje necesario para crear cada uno de los estilos de simbolización particulares que se definan.

3.10.3 Servicio Web de Fenómenos, entidades u objetos (WFS)

Este servicio permite acceder y consultar los atributos de un objeto (*feature*, término en inglés) geográfico como un río, una ciudad o un lago, representado en modo vectorial. Un WFS permite no sólo visualizar la información tal y como lo permite un WMS, sino que también permite acceder a la información y descargarla.

Este servicio dispone de operaciones obligatorias y optativas. Entre las primeras se encuentra la que permite descargar los datos geográficos y entre las segundas se encuentra la que permite manipular (editar, borrar, crear) la información almacenada en la base de datos (sólo a los actores autorizados).

Hay discrepancias dentro de la comunidad geográfica en admitir el término “fenómeno” como el equivalente español del concepto inglés “feature”, aplicado a la información geográfica. No es de extrañar por lo tanto, que en algunas publicaciones se refieran al WFS como “servidor de entidades” o “servidor de objetos”.

3.10.4 Servicio de Nomenclátor (WFS-G)

Es un caso específico del servicio WFS ya que ofrece la posibilidad de localizar un objeto geográfico de nombre dado y consultar los atributos que tenga asociados. Es un servicio web muy importante, ya que es el modo más natural de seleccionar la zona que el usuario quiere ver o consultar.

3.10.5 Servicio Web de Coberturas (WCS)

Es el servicio análogo al WFS pero en lugar de trabajar con datos en formato vectorial, lo hace con datos raster. Permite no sólo visualizar información raster, como lo

permite un WMS, sino además permite consultar el valor del o los atributos almacenados en cada píxel.

3.10.6 Servicio de Catálogo para la Web (CSW)

Permite la publicación y búsqueda de información que describe datos, servicios, aplicaciones y en general, todo tipo de recursos de la IDE. Los servicios de catálogo, que están basados en el acceso a los metadatos de los datos y los servicios, son necesarios para proporcionar capacidades de búsqueda y solicitud de los recursos existentes dentro de una IDE.

3.10.7 Otros estándares en las IDE

Además de las ya citadas, existen otras organizaciones que han definido estándares que se aplican y utilizan en una IDE. Tal es el caso del W3C que ha definido entre otros el estándar SOAP, que es una forma general de definir servicios en la Red mediante una petición y una respuesta estandarizadas; el estándar FTP para la descarga de ficheros; o el estándar RDF para la descripción semántica de recursos.

III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se basa en el análisis y síntesis de las experiencias y mejores prácticas existentes sobre la implementación de Infraestructuras de Datos Espaciales. Se busca establecer un marco coherente con una arquitectura de componentes esenciales, que sean interoperables y puedan ser reutilizados por las distintas entidades con diferentes propósitos y en diferentes escalas o niveles.

En todos los niveles de gobierno local y nacional, en la academia y en el sector privado, las organizaciones han tenido problemas con el desarrollo de infraestructuras de datos espaciales, IDE. Todavía no sea establecido un proceso validado para el desarrollo de una IDE, y los esfuerzos anteriores han producido resultados mixtos. Los esfuerzos en el pasado dieron lecciones que puede proporcionar una valiosa orientación (NAS & USGS, 2012). En consecuencia, se ha optado por mirar al igual las lecciones aprendidas en varios tipos de organizaciones para conseguir la más amplia perspectiva posible.

Para el desarrollo de una IDE, como se ha señalado anteriormente, es necesario la reutilización de recursos: datos, conocimientos y capacidades técnicas. La reutilización minimiza la inversión inicial necesaria para empezar un proyecto, y permite un retorno de la inversión más rápido. El aprendizaje de la experiencia de los demás permite evitar las complicaciones (Henricksen, 2007).

4. Arquitectura referencial para un nodo IDE

4.1 Proceso

Para definir los elementos que conforman la arquitectura referencial para un nodo IDE, se tomara como referente:

- Los principales problemas que impulsaron el surgimiento de las IDE
- Los objetivos de una IDE
- Los requisitos funcionales de una IDE

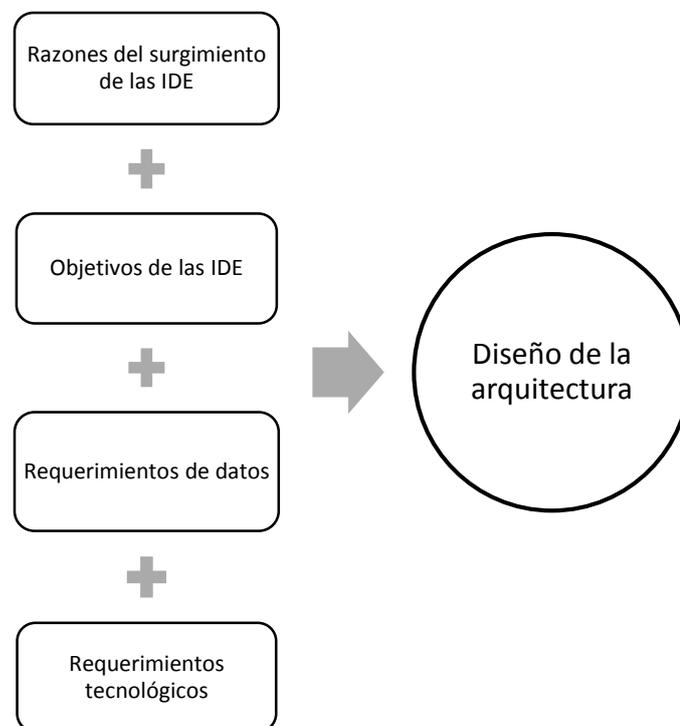


Figura 4-1 Proceso de definción de la arquitectura del nodo IDE

4.1.1 Análisis de las razones del surgimiento de las IDE

A continuación se presenta el análisis de los principales problemas que impulsaron el surgimiento de las IDE.

Tabla 4-1 Análisis de las razones del surgimiento de las IDE

Problema	Solución	Componente
Datos espaciales almacenados en equipos de cómputo personales, y en el mejor de los casos, dispersos por la red.	<ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento centralizado dentro de la organización. Único repositorio de datos oficiales y actualizados. 	<p>A. Servidor de Base de Datos</p> <p>B. Servidor de archivos</p>
Desconocimiento por parte de los propietarios de la totalidad de los datos que posee. Dificultad de localización de los datos.	<ul style="list-style-type: none"> Documentación y catalogación de los datos. 	<p>C. Servidor de catálogo</p>
Las organizaciones a menudo necesitan datos fuera de su jurisdicción o área de operación; no recogen estos datos por ellas mismas, sino que otras lo hacen por ellas.	<ul style="list-style-type: none"> Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>D. Conexión a Internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p> <p>F. Servidor de Web</p>
Los datos recogidos por diferentes organizaciones son a menudo incompatibles.	<ul style="list-style-type: none"> Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Existencia de información geoespacial duplicada. Muchas de las organizaciones gastan recursos y duplican esfuerzos en la recolección de datos de otras organizaciones.	<ul style="list-style-type: none"> Documentación y catalogación de los datos. Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. 	<p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p>

4.1.2 Análisis de objetivos de la IDE

En la tabla siguiente se realiza un análisis, similar al anterior, sobre los objetivos de una IDE, tratados en la sección 2.4, con el propósito de identificar los principales componentes de un nodo IDE.

Tabla 4-2 Análisis de objetivos de la IDE

Objetivo	Solución	Componente
Habilitar el acceso a la información espacial, al interior y exterior de las organizaciones, así como para los ciudadanos en general.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>A. Servidor de Base de Datos</p> <p>B. Servidor de archivos</p> <p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p> <p>F. Servidor de Web</p>
Permitir la integración de información geoespacial, que se encuentra geográficamente distribuida.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Fomentar la colaboración mediante el intercambio y sincronización de información multilateral.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Promover el uso de metadatos estandarizados como método para documentar la información espacial.	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y catalogación de los datos. 	<p>C. Servidor de catálogo</p>
Posibilitar la reutilización de la información geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y catalogación de los datos. 	<p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p>

generada en un proyecto para finalidades diferentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	E. Servidor de datos geográficos
--	---	---

4.1.3 Análisis de los requerimientos de datos

En (Idaho Geospatial Office (IGO) and Idaho Geospatial Committee (IGC), 2009) se establecen los requerimientos comunes, en las cuestiones de datos y tecnología, necesarios para el funcionamiento de una IDE. Análogamente a los procesos realizados anteriormente, en base a estos requerimientos se identifican los componentes del nodo IDE.

Tabla 4-3 Análisis de los requerimientos de datos

Requerimiento	Solución	Componente
Metadatos, claros y útiles, con herramientas y procedimientos eficaces para la captura, mantenimiento y acceso a los metadatos independientemente de entorno de software	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y catalogación de los datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>C. Servidor de catálogo</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Directorio de los datos geográficos, sus características y el estado para que sea fácil para los usuarios encontrar los datos necesarios, determinar su utilidad, y acceder a ellos para su uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y catalogación de los datos. 	C. Servidor de catálogo
Captura y acceso a una amplia gama de fuentes de datos no geoespaciales (documentos de texto, formularios, fotos, gráficos, fuentes web externos),	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación y catalogación de los datos. 	<p>B. Servidor de archivos</p> <p>C. Servidor de catálogo</p> <p>D. Conexión a Internet</p>

integradas con los SIG, para apoyar numerosas aplicaciones de gestión de la información geográfica.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. 	
Proporcionar un marco coherente para recopilar, organizar, acceder y analizar grandes cantidades de datos históricos, que son vitales para la comprensión de las condiciones de referencia y para el modelado y la proyección de futuro.	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento centralizado dentro de la organización. Único repositorio de datos oficiales y actualizados. • Documentación y catalogación de los datos. 	<p>A. Servidor de Base de Datos</p> <p>C. Servidor de catálogo</p>

4.1.4 Análisis de requerimientos tecnológicos

Tabla 4-4 Análisis de requerimientos tecnológicos

Requerimiento	Solución	Componente
Almacenamiento y manejo de diferentes tipos de datos geoespaciales en forma transparente, que permita el acceso y la integración, independientemente del formato o sistema de coordenadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento centralizado dentro de la organización. Único repositorio de datos oficiales y actualizados. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>A. Servidor de Base de Datos</p> <p>B. Servidor de archivos</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Una arquitectura de software y base de datos que permite la creación y gestión de las propiedades y reglas de los datos SIG.	<ul style="list-style-type: none"> • Base de datos con soporte SIG. 	<p>A. Servidor de Base de Datos</p>

Integración flexible de fuentes de datos no espaciales con datos y aplicaciones SIG	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>B. Servidor de archivos</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p>
Interfaces de SIG basadas en la Web y herramientas con la capacidad de combinar los datos gestionados a nivel local con cualquier servicio externo basado en la Web.	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. 	<p>D. Conexión a internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p> <p>F. Servidor de Web</p>
El acceso a los datos geográficos partir de una variedad de plataformas informáticas y de tipos de dispositivos (en la oficina y el campo), incluyendo computadoras de escritorio, computadoras portátiles, dispositivos portátiles y PDAs.	<ul style="list-style-type: none"> • Publicación de datos geográficos y datos relacionados en formatos estandarizados. • Enlace a través de la red con otras organizaciones productoras de datos. 	<p>D. Conexión a internet</p> <p>E. Servidor de datos geográficos</p> <p>F. Servidor de Web</p>
Seguridad robusta para datos, sistema y redes, con los controles adecuados para evitar el acceso no autorizado o la pérdida accidenta o corrupción de los datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Base de Datos con niveles de acceso. • Implementación de niveles de acceso en el las aplicaciones y servicios web. 	<p>A. Servidor de Base de datos</p> <p>F. Servidor de Web</p>
Acceso a redes cableadas de alta velocidad desde una ubicación fija, y acceso a conexiones de redes inalámbricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a la red 	<p>D. Conexión a internet</p>

4.1.5 Diseño de la arquitectura de un nodo IDE

Como resultado de estos análisis se obtiene un listado de los componentes principales que soportan el funcionamiento de un nodo IDE.

Tabla 4-5 Componentes básicos de un nodo IDE

Componentes
A. Servidor de Base de datos
B. Servidor de archivos
C. Servidor de catálogo
D. Conexión a internet
E. Servidor de datos geográficos
F. Servidor de Web

En resumen, la arquitectura de un nodo, y de la misma IDE, persigue dar soporte a todas las tareas y requerimientos que tienen los usuarios. La arquitectura IDE que se presenta a continuación, ofrece una visión general de los componentes técnicos de la IDE, así como el contexto de la organización para su implementación y operación.

La configuración técnica conceptual para la implementación total de un nodo IDE, se plasma en la figura 4-1. Aquí se presenta, a un alto nivel, el sistema principal, la base de datos y las conexiones de red, necesarios para soportar a los usuarios de la IDE.

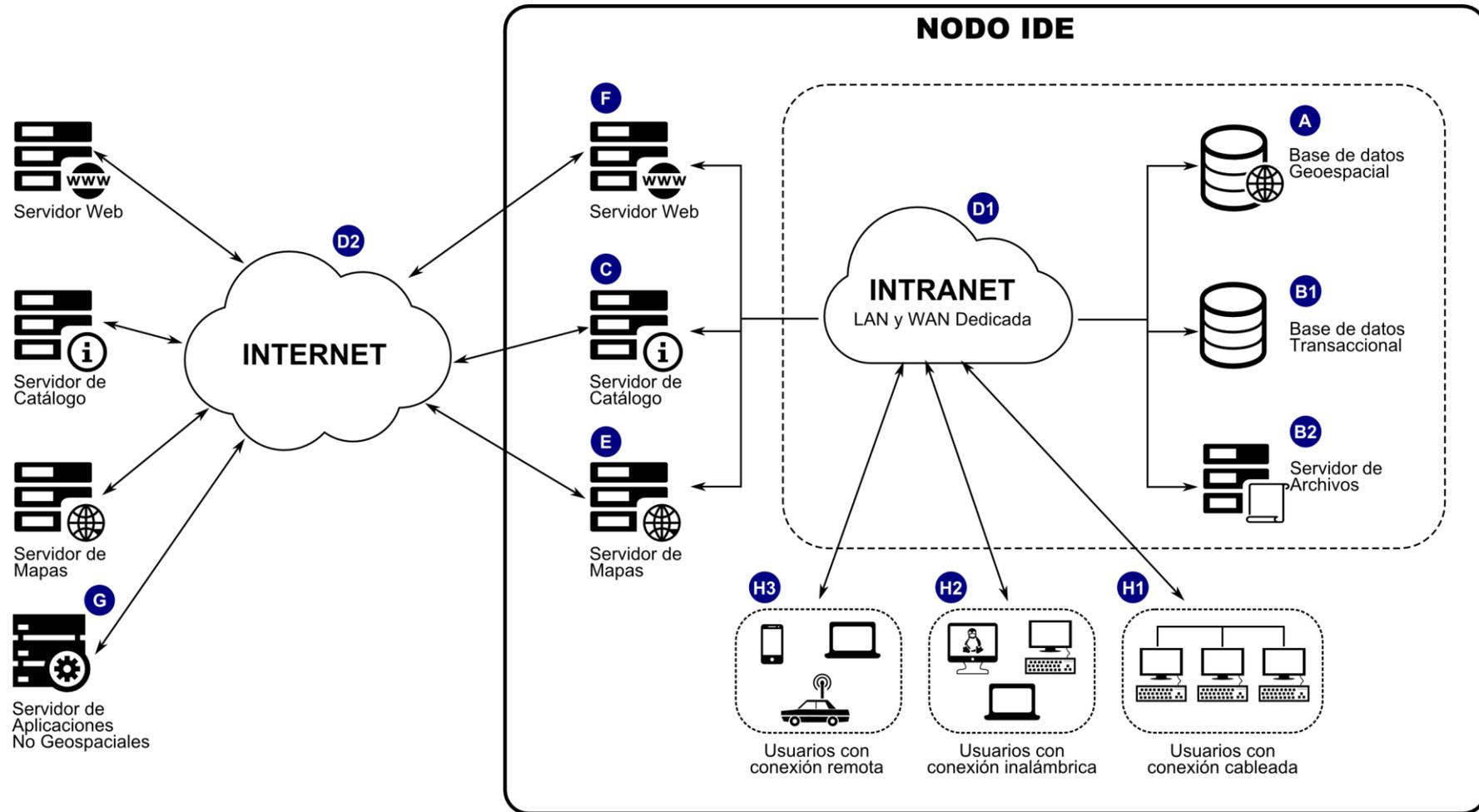


Figura 4-2 Arquitectura de un nodo IDE

La descripción general de las principales partes de la arquitectura de nodo IDE, y que a su vez forman parte de la IDE en su conjunto, se describen a continuación:

- A. Base de datos geoespacial:** Constituye el repositorio único de datos geográficos dentro de una organización. Generalmente son Bases de datos transaccionales tradicionales que tienen soporte para el almacenamiento y gestión de datos geográficos. Algunos de estos sistemas de Bases de datos geoespaciales, además de soportar las funciones básicas de gestión de datos geoespaciales, también soportan funciones avanzadas de geoprocésamiento. Actualmente los sistemas de gestión de base de datos, con soporte de datos geoespaciales, permiten almacenar datos de tipo vector y de tipo raster indistintamente.
- B. Bases de datos y archivos no geoespaciales:** Bases de datos transaccionales tradicionales y sistemas de almacenamiento de archivos no geográficos, que permiten vincular este tipo de información con los datos geográficos.
- C. Servidor de catálogo:** Permite la documentación y catalogación de los datos geográficos y no geográficos, utilizando normas aceptadas internacionalmente. Las herramientas actuales de gestión de metadatos permiten relacionar los metadatos con datos o servicios geográficos, además es posible compartir los metadatos, a través de la red, con los usuarios de la IDE y con otras organizaciones.
- D. Conexiones de red:** Este “componente virtual” transmite la idea de que la IDE hará uso de todos los enlaces de red disponibles y a disposición de los usuarios. Esto incluye el acceso a las comunicaciones locales y de área amplia existentes, y todos los otros servicios que permiten las comunicaciones a través de Internet. Permite el enlace con otras entidades productoras de datos, además de proporcionar el acceso a los recursos de la IDE.
- E. Servidor de mapas:** Permiten el intercambio y acceso a los datos geográficos mediante la utilización de Servicios Web de la OGC. Estos servidores brindan

soporte a las consultas geográficas para la visualización y el análisis de los datos geográficos.

F. Servidor Web: Soportan el desarrollo y ejecución de aplicaciones basadas en la Web que hacen uso de datos geoespaciales y no geoespaciales. Los servidores web, cumplen el rol de puerta de entrada para el acceso a los datos e información geográfica, a través de los llamados geoportales. Estos servidores también ejecutan aplicaciones personalizadas que proporcionan valor agregado a los datos propios de una organización, o mediante los datos provenientes de otras organizaciones. Las aplicaciones que ofrecen datos no espaciales, a través de servicios web, también tienen su soporte en este tipo de servidor.

G. Aplicaciones y servicios de datos no geoespaciales externos: Permiten el acceso desde o hacia base de datos y aplicaciones no geoespaciales que requieren datos geográficamente referenciados o servicios específicos para habilitar geográficamente a estos sistemas externos. La naturaleza de este tipo de acceso puede ser la descarga más interactiva de los datos y la integración de aplicaciones.

H. Usuarios IDE: La amplia comunidad de usuarios incluye cualquier miembro u organización del sector público o del sector privado, que utiliza cualquier dato o servicio de la IDE.

- 1) **Usuarios con conexión cableada:** Son usuarios en redes de alta velocidad. Este grupo de usuarios incluye al personal de oficina que se conectan a los servidores locales, y a internet, a través de una red de área local de alta velocidad.
- 2) **Usuarios con conexión inalámbrica:** Otros usuarios LAN o WAN dedicada acceden a los datos y servicios de la IDE usando conexiones inalámbricas.
- 3) **Usuarios con conexión remota:** A medida que esta tecnología avanza, se desarrolla un soporte ampliado para el acceso a datos, de campo o móviles, a través de comunicaciones inalámbricas desde computadoras

en vehículos o desde dispositivos de mano. Estos usuarios todavía no son muy frecuentes.

La implementación física de un Nodo IDE implica la instalación y configuración de servidores informáticos. A menudo esta tarea se realiza compartiendo los recursos de un mismo equipo físico para los servidores web y de mapas; sin embargo, una mejor opción es mantener un servidor dedicado exclusivamente para los datos geográficos. La utilización de un servidor para mapas y otro dedicado para aplicaciones web dependerá de la cantidad de aplicaciones ejecutándose sobre el servidor web, y del número de peticiones a este último. También es frecuente que el servidor de catálogo comparta recursos con el servidor web.

5. Implementación de un nodo IDE: Hoja de ruta

5.1 Consideraciones preliminares

La implementación de un nodo IDE, desde el punto de vista técnico, implica esencialmente la ejecución de tareas para poner en marcha cada uno de los componentes definidos en la arquitectura de un nodo IDE.

Para la implementación de un nodo IDE es bueno tomar en cuenta las recomendaciones y experiencias de iniciativas de este tipo a nivel internacional; una de las recomendaciones a tomar en cuenta es la ejecución de un proceso de implementación basado en fases. Por lo tanto no es recomendable tratar de implementar todos los componentes del nodo IDE al mismo tiempo, ya que esto conducirá a frustraciones y falta de interés de los interesados debido a que los resultados no sean visibles en forma temprana. De acuerdo con, (United Nations, 2009), la implementación incremental es clave para el éxito. El establecimiento de metas progresivas en lugar de un objetivo final, puede contar con una mayor adhesión a los objetivos incrementales y por lo tanto un mayor éxito.

En todas las fases del proceso de implementación de un nodo IDE se tiene que tener el apoyo y fundamento en los elementos organizativos de gobierno, comunicación, gestión de tecnologías, gestión financiera y cambio institucional. Por lo tanto, para la planificación de la hoja de ruta es necesario que se aborde esta tarea en conjunto con las principales áreas de una organización, en cooperación con la organización que hace las veces de coordinadora de la IDE, y debe estar adaptada a las necesidades y las limitaciones de recursos de la organización, y en general de la IDE.

5.1.1 Cooperación y alianzas

Las asociaciones son vitales para el éxito de una IDE. La construcción de una IDE debe partir de un trabajo concertado dentro de un grupo de instituciones interesadas y comprometidas; estableciendo un marco de cooperación entre productores y usuarios de la información geográfica.

La definición de los convenios, alianzas y acuerdos de colaboración son necesarios para aumentar la disponibilidad de datos y servicios espaciales, intercambiar

experiencia, buenas prácticas, y desarrollos tecnológicos. Por esta razón, el buscar alianzas entre las diversas organizaciones del sector público y privado es una tarea urgente de atender, iniciando con las instituciones públicas responsables de la actividad geográfica.

Los beneficios de las asociaciones incluyen el intercambio de recursos, el acceso a información de alto valor que no está disponible de otra manera. El uso de los convenios y acuerdos técnicos también tiene sentido desde el punto de vista económico, limitando los gastos implicados en la integración de la información de diversas fuentes, así como eliminando la necesidad de desarrollos costosos y paralelos de herramientas para la visualización, el intercambio y la explotación de los datos espaciales.

Hay cinco categorías de asociaciones a considerar:

- Alianzas estratégicas con organismos productores de datos geográficos.
- Asociaciones con organismos que generan información estadística.
- Asociaciones con organismos de normas y estándares.
- Asociaciones académicas.
- Asociaciones tecnológicas con el sector comercial.

Cualquier asociación o colaboración debe basarse en una intención compartida y un acuerdo bien definido. Según (United Nations, 2009), los siguientes elementos del acuerdo de cooperación o carta de entendimiento es necesario que se especifiquen:

- **Formalización.** Un acuerdo formal tomará un tiempo, pero mediante éste se puede evitar desacuerdos posteriores sobre los derechos y responsabilidades relativos a la elaboración y el uso de los datos. Los temas importantes a tener en cuenta son la necesidad de definir normas para el uso interno y externo, el valor de los objetivos claramente establecidos y la necesidad de apoyo a la gestión.
- **Alcance de la asociación.** Los acuerdos de colaboración pueden cubrir simplemente el uso de los datos de otro organismo, o pueden implicar el desarrollo de una base de datos espacial grande y completa desde cero. Los protocolos para la utilización de los datos de los municipios y otras entidades de orden inferior geográfica o administrativa también deben ser detalladas.

- **Responsabilidades.** ¿Quién va a realizar qué tareas y funciones? Los temas que deben ser abordados incluyen el desarrollo de datos, mantenimiento, acceso a datos, supervisión de proyectos y la utilización de los recursos.
- **Recursos necesarios.** Los recursos incluyen personal, entornos de computación y de comunicación. Los recursos necesarios para la gestión y supervisión de proyectos también deben tenerse en cuenta. Los costos directos e indirectos relacionados con las actividades de la asociación deben ser divididos equitativamente. La contabilidad puede no ser sencilla ya que las contribuciones pueden tomar la forma de dinero en efectivo, los datos, el trabajo, el uso de equipos o de alguna otra forma.
- **La resolución de conflictos.** En caso de desacuerdo durante el transcurso del proyecto, es útil para especificar un curso de resolución de conflictos con antelación.

Para finalizar no se debe olvidar que las asociaciones eficaces requerirán políticas viables y justas para el intercambio pleno y abierto de datos, de acuerdo con las políticas del gobierno.

5.2 Hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE

La definición de la hoja de ruta para la implementación de un Nodo IDE está basada en el uso de las experiencias, reacomodaciones y mejores prácticas citadas en la literatura consultada, así como en la experiencia propia en este tema.

La implementación y desarrollo de un Nodo IDE, y en general de cualquier IDE, se basan en el desarrollo de un adecuado modelo de gestión de los actores e interesados del proyecto. La **cooperación, las alianzas y acuerdos** son el soporte fundamental para que una IDE opere y tenga éxito. También hay que recordar que todos los esfuerzos y acciones de un Nodo IDE tienen que estar alineados con la **Misión, Visión, y los Objetivos** de la IDE a la cual pertenece.

Antes de iniciar la implementación y desarrollo de un Nodo IDE es fundamental contar con los **recursos tecnológicos, financieros y de personal** necesarios para todo este proceso. Es preciso identificar las personas y departamentos responsables, los

procesos de apoyo, así como una fuente de financiamiento permanente que soporte el funcionamiento del Nodo IDE a largo a plazo.

A pesar de que la tecnología no es el componente principal de una IDE, todos los beneficios de ésta no se podrían alcanzar sin este elemento. La **implementación física** de un Nodo IDE implica procesos de configuración de los equipos de cómputo que componen la infraestructura tecnológica que soporta el funcionamiento de los servicios del Nodo IDE.

Una vez que los acuerdos de cooperación se hayan establecido, y la plataforma tecnológica este configurada, es necesario ejecutar un proceso de inventario de la información geoespacial y no geoespacial, disponible dentro de la organización; esto con el fin de **migrar toda esta información hacia un repositorio único y oficial**.

Cuando los datos están organizados y almacenados en un único repositorio, la tarea que sigue es la recopilación de la **documentación de los datos** (metadatos). La tarea de documentar la información geoespacial se recomienda que se realice a la par de la migración a un repositorio único; esto siempre y cuando exista la disponibilidad de los metadatos. En ocasiones, la documentación puede ser incompleta o inexistente por lo que tan solo se almacenará la información geográfica, dejando para luego la ejecución de una recopilación de los metadatos para dicha información, evitando demoras en la búsqueda de metadatos faltantes.

Luego de que los datos estén organizados y almacenados sobre la plataforma tecnológica del nodo IDE es hora de hacer disponible estos datos, tanto para usuarios internos como para externos. Principalmente, la manera más adecuada para **hacer disponible la información geográfica** es a través de servicios web del OGC. Al igual que los datos geográficos, los servicios web geoespaciales deben ser documentados mediante la utilización de metadatos.

A pesar de que los servicios web geoespaciales del OGC son un elemento esencial, por no decir principal, dentro de un nodo IDE, estos no presentan un acceso amigable a los datos. En consecuencia, es una necesidad de la implementación o el **desarrollo de una aplicación para la visualización** de los datos geográficos que brindan los servicios

web geoespaciales. El proceso de visualizar datos geográficos a través de la web se conoce en la jerga SIG como “*Web mapping*⁴”.

En el momento que los datos estén publicados, mediante servicios web geográficos, y estén a disposición de usuarios internos y externos, los servicios de datos geoespaciales pueden ser usados para **crear aplicaciones informáticas personalizadas** para generar valor agregado a los datos, para propósitos específicos.

Para finalizar, hay que tener siempre presente los procesos de **difusión y comunicación** acerca del avance del trabajo y de los productos disponibles en cada fase de la implementación del nodo IDE. Esto permite mantener informados tanto a los ejecutivos como al resto de funcionarios y usuarios interesados. Desde las etapas iniciales de implementación del Nodo IDE es preciso vender la idea a los altos ejecutivos, para lograr su compromiso y apoyo, y también es necesario capacitar a los funcionarios de la organización, para que tempranamente se involucren y apropien del proyecto IDE.

Un Nodo IDE debe ser desarrollado con un enfoque incremental, con la intención de proporcionar inmediatamente mejoras y productos útiles a los usuarios. Este enfoque de desarrollo incremental permitirá proveer de un flujo constante de productos efectivos para los usuarios. El desarrollo del Nodo IDE debe ser informado periódicamente a los participantes y usuarios, y en cada fase, se deberá tomar en cuenta los nuevos requerimientos, las opiniones y recomendaciones.

Todas las tareas presentadas anteriormente se resumen en el siguiente gráfico, el cual sirve como referencia del proceso de implementación del nodo IDE.

⁴ Web mapping es un concepto anglosajón que en español se traduce por "cartografía en la web". (http://es.wikipedia.org/wiki/Mapeo_Web, visita: 24/01/2014)

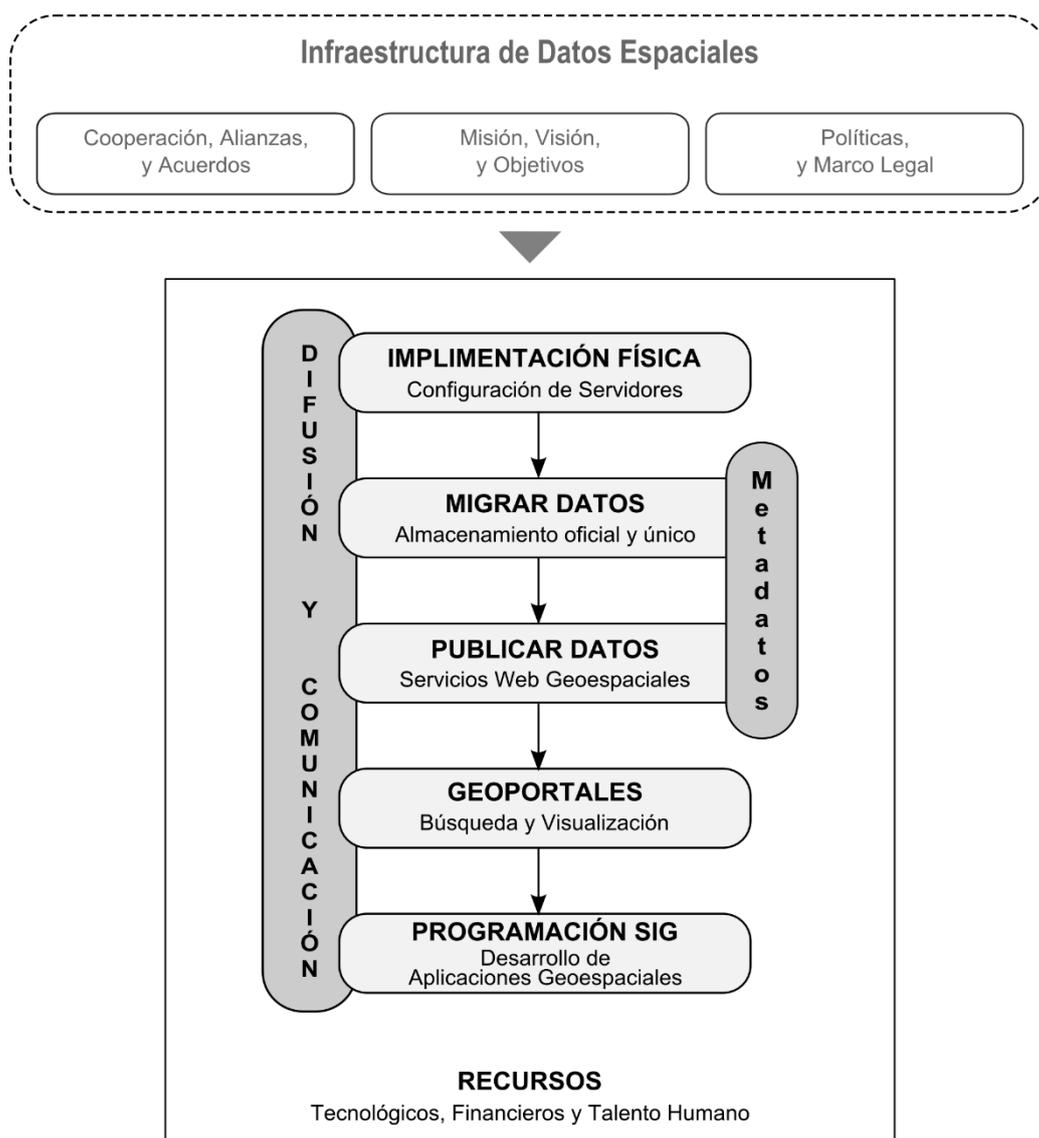


Figura 5-1 Hoja de ruta para la implementación de un nodo IDE

5.3 Recursos

Es claramente evidente que sólo la aplicación de software y de hardware no es suficiente para poner en marcha un Nodo IDE. Por lo tanto, son necesarios los recursos tecnológicos, financieros y de personal para diseñar, desarrollar, establecer, operar, mantener, administrar y dirigir un nodo IDE.

Para identificar las personas y departamentos responsables, los procesos de apoyo, así como una fuente de financiamiento permanente que soporte el funcionamiento del Nodo IDE a largo a plazo, la implementación de un Nodo IDE debe iniciar con una

evaluación del entorno organizacional. Las necesidades se examinan junto con una identificación de las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Desafíos (*FODA*) actuales. Esta evaluación FODA además proporciona un punto de partida para el desarrollo de los objetivos específicos del Nodo IDE y de una estrategia de implementación.

5.3.1 Talento Humano

La experiencia en este tema nos dice que los recursos de personal mínimo a considerar para la implementación y funcionamiento de un Nodo IDE deben adaptarse a los siguientes perfiles:

- **Profesional en el área de la geografía** o ramas afines, especialista y/o experiencia en manejo de tecnologías de información geográfica (SIG, Teledetección, GNSS)
Tareas: Recolección, procesamiento y gestión de información geográfica.
- **Profesional en informática**, ingeniería de sistemas, experiencia en desarrollo de aplicaciones Web (HTML, CSS, Javascript, CMS), Bases de Datos Geoespaciales (MySQL, Postgresql), Lenguajes de programación (Java, PHP), Linux intermedio, conocimientos en SIG (deseable).
Tareas: Instalación y configuración de módulos geográficos, desarrollo de aplicaciones.
- **Profesional en redes y servicios de infraestructura**, perfil profesional en informática, ingeniería de sistemas, experiencia en administración de servicios Linux (DNS, LDAP, Servicios Web, Firewall).
Tareas: Instalación y mantenimiento de la infraestructura de redes y servidores.

5.3.2 Tecnología

En la organización, debe preverse un componente tecnológico capaz de realizar la coordinación del conjunto de herramientas y mecanismos informáticos (hardware,

software, comunicaciones) que permiten que la red sea operativa y se pueda buscar, consultar, acceder, obtener y usar datos geográficos.

Desde el punto de vista tecnológico, la realización de un Nodo IDE requiere tecnologías básicamente para: la prestación y consumo de servicios interoperables, la estructuración de los datos geoespaciales de acuerdo a modelos determinados, y la publicación de los datos geoespaciales. Todo ello en el contexto de un marco seguro y escalable. Esto conduce a una arquitectura básica para almacenar, leer, escribir, y la visualización de datos.

5.3.3 Recursos financieros

Los recursos financieros también tendrán que ser suficientes para que en la realización de actividades no exista sobrefinanciación o falta de fondos. El exceso de financiación puede llevar a desperdiciar recursos, mientras que falta de financiación puede conducir a la frustración y la imposibilidad para alcanzar las metas en un tiempo razonable. El nivel exacto de la financiación adecuada para el nodo IDE variará con cada fase de la hoja de ruta.

5.4 Implementación física

En los proyectos IDE, la arquitectura informática por excelencia es la denominada arquitectura cliente-servidor, en la que una serie de clientes (navegadores web) solicitan una serie de servicios a computadores-servidores remotos. Estos últimos procesan las peticiones de los navegadores (realizadas según el protocolo HTTP⁵) y devuelven respuestas que se ven en páginas HTML⁶.

5

6

Por lo tanto la implementación física de un Nodo IDE implica la instalación y configuración de los servidores informáticos que constan en la Arquitectura del Nodo IDE. Los servidores a implementar son los siguientes:

- Servidor de Base de Datos
- Servidor Web
- Servidor de Mapas
- Servidor de Metadatos
- Servidor de Archivos

5.4.1 Servidor de Base de Datos

Uno de los componentes esenciales, y en cierta medida el elemento fundamental, de un Nodo IDE es la Base de Datos Geográficos. Una Base de Datos Geoespaciales en esencia no es más que una colección de datos referidos a objetos de los que se conoce su localización espacial.

Es importante indicar que para el caso del almacenamiento de la información geográfica, se consideran las bases de datos *espaciales* y las bases de datos *temáticas*, en las que se almacenan de manera estructurada los objetos cartográficos (posición, tamaño y forma) y sus características no geométricas (atributos alfanuméricos) respectivamente. En algunos sistemas las dos bases de datos están separadas, mientras que en otros se integran en una sola.

La implementación de la Base de Datos Geoespacial hace referencia a la instalación y configuración de *Sistema de Gestión de Base de Datos, SGBD*, el cual es un software que permite establecer, usar y mantener una base de datos. Igualmente que un SIG permite configurar una aplicación de IG, un SGBD ofrece la funcionalidad genérica para la organización de la respectiva base de datos y de su manejo, incluyendo funciones básicas tales como el ingreso, almacenamiento, manipulación, recuperación y consulta de datos. Las principales razones para emplear un SGBD, en el almacenamiento y procesamiento de datos en general, y de manera específica en relación con la IG, se pueden sintetizar en las siguientes:

- Brinda soporte al almacenamiento y manejo de conjuntos de datos muy grandes.
- Cuenta con mecanismos de acceso seguro.
- Es compatible con el uso simultáneo del mismo conjunto de datos por muchos usuarios.
- Proporciona un lenguaje de consulta de alto nivel.
- Es compatible con el uso de un modelo de datos.
- Se incluyen las funciones de respaldo y de recuperación para asegurar la disponibilidad de datos en todo momento.
- Se puede controlar la redundancia de los datos.

La elección de un SGBD a utilizar dentro del Nodo IDE dependerá en general experiencia del personal y de los recursos financieros. Uno de los SGBD más populares y difundidos es *PostgreSQL*⁷, con su extensión para datos geográficos *Postgis*⁸; tienen licencia de software libre lo que hace que sea preferida por la mayoría de las iniciativas IDE. También existen otras alternativas, gratuitas y comerciales, entre las que se destacan *Oracle Spatial*, *MySQL*, *Microsoft SQL Server*.

5.4.2 Servidor Web

Como se mencionó anteriormente, en los proyectos IDE, la arquitectura informática por excelencia es la denominada arquitectura cliente-servidor. Este modelo se llama así porque un usuario, desde su computador y mediante un software llamado genéricamente *cliente*, solicita un servicio a otro computador, que tiene otro software (llamado *servidor*), que entiende lo que el cliente solicita y le envía una respuesta o los datos solicitados. Una *solicitud* es una llamada que hace el cliente a una de las operaciones que puede hacer el servidor, y una *respuesta* es el resultado de una operación que proporciona el servidor a un cliente.

Un servidor web es un computador que tiene una dirección en Internet llamada IP fija y pública y un software especializado que atiende clientes a través de Internet,

7

8

utilizando el protocolo HTTP. Para localizar un servidor web específico en Internet es necesario asociar también un nombre de dominio a su dirección IP.

De manera básica un servidor web proporciona páginas web escritas en un lenguaje de etiquetas denominado HTML. A estas páginas se accede a través de Internet utilizando el protocolo estándar de comunicación denominado *Hyper Text Transfer Protocol*, HTTP.

El software para servidor web más utilizado es *Apache*; sin embargo existen otras alternativas como *IIS* (Internet Information Service), *Nginx*, *Tomcat*.

5.4.3 Servidor de Mapas

Un servidor de mapas es un servidor web que soporta peticiones de servicios geoespaciales, a estos últimos también se los conoce como geoservicios. Desde el punto de vista informático, cada uno de los geoservicios de una IDE está disponible a través de sus propias reglas de comunicación. Estas reglas de comunicación o interfaz con el cliente son el medio mediante el que se realizan las peticiones al servidor.

Un servidor de mapas debe brindar soporte a los estándares más importantes definidos por ISO y OGC constan en la siguiente lista:

- Servicios de publicación de información:
 - OGC Web Map Service(WMS)-ISO 19128.
 - OGC Web Feature Service(WFS) - ISO 19142.
 - OGC Web Coverage Service(WCS).
 - OGC Catalog Service (CS).
- Servicios de procesamiento:
 - OGC Web Processing Service (WPS).
 - OGC Web Coordinate Transformation Service (WCTS).

En una primera instancia los únicos geoservicios disponibles en un Nodo IDE serán los servicios de publicación de información, específicamente los servicios WMS, WFS, dejando la implementación del CS para el *servidor de metadatos*. Para este objetivo es necesario instalar y configurar las herramientas informáticas que soportan las

peticiones de los geoservicios. Entre los software más utilizados para servidor de mapas están *Mapserver*⁹ y *Geoserver*¹⁰, los cuales pertenecen al grupo de software libre. También existen otras opciones en el mercado como ArGIS Server, Mapguide, Mapink y Mapfish, entre los más destacados.

5.4.4 Servidor de Metadatos

Análogamente al servidor de mapas, el servidor de metadatos es un servidor web que brinda soporte a las peticiones de servicios de catálogo (CS).

Un servidor de metadatos, o servidor de catálogo, define una interfaz común para el descubrimiento, búsqueda y consulta de metadatos relacionados a datos, servicios y recursos de tipo geográfico.

La herramienta de software que actualmente es ampliamente usada para un servidor de metadatos es *Geonetwork*, que fue desarrollada por la FAO¹¹ y la WFP¹², y brinda un medio para la gestión de información geoespacial basado en estándares, diseñado para permitir el acceso a bases de datos georreferenciadas, productos cartográficos y metadatos relacionados provenientes de muy diversas fuentes, permitiendo compartir e intercambiar datos geoespaciales entre organizaciones y sus usuarios, aprovechando el potencial de Internet.

5.4.5 Servidor de Archivos

El servidor de archivos permite disponer de un espacio común de almacenamiento. Este tipo de servidor generalmente es usado para almacenar documentos y archivos relacionados con datos geográficos. También en este lugar se guardan archivos de datos geográficos de gran tamaño, por ejemplo ortofotografías y MDE.

El acceso a los recursos de este servidor son comúnmente mediante los protocolos FTP o HTTP debido a que este tipo de servidor también está basado en un servidor web;

9

10

11

12

de hecho puede ser un mismo servidor web que mediante páginas HTML permita acceder a los archivos almacenados.

5.4.6 Consideraciones finales

La etapa de *implementación física* del Nodo IDE depende directamente de los recursos disponibles en la organización. Es frecuente que en organizaciones con pocos recursos esta tarea se realiza compartiendo los recursos de un mismo equipo físico para los servidores web y de mapas; sin embargo, una mejor opción es mantener un servidor dedicado exclusivamente para los datos geográficos.

La utilización de un servidor para mapas y otro dedicado para aplicaciones web dependerá de la cantidad de aplicaciones ejecutándose sobre el servidor web, y del número de peticiones a este último. También es frecuente que el servidor de catálogo comparta recursos con el servidor web.

Para el Ecuador, lugar donde se realiza el presente trabajo, mediante el decreto presidencial 1014, del 10 de abril en el 2008, establece “*como política pública para las entidades de la Administración Pública Central la utilización de Software Libre en sus sistemas y equipamientos informáticos*”. Considerando esta disposición y tomando en cuenta que la mayoría de entidades que participan en un proyecto IDE forman parte del gobierno central, es preciso la utilización de herramientas de software libre para la implementación física del nodo IDE.

5.5 Migración de los datos

La tarea de migración de datos en síntesis tiene como único propósito organizar todos los datos geográficos, y no geográficos relacionados, que dispone la organización. Esta tarea al parecer simple en la práctica es muy compleja y necesita de un fuerte apoyo a nivel ejecutivo y también necesita el compromiso de los funcionarios de la organización.

En las organizaciones generalmente los datos se encuentran dispersos en los computadores de los funcionarios, y en el mejor de los casos los datos están almacenados compartidos a través de la red. La migración de los datos implicará cambios en la forma

de gestión de la información dentro de las organizaciones. En ocasiones se presentará un alto grado resistencia a compartir los datos que posee cada funcionario, esto debido a la idea de pertenencia de los datos; para contrarrestar esto hará falta el respaldo a nivel ejecutivo y la capacitación a los funcionarios para generar un cambio de paradigma, y difundir el concepto de que los datos son el bien máspreciado de la organización, la disponibilidad de dichos datos beneficia a todos los involucrados al disponer de un único repositorio oficial de los datos, y que además permite establecer las seguridades que algunos datos requieran.

5.5.1 Organización de los datos

Como se mencionó antes, en primera instancia cada organización participante debe encargarse de inventariar y organizar su información en una base de datos corporativa a la cual todos los empleados tendrán acceso con las limitantes de sus funciones particulares.

La estructura de la información debe estar acorde con las normativas y acuerdos de la IDE a la que pertenece el Nodo IDE. En el caso de no estar definida claramente la forma de organizar la información, será necesario buscar un método de estructura de la información que sea fácilmente manejable y que permita encontrar fácilmente los grupos de información relacionada.

Para el caso particular del Ecuador, lugar en el que se realiza el presente trabajo, a la fecha existe el documento “*Catálogo Nacional de Objetos Geográficos versión 1.0*”, que fue elaborado con el fin de mejorar la gestión y organización de los datos e información geográfica, y facilitar su manejo e intercambio. Este documento se elaboró, bajo las *Políticas Nacionales de Información Geoespacial*, que en sus lineamientos 1.11 y 1.12 establecen “*que toda información geoespacial debe estar estructurada de acuerdo con el catálogo de objetos nacional vigente*” y que “*las instituciones productoras y/o custodias de información geoespacial deben contar con una base de datos geográfica estructurada, basada en el catálogo de objetos nacional vigente*”. Además, dicho documento ha sido elaborado teniendo como referencia las Normas *ISO/TS 19110:2005 Geographic information - Methodology for feature cataloguing* e *ISO 19126:2009*

Geographic information - Feature concept dictionaries and registers, y está orientado a la organización y catalogación de objetos geográficos, sus atributos y dominios.

Por último, hay que tener en cuenta que el almacenamiento adecuado de datos geográficos es un factor crítico para lograr el procesamiento y comprensión óptima de la información y datos geográficos.

5.5.2 Almacenamiento de los datos

Uno de los objetivos de un nodo IDE, como se mencionó anteriormente, es el almacenamiento de la información geográfica en un único repositorio. Para esto se consideran las bases de datos *espaciales* y las bases de datos *temáticas*, en las que se almacenan de manera estructurada los objetos cartográficos (posición, tamaño y forma) y sus características no geométricas (atributos alfanuméricos) respectivamente.

Los datos geográficos que se usan cotidianamente en las organizaciones están almacenadas en archivos, generalmente en formato *Esri Shapefile*¹³(*SHP*). Este es el principal formato, pero no el único por lo que no será extraño encontrar información en formatos DGN, DXF, e incluso puntos almacenados en hojas de cálculo. Toda esta información, en diferentes formatos, es necesario que se lleve hacia una base de datos corporativa, para esto los SGBD con soporte espacial disponen herramientas que facilitan esta tarea; incluso varias de las herramientas SIG disponen de métodos para migrar la información en diferentes formatos a la base de datos.

Una vez que se tenga un esquema o estructura de organización de los datos la tarea de migrar hacia la base datos, aunque es un proceso simple sin embargo requiere de paciencia y tiempo. Hay que tener cuidado en que los datos estén con su *sistema de coordenadas* apropiado, ya que este es el error que por lo general se comete durante esta tarea.

Para finalizar, siempre se debe tener en cuenta que los datos deben contar con su respectiva documentación, es decir sus *metadatos*. La documentación de los datos, o el

registro de esta documentación, en el catálogo de metadatos es una tarea que puede realizarse a la par del proceso de migración de la información.

5.6 Publicar la información

5.6.1 Usuarios internos

La publicación (democratización) de la información, que es el objetivo principal del nodo IDE, inicia con el acceso a la información almacenada en la Base de Datos por parte de los usuarios internos de la organización.

Los usuarios internos del nodo IDE están en la posibilidad de acceder a los datos almacenado en la base de datos geoespaciales mediante una conexión directa, a través del uso de una cuenta de usuario. Los perfiles de las cuentas de usuario para la base de datos dependerán directamente del modelo de gestión de los datos dentro de la organización. Generalmente, los perfiles de usuario que se usan en una base de datos geoespacial son:

- **Administrador:** Se encarga de gestionar toda la Base de Datos, crea nuevas tablas de datos, crea y asigna permisos a los usuarios, etc.
- **Gestor de datos:** Este tipo de usuario tiene permisos para modificar la información existente y crear nueva información.
- **Usuario común:** Corresponde a los usuarios que no están en las dos categorías anteriores, y tienen un acceso limitado a un acceso a los datos sin privilegios de modificación.

Los usuarios internos en general son funcionarios que realizan tareas de geoprocesamiento y edición de mapas. La mayoría de estos usuarios se enmarcan en el tipo de perfil *usuario común*. Incluso las aplicaciones de software que realizan el papel de *servidor de mapas* hacen uso de un perfil de *usuario común* para acceder a los datos y publicarlos mediante el internet.

5.6.2 Usuarios externos

El intercambio de datos con usuarios externos es una tarea fundamental que requiere que los datos sean estructural y semánticamente interoperables para que puedan ser compartidos e integrados con otros conjuntos de datos provenientes de los participantes de la IDE (otros nodos IDE).

En una etapa inicial de la implementación del nodo IDE, se deberá seleccionar un conjunto de datos fundamentales (básicos o más relevantes para el resto de usuarios de la IDE) para ser compartidos con las otras entidades participantes de la IDE. Paralelamente será necesaria la identificación de necesidades en materia de información geográfica; la cual podría ser suplida por los datos de las otras entidades participantes en la IDE.

El intercambio y publicación de los datos de un Nodo IDE se realiza mediante la implementación de geoservicios en el *servidor de mapas*. Una vez determinada cual será la información a compartir y el servidor web que se utilizará, se debe determinar qué servicios son necesarios para compartirla. Los geoservicios que típicamente se configuran para publicar los datos geográficos son WMS, WFS, y WCS; siendo el primero el geoservicio más popular y utilizado.

Cabe recalcar que mediante la implementación de geoservicios se están compartiendo únicamente el acceso a los datos; hasta este punto todavía no se puede hablar de mapas interactivos en la web (*web mapping*). Sin embargo, hay que tener presente que por su naturaleza el geoservicio WMS es capaz de presentar la imágenes de mapas. Por esta razón, al implementar un servicio WMS se deben considerar cuestiones de diseño de mapas. En el caso del Ecuador, el *Instituto Geográfico Militar (IGM)* ha desarrollado un documento de *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Simbolización de Mapas*, el cual puede ser tomado como referencia para esta tarea.

Para el caso de la implementación de geoservicios WFS, mediante el cual se publican datos de tipo *vectorial*, es necesario considerar cuestiones de seguridad o restricción de los campos de los datos temáticos a ser expuestos a través del geoservicio.

Dependiendo de la información que se maneje en la organización, algunos de estos datos, publicados mediante geoservicios, solo podrán estar disponibles o tener acceso

restringido para ciertos usuarios; esto permite brindar seguridad y confianza a las organizaciones para intercambiar sus datos a través de la IDE.

Análogamente, a lo realizado en el proceso de migración de los datos, el registro de la documentación de los geoservicios en el catálogo de metadatos es una tarea que puede realizarse a la par del proceso de publicación de la información.

5.7 Geoportales

Luego que los geoservicios estén configurados y publicados, es hora de realizar la tarea que hace visible a todo el trabajo del nodo IDE, y esto se logra mediante la implementación de visores web que permiten ver la información proporcionada por los geoservicios.

Una página web (geoportal) es, hasta ahora, la mejor manera de dar a conocer información de un Nodo IDE, los geoservicios disponibles y visualizar la información mediante mapas interactivos.

5.7.1 Componentes fundamentales de un geoportal

La necesidad mínima de los usuarios de un nodo IDE, y de las IDE en general, consistente en localizar la información geográfica de interés y visualizarla; esto conduce a la existencia de herramientas que lo permitan: una que facilite la *búsqueda* de los datos y otra para *visualizarlos*.

La herramienta para buscar los datos es el **catálogo de metadatos**. Un catálogo de metadatos es una utilidad que permite realizar al usuario la búsqueda de los datos geográficos que necesite y conocer su ubicación y otros detalles acerca del contenido, su calidad, las fechas asociadas, la extensión geográfica que cubren, su política de distribución, las restricciones de seguridad y legales que puedan existir, así como la frecuencia de su actualización.

El **visualizador cartográfico** deberá ofrecer un acceso ágil a la información geográfica a los usuarios no avezados en la temática. Es aconsejable que la extensión territorial, al inicio, esté circunscripta a la zona de interés pero que mediante las herramientas de acercamiento y alejamiento pueda reconocerse como una parte de un

espacio mayor. El conjunto inicial de datos espaciales que muestre el visualizador permitirá reconocer a primera vista bien la temática o el objetivo de la aplicación.

5.7.2 Usabilidad

Los geoportales son los puntos de encuentro entre los usuarios, productores y proveedores de geoservicios, debiendo proporcionar las funcionalidades básicas que los usuarios demandan a las IDE: localizar, visualizar, descargar y procesar, teniendo presente las capacidades y necesidades de los usuarios a los que están dirigidos.

Gracias al avance de las tecnologías y el aumento de la disponibilidad de la información geográfica, el número de usuarios y los fines del uso de dicha información se han multiplicado. Por esta razón los usuarios podrían clasificarse atendiendo al nivel de destreza según su perfil en:

- **Perfil alto (usuarios avanzados):** Los especialistas en información geográfica que manejan datos, realizan distintos análisis espaciales y proporcionan los resultados de su trabajo a otros usuarios.
- **Perfil medio:** Los funcionarios, gestores, inspectores, etc., que se caracterizan por tener unas necesidades de uso de la información tipificadas o determinables con relativa facilidad; es decir necesidades de información específica.
- **Usuarios ocasionales:** Turistas, estudiantes etc., que utilizan la información geográfica de forma irregular y ocasional. Usan funcionalidades básicas: visualizar una región de interés, seleccionar capas de datos, cambiar la escala, ejecutar consultas simples, imprimir o guardar el mapa resultante. Se puede afirmar que la mayoría de los usuarios pertenecen a este perfil.

El geoportal es a un Nodo IDE lo que el escaparate a una tienda: tiene por objeto despertar el interés de los usuarios, animarles a que exploren el contenido y que, tras interactuar con la información geográfica, logren sus fines.

La correcta definición y facilidad de uso del geoportal resulta determinante para lograr sus objetivos. Por esta razón su diseño debe contemplar aspectos relacionados con la usabilidad, acorde con lo que se define en la norma *ISO/IEC 9241*: "...es la efectividad,

*eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos concretos a usuarios específicos en un contexto de uso determinado... ”. Entonces, el reto consiste en que un usuario obtenga el mejor resultado posible en relación al objetivo por el que visitó el geoportal (**efectividad**), invirtiendo el menor número de recursos, tiempo, aprendizaje, etc. (**eficiencia**) y que en consecuencia, la experiencia le resulte agradable (**satisfacción**).*

5.7.3 Diseño Centrado en el Usuario

Considerando que los geoportales son la puerta de entrada a los recursos de un nodo IDE, la cuestión principal es:

¿Cómo lograr un geoportal útil y atractivo para los usuarios a los que está destinado?

Para conseguir este fin, se propone el uso de una de las metodologías más conocidas en el contexto de las aplicaciones informáticas: *el Diseño Centrado en el Usuario (DCU)*. El DCU abarca la identificación de los grupos de usuarios, los contextos de uso y los requisitos, la definición de procesos y tareas, el diseño de interfaces, el análisis de la forma de interacción y de la utilización de los productos, así como su evaluación.

A continuación se analizan tres aspectos determinantes en la experiencia que un usuario tiene al utilizar un sitio web genérico: diseño de la página principal, estructura de navegación y presentación de los contenidos, haciendo especial hincapié en sus peculiaridades dentro de los geoportales.

La página principal

El objetivo de la página principal es captar la atención del usuario de forma que éste, con solo mirarla, intuya rápidamente en qué consiste, si le resulta de interés y por dónde continuar explorando. La página principal debe dar respuesta en pocos segundos a cuestiones tipo: *¿Qué puedo encontrar en este sitio?, ¿Por qué debería estar aquí y no en otro lugar? y ¿Por dónde comienzo a explorar?*.

Con frecuencia la página principal del geoportal aparece sobrecargada con diferentes tipos de información, dando una sensación de ruido que dificulta identificar su temática geográfica. Algunos elementos clave a tener en cuenta en el diseño de la página principal son:

- Claridad y simpleza.
- Comunicación breve y directa, que resuma en una línea la identidad (*qué*) y la misión del sitio (*para qué*). Es importante transmitir a los usuarios el propósito del geoportal y a qué comunidad está dirigido.
- Inclusión de un cuadro de búsqueda en un lugar destacado.

La navegación

Los usuarios abandonan el sitio web si el contenido les resulta difícil de encontrar aunque sea bueno, o si la información es fácil de encontrar pero no es satisfactoria. Si el geoportal incluye la información que el usuario necesita, el principal foco de atención será asistirle adecuadamente en la exploración, de modo que pueda saber en todo momento dónde está, y consiga localizar lo que busca. Para ello resulta clave que el usuario conozca no sólo en qué página se encuentra él, dónde está respecto a la totalidad del portal, sino que conozca las principales secciones del sitio, su acceso y la forma de hacer las búsquedas.

A continuación se incluyen algunas recomendaciones para mejorar la navegación en los geoportales:

- La estructura de navegación debe ajustarse a las expectativas del usuario y reflejar su visión del sitio, sus contenidos y sus funcionalidades de interés.
- Los nombres de los enlaces para la navegación deben ser comprensibles para los usuarios.
- Para ayudar a consultar los contenidos, se puede ofrecer la posibilidad de seleccionar entre una serie de configuraciones de capas y escalas por defecto, en función de los diferentes perfiles de conocimiento o casos de uso; o la opción de configurar y guardar una visualización personalizada.

- El acceso directo a páginas interiores de un sitio web supone el 60% de las entradas. Por esta razón es importante incluir en todas las páginas información que indique al usuario dónde se encuentra y cómo pueden moverse hacia otras partes del sitio: nombre del sitio y/o logotipo en la esquina superior izquierda, un enlace directo a la página principal, y un buscador.
- El geoportal da acceso a un gran volumen de información geográfica por lo que el buscador resulta una herramienta clave tanto en lo que se refiere al control de los usuarios para definir sus búsquedas, como en la utilidad de la información resultante que obtienen.
- Navegación rápida e intuitiva. Los usuarios de Internet están acostumbrados a la descarga de páginas web en segundos y esperan lo mismo al consultar mapas. En cuanto a la navegación a través del zoom, en ocasiones los saltos de escala de un nivel a otro son tan grandes, que el usuario pierde la referencia de la localización de interés.

Los Contenidos

La web es un medio dirigido por el usuario en el que se adoptan estrategias de búsqueda de información para ahorrar tiempo. Un contenido claro y sólido atrae, retiene y ofrece a los visitantes, un acceso eficiente e intuitivo a la información (Nielsen y Loranger, 2006).

Algunas recomendaciones para mostrar contenidos en un geoportal son:

- El texto en la web debe ser corto y fácil de leer. En la redacción siempre es mejor empezar por la conclusión, de forma que leyendo sólo las primeras líneas de una página se obtenga la idea principal.
- Adaptar el lenguaje a los usuarios evitando conceptos técnicos.
- Los usuarios son poco receptivos a la instalación de programas o complementos adicionales para poder visualizar contenidos específicos, por lo que se recomienda evitarlos.
- Adecuar el espacio asignado a la importancia del contenido. En ocasiones, el tamaño de la ventana del visualizador cartográfico del geoportal es

relativamente pequeño, lo que dificulta obtener una imagen global clara de la localización mostrada.

- Permitir que el usuario integre su información en el geoportal, visualizándola sobre contenidos almacenados en la infraestructura distribuida, bajo condiciones de uso privado o compartido con el resto de la comunidad del geoportal.

En cuanto al diseño de contenidos cartográficos, su visualización a través de Internet implica una serie de factores a tener en cuenta (tamaños y resoluciones de pantalla, tipografía, técnicas para incrementar la legibilidad, etc.). A continuación se incluyen algunos aspectos de diseño cartográfico a tener en cuenta:

- Cada escala del mapa debe incluir unos contenidos y diseños específicos. En ocasiones, el nivel de detalle de la información no cambia al utilizar el zoom y la visualización resulta inadecuada.
- El diseño del mapa debe adaptarse a su visualización en pantalla, permitiendo un uso simple y transmitiendo una apariencia armoniosa y atractiva.
- En cuanto a la cartografía temática, la visualización en pantalla requiere que los símbolos sean especialmente diferenciables y el número de clases es posible que necesite reestructurarse y reducirse.

5.8 Programación SIG

Actualmente las herramientas para el manejo de información geográfica son muy variadas: software SIG de escritorio, para móviles, páginas web con soporte a geoservicios, etc. En este contexto y ante unas necesidades de información geoespacial concretas nuestro primer paso debe ser siempre buscar la solución informática más eficiente. Si esta solución de software ya ha sido desarrollada, sea de pago o gratuita, generalmente adoptarla y ser su usuario será la mejor opción.

Si nuestras necesidades no están cubiertas por el software existente, o el que hemos encontrado no nos satisface plenamente, entonces es el momento de considerar el desarrollo de software y utilizar la programación para lograr una solución a medida. Los programadores requieren de una serie de conocimientos técnicos y especialmente de

mucha práctica. Para mejorar en esta labor es importante la documentación, los ejemplos, las herramientas y especialmente el trabajo previo de otros programadores en forma de componentes software especializados; en la caso de las aplicaciones basadas en geoservicios la librería de mapas *OpenLayers* es un buen ejemplo.

Para proyectos SIG corporativos, a partir de cierto tamaño y complejidad, es recomendable contar con equipos multidisciplinares, e indispensable una buena gestión. Diseñadores, programadores, expertos temáticos, gerentes de proyectos y futuros usuarios, deben colaborar y alinear sus intereses y capacidades técnicas para que el proyecto salga adelante. Un buen resultado solo será posible siguiendo una metodología adecuada de desarrollo de software, para que así el trabajo se ajuste al presupuesto y los plazos establecidos.

Sin embargo para proyectos menos complejos, en lugar de tener un departamento SIG con varios profesionales, posiblemente se cuente sólo con un usuario avanzado. Este usuario, con una formación básica en programación y los recursos disponibles podría realizar proyectos SIG para la web muy interesante y de manera autónoma.

5.9 Difusión y comunicación

5.9.1 Concienciación

En la primera etapa, dentro de la organización el concepto de IDE multiparticipativa no existe y la conciencia del Nodo IDE la tienen muy pocos. A medida de que el proceso avance el concepto IDE será de mayor interés, especialmente en los usuarios de la información geográfica. Se debe desarrollar un plan de marketing y de promoción para construir el nivel de conciencia y participación lo más rápidamente posible.

La comunicación es un factor fundamental para la aceptación, percepción y apoyo al proyecto de Nodo IDE. La comunicación de los objetivos y avances en el desarrollo, es un componente crítico de la dirección e implementación, ya que esto permite la transparencia y la rendición de cuentas.

5.9.2 Marketing y promoción

Para que un Nodo IDE sea un proyecto con éxito, que permanezca y se consolide con el paso del tiempo, es necesario llevar a cabo un conjunto de actividades de difusión y formación de la filosofía de las IDE en la sociedad. Como consecuencia se genera y consolida una comunidad IDE, formada por una variedad de actores de todo tipo que colaboran y cooperan en las IDE. En algunas ocasiones surgen de un modo natural pero en la mayoría de los casos son las instituciones públicas las que las promueven y en ocasiones patrocinan, como parte de su papel de liderazgo.

Hay que destacar como una labor muy importante para la difusión de las IDE en una comunidad, la realización de cursos de formación y congresos en los que se ven implicados tanto organizaciones públicas como privadas. También hay que señalar el papel de las universidades formando y transmitiendo sus experiencias tanto a organizaciones como a los propios usuarios finales.

5.9.3 Plan de comunicación

Comunicaciones constantes y actividades de divulgación son fundamentales para el cumplimiento de metas del Nodo IDE. Un principio fundamental del Nodo IDE es la coordinación entre los usuarios de SIG y el mantenimiento de la conciencia y el apoyo de los altos funcionarios.

El propósito de las actividades de promoción es incrementar el conocimiento y la comprensión, el apoyo y participación en el Nodo IDE y los servicios que presta. En esencia, una campaña de promoción de SIG combina la educación con una cierta cantidad de publicidad para conectar con las partes interesadas y generar interés, mientras que transmite información real acerca de las aplicaciones y los beneficios de la tecnología GIS.

Además de la promoción del programa SIG, existe una necesidad constante de estar en contacto con la comunidad de usuarios, proporcionar apoyo técnico y ofrecer asistencia para la formación y el desarrollo profesional. Hay muchos enfoques y elementos de comunicación que pueden comprender una campaña de promoción exitosa, que incluyen:

- **Información descriptiva y enlaces:** Información que describe y explica el programa de SIG, sus servicios y productos en resumen y a nivel de detalle. Esto incluye diversos textos y piezas de presentación (folletos, guías, materiales de presentación) que se puede acceder en línea o ser distribuidos en forma impresa.
- **Noticias y estado:** Información continua sobre el estado las actividades del programa SIG, y sobre la comunidad SIG en su conjunto. Esto incluye la publicación de información en línea sobre los principales eventos, hitos y el cumplimiento del programa de SIG.
- **Desarrollo profesional:** Las oportunidades de educación y de formación, patrocinadas o coordinadas por el programa SIG o por otras organizaciones de coordinación.
- **Directorio de personas:** Contacto e información de perfil acerca de la comunidad de usuarios que el programa sirve, y los enlaces apropiados con los contactos externos para apoyar la creación de redes profesionales y la coordinación de los participantes y las partes interesadas en los SIG.
- **Soporte a usuarios:** Procedimientos de información y asistencia técnica específica, y ayuda en relación con el uso de software SIG y aplicaciones, el acceso a los datos, etc.
- **Información y soporte del proyecto:** La información detallada sobre los proyectos específicos, patrocinados o coordinadas por el programa de SIG, y herramientas de apoyo a la coordinación y colaboración del grupo de trabajo del proyecto.
- **Oportunidades para proveedores:** Información sobre oportunidades de negocio para los productos y los proveedores de servicios sobre adquisiciones competitivas para el trabajo de apoyo a los proyectos de SIG y a las operaciones. El programa SIG puede proporcionar información de resumen y enlaces a anuncios e información detallada acerca de las oportunidades de contratación.

La comunicación exitosa con la comunidad SIG depende de la selección y uso de "canales" y mecanismos eficaces de entrega. Tomar todas las oportunidades para llevar a cabo reuniones de información y programas de educación a grupos locales y regionales. Algunos canales y mecanismos que pueden ser valiosos para la difusión y promoción eficaz del programa SIG incluyen:

- Presentaciones y sesiones informativas en las reuniones de la organización.
- Presentaciones en eventos SIG.
- Sesiones de entrenamiento y educación.
- Página web.
- Correo electrónico de difusión.
- Publicaciones.
- Patrocinio y/o participación en eventos especiales.
- Comunicados en prensa y medios.
- Herramientas de ayuda a usuarios.

5.9.4 Difusión

Como tareas para la difusión algunas de las actividades que pueden crear la visión y conciencia acerca de la necesidad del desarrollo de la IDE son la elaboración de todo tipo de presentaciones, publicaciones y la creación de redes de influencia.

Como actividades para la concienciación mediante la divulgación y para la creación de las redes de comunicación se pueden realizar las siguientes acciones:

- Publicitar los principios de la Iniciativa IDE y sus logros por medio de presentaciones (informales, ante colectivos profesionales, en la organización, en ámbitos académicos, etc.).
- Conseguir una mayor difusión de la IDE a través del apoyo de personalidades o personas influyentes (políticos municipales, profesionales de prestigio, altos funcionarios).
- Propuesta de proyectos-piloto sencillos con el objeto de mostrar el valor de los datos espaciales y de una IDE así como los logros y experiencias.
- Crear redes de comunicación personales y virtuales que permitan a los participantes intercambiar experiencias de ejecución de la IDE.
- Facilitar un foro de debate, análisis e identificación de las cuestiones pertinentes del desarrollo de la IDE.

- Cuando sea conveniente, ofrecer a los socios de la IDE u a otras partes interesadas la oportunidad de participar en grupos de trabajo y subcomités. Iniciar la creación de comunidades de interés entorno a la IDE.

6. Conclusiones

En la actualidad, es evidente que existe una clara necesidad, a todos los niveles, para poder acceder, integrar y utilizar datos espaciales procedentes de fuentes dispares con el fin de guiar la toma de decisiones. Los gobiernos en los niveles local, regional y nacional requieren información actual y precisa para tomar decisiones en las diferentes áreas de su accionar.

Con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, TIC, los mapas en papel tradicionales han sido reemplazados por información geográfica digital y servicios basados en localización. Estas tecnologías relativamente nuevas facilitan la reutilización de la información geográfica, pero esto se dificulta debido a una documentación incompleta, la incompatibilidad entre los conjuntos de datos espaciales, las inconsistencias en la recopilación de datos, y las barreras culturales, lingüísticas, económicas y organizativas

No obstante, incluso en esta nueva era de computadores trabajando en red, los hábitos sociales del pasado continúan dificultando a los usuarios el hallazgo y la utilización de información geográfica crítica. Muchas entidades todavía no aprovechan la reutilización de información geográfica digital recogida para otros propósitos.

El desarrollo de una infraestructura de datos espaciales, IDE, efectiva permite y facilita ampliamente la búsqueda, intercambio y almacenamiento de datos para toda la comunidad. El apoyo ejecutivo es esencial para el desarrollo de un compromiso institucional con una visión a largo plazo para el libre acceso a los datos y la creación de valor agregado. El apoyo a nivel ejecutivo conduce al compromiso de todos los funcionarios de la organización.

El mayor desafío en la implementación exitosa de una IDE estará en promover un cambio cultural en el abordaje de los datos: los datos deben ser vistos como un activo de la empresa y no como recursos individuales, o como pasivos. Mientras que la implementación y desarrollo de una IDE promueve una mayor accesibilidad y la utilización de los datos geoespaciales en un entorno cooperativo, distribuido que tiene que ir más allá de las fronteras departamentales para ser eficaz, algunas entidades y asociados siguen manteniendo un fuerte sentido de propiedad individual sobre los mismos.

Desarrollar un plan de comunicación para permitir una difusión clara de los recursos disponibles, y del mismo modo, sirva como medio de retroalimentación. Establecer un plan de talleres, con el propósito de solicitar retroalimentación y, generar y mantener un sentido de propiedad del proceso en las participantes.

7. Bibliografía

- Béjar, R., López-Pellicer, F. J., & Muro-Medrano, P. R. (2011). *Las Infraestructuras de Datos Espaciales*. Universidad de Zaragoza.
- Bernabé P., M. A., & López V., C. M. (2012). *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales*. Madrid: UPM Press.
- Buzai, G. D. (2000). *La exploración geodigital*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Campbell, J. E., & Shin, M. (2011). *Essentials of Geographic Information Systems*.
- Comité de Planificación de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales, CINDE. (2010). *Plan de Acción para la Implementación de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales*. Río de Janeiro: Ministerio de Planificación, Presupuesto y Gestión de Brasil.
- de Paz Lopez, G. (2008). *Estudio y evaluación de la IDE. Aplicación de buenas prácticas y modelos de Calidad*. Madrid: Universidad Europea de Madrid.
- del Bosque, I., Fernández F., C., Martín-Forero, L., & Pérez, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Madrid: Confederación Española de Centros de Estudios Locales (CSIC).
- Federal Geographic Data Committee. (2011). *Modernization Roadmap for the Geospatial Platform*. Washington: Geospatial Platform.
- Federal Geographic Data Committee. (1997). *A Strategy for the NSDI*. Reston: Federal Geographic Data Committee.
- Federal Geographic Data Committee. (2013). *National Spatial Data Infrastructure Strategic Plan 2014–2016*. Reston, Virginia: Federal Geographic Data Committee.
- GIC/ESRI Canada. (2011). *Feasibility Study for a National Spatial Data Infrastructure in Uganda*. Washington: D.C.: infoDev / World Bank.
- GSDI. (2000). *Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook*. (D. D. Nebert, Ed.) Orono: GSDI.
- Harmon, J. E., & Anderson, S. J. (2003). *The Design and Implementation of Geographic Information Systems*. New Jersey, EEUU: John Wiley & Sons, Inc.
- Henricksen, B. (2007). *United Nations Spatial Data Infrastructure Compendium*. New York: United Nations Geographic Information Working Group.
- Idaho Geospatial Office (IGO) and Idaho Geospatial Committee (IGC). (2009). *STRATEGIC PLAN FOR DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF IDAHO'S SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE*. Idaho: Idaho Geospatial Office.

- Idaho Geospatial Office. (2009). *BUSINESS PLAN FOR DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF IDAHO'S SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE*. Idaho: Idaho Geospatial Office.
- Knippers, R. (2009). *Geometric aspects of mapping*. (International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)) Recuperado el 10 de Mayo de 2013, de <http://kartoweb.itc.nl/geometrics/>
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2008). *Sistemas de Información Gerencial. Administración de la empresa digital* (Décima ed.). México: PEARSON EDUCATION.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographical Information Systems and Science* (2 ed.). John Wiley & Sons.
- NAS & USGS, (. A. (2012). *Advancing Strategic Science: A Spatial Data Infrastructure Roadmap for the U.S. Geological Survey*. Washington: National Academies Press.
- Nebert, D. D. (2005). *El recetario IDE* (Segunda ed.). Madrid: Grupo MERCATOR.
- Oyala, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica* (Vol. I). OSGeo.
- Sinton, D. (1978). The inherent structure of information as a constraint to analysis. *Harvard Papers on GIS*, VI, 1-17.
- Sitjar i Suñer, J. (2009). Los Sistemas de Información Geográfica al servicio de la sociedad. *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano*.
- Tóth, K., Portele, C., Iller, A., Lutz, M., & Nunes de Lima, M. (2012). *A Conceptual Model for Developing Interoperability Specifications in Spatial Data Infrastructures*. Luxembourg: Joint Research Centre.
- Tyler, M. (2005). *Web Mapping Illustrated*. Sebastopol: O'Reilly.
- United Nations. (2009). *Handbook on Geospatial Infrastructure in Support of Census Activities*. New York: UNITED NATIONS.
- Valencia Martinez, J. (2008). *Pasado, presente y futuro de las Infraestructuras de Datos Espaciales* (Segunda ed.). España: Bubok Publishing.
- Warnest, M. (2005). *A collaboration model for national spatial data infrastructure in federated countries*. Melbourne: University of Melbourne.

ANEXOS

I. CONCEPTOS SIG

1.1 ¿Qué es un SIG?

Iniciaremos haciendo referencia a la definición de (Harmon & Anderson, 2003) quienes afirman que al igual que cualquier sistema de información¹⁴, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una colección organizada de datos y procedimientos que ayudan a las personas a tomar decisiones acerca de qué hacer con ciertas cosas; tales cosas tienen una característica especial, su localización es parte importante de su ser.

Aunque esta definición sintetiza lo esencial de un SIG, sin embargo, para una mejor comprensión se puede hablar de SIG desde dos puntos de vista (Oyala, 2012). Una forma de entender a un SIG es como formado por varios subsistemas, cada uno de ellos encargado de una serie de funciones particulares. La otra forma distinta de ver a un SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen.

1.1.1 Subsistemas de un SIG

Habitualmente se citan tres subsistemas fundamentales:

- **Subsistema de datos.** Se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, y la gestión de estos dentro del SIG. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- **Subsistema de visualización y creación cartográfica:** Crea representaciones a partir de los datos, permitiendo así la interacción con ellos. Entre otras, incorpora también las funcionalidades de edición de mapas.

¹⁴ Un Sistema de Información se puede definir desde el punto de vista técnico como un conjunto de componentes interrelacionados que recolectan (o recuperan), procesan, almacenan y distribuyen información para apoyar en la toma de decisiones y el control en una organización. (Laudon & Laudon, 2008)

- **Subsistema de análisis.** Contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

En la figura 1.1 se muestra el esquema de estos tres subsistemas y su relación.



Fig. I-1 Esquema de un SIG con sus tres subsistemas fundamentales: gestión de datos, visualización y análisis.

1.1.2 Componentes de un SIG.

En la mayor parte de la literatura acerca de los SIG existe un criterio en común en el cual se establecen cinco componentes principales. No obstante, desde hace ya algunos años se ha considerado como parte fundamental de un SIG a la red de computadores.

A continuación se presentarán estos componentes iniciando con los más importantes según los criterios de (Harmon & Anderson, 2003).

- **Personas.** Las personas son el componente más importante, a pesar de que algunos autores argumentan que en su lugar los datos lo son. Los sistemas de información geográfica, o no, surgen de las necesidades de las personas para hacer que su trabajo sea más rápido y con altos niveles de confianza en sus resultados.
- **Métodos.** En síntesis, los métodos son un conjunto de procedimientos y metodologías a aplicar sobre los datos. En las organizaciones las personas necesitan crear todo tipo de reportes, tomar todo tipo de decisiones, y en general aplicar sus destrezas en sus labores diarias. Todos los procesos desarrollados para

estos fines son denominados métodos, y surgen de la misión y objetivos de la organización.

- **Datos.** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG. Los métodos hacen uso de estos datos para conseguir los resultados deseados.
- **Software.** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores. Sin este componente hoy en día sería imposible realizar las tareas más usuales en los SIG.
- **Hardware.** Consiste principalmente en los dispositivos con los que los usuarios interactúan, así como el equipo necesario para ejecutar el software.
- **Red.** En concordancia con (Longley, Goodchild, Maguire, & Rhind, 2005), en la actualidad el componente fundamental y más importante sea probablemente la red de computadores, sin la cual no se tendría ningún tipo de comunicación e intercambio de datos de forma rápida y oportuna. Los SIG de hoy se basan en gran medida en la Internet, y en su versión de acceso limitado, las intranets presentes en todas las organizaciones de hoy en día. La Internet fue originalmente diseñada como una red para la conexión de computadoras, pero hoy se está convirtiendo rápidamente en un mecanismo usado por la sociedad para el intercambio de información, manejando desde pequeños mensajes personales hasta el envío masivo de datos. No es un secreto que la Internet, desde hace poco tiempo atrás, ha tenido un profundo efecto sobre la tecnología, la ciencia y la sociedad.

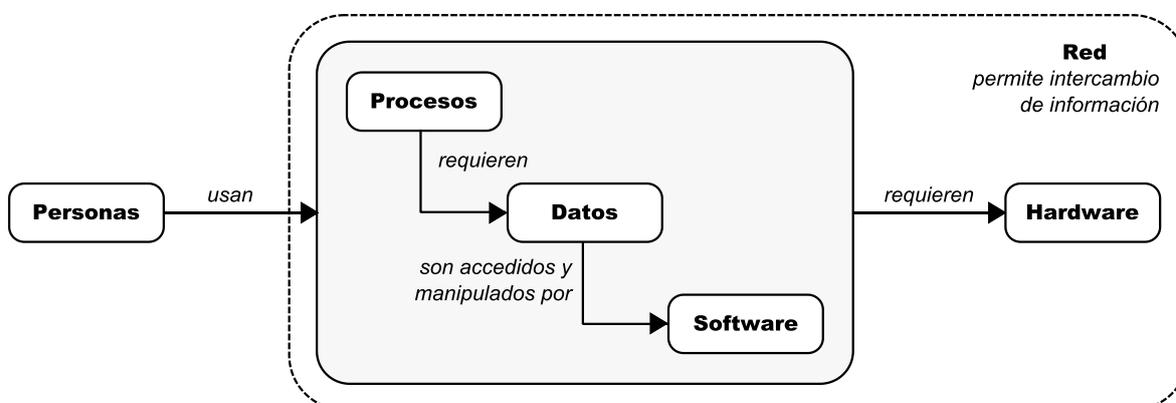


Fig. I-2 Componentes de un SIG.

1.2 Historia de los SIG

La aparición y desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica tiene estrecha relación con el origen y avance de la Informática. No obstante, la idea de utilizar mapas para representar datos y relacionarlos geográficamente, surgió antes de la llegada de los computadores. En el siglo XVIII, el cartógrafo francés Louis Alexandre Berthier utilizó un mapa con superposiciones, mediante bisagras, para mostrar el movimiento de las tropas en la Batalla de Yorktown. Años más tarde, en 1854, el doctor John Snow fue el primero en utilizar el análisis geográfico para determinar la causa de la epidemia de cólera en Londres. Hasta este instante se considera como la prehistoria de los SIG.



Fig. I-3 Mapa original del Dr. John Snow¹⁵. Los puntos son casos de cólera durante la epidemia en Londres de 1854. Las cruces representan los pozos de agua de los que bebían los enfermos.

A inicios de la década de los sesenta, como resultado de varios factores que convergen, tiene lugar el desarrollo de los primeros SIG. De estos factores los de mayor importancia son: la necesidad creciente de información geográfica con una gestión adecuada y uso óptimo de la misma, y la aparición de los primeros computadores. Estos mismos factores son los que desde entonces han seguido impulsando el avance de los SIG.

El primer SIG tuvo su origen en Canadá con el nombre de Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS) en el año 1964 (Buzai, 2000). El desarrollo de este sistema

¹⁵ Imagen tomada de Wikimedia Commons, disponible: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snow-cholera-map.jpg>. [Consulta 25/04/2013]

estuvo bajo la dirección del Dr. Roger Tomlinson, a quién se lo considera hoy el padre de los SIG (Oyala, 2012). Este sistema fue elaborado para el Ministerio de Agricultura de Canadá a fin de servir como apoyo para la ejecución del inventario y gestión de los recursos forestales del país.

Una segunda innovación ocurrió a finales de la década de 1960, en la Oficina de Censos de los EEUU, durante la planificación de las herramientas necesarias para la ejecución del Censo de Población a desarrollarse en 1970. El programa DIME (Dual Independent Map Encoding) creó registros digitales para todas las calles de los EEUU, para permitir una agregación y referencia automática de los registros del censo.

La similitud de la tecnología de DIME en comparación con la que usaba el CGIS fue reconocida inmediatamente, y dio paso a otro hito de importancia, el cual tuvo lugar en el Laboratorio de Gráficos por Computador y Análisis Espacial de la Universidad de Harvard. Fruto de este trabajo, en 1964 se lanza el programa SYMAP (Synagraphic Mapping Technique), una aplicación que era capaz de representar información espacial por medio de gráficos generados por computador.

SYMAP generaba mapas a partir de combinaciones alfanuméricas con salida en impresoras de línea. Superponiendo las combinaciones de números y letras, se imprimían escalas de grises que representaban diversas coropletas¹⁶ o isopletas¹⁷.

¹⁶ Los mapas de *coropletas* son una forma de cartografiado cuantitativo utilizada para para la representación de fenómenos discretos asociados a unidades de enumeración a las que se aplican símbolos superficiales de acuerdo con su valor.

¹⁷ Los mapas de isopletas sirven para representar fenómenos cuya variación puede ser importante en puntos próximos del territorio. Son especialmente adecuados para la representación de variables del medio físico, por lo que son muy usados en topografía. En Meteorología se usan mapas de isopletas para el estudio de casi todas las variables que se analizan, tales como mapas de isoyetas, isobaras, isoclinas, isohipsas, etc.

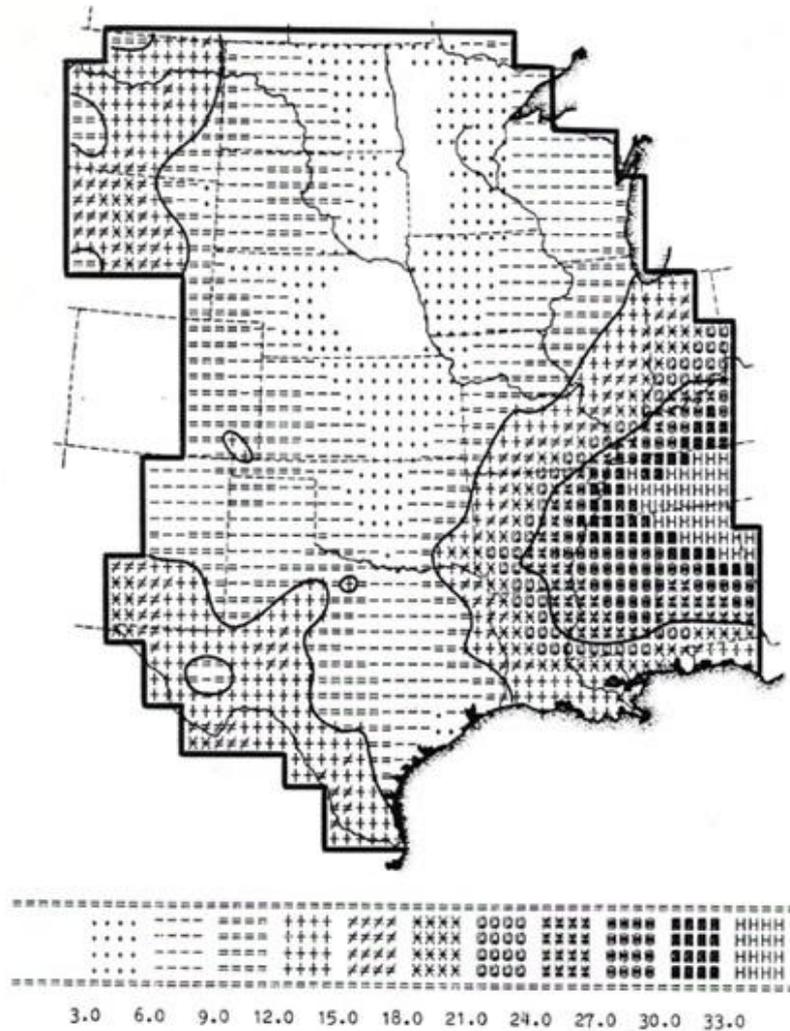


Fig. I-4 Mapa producido a través de SYMAP¹⁸.

En 1969, utilizando algunos elementos de SYMAP, también en las instalaciones del Laboratorio de Gráficos por Computador y Análisis Espacial de la Universidad de Harvard, se desarrolla GRID, una aplicación en la que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de las aplicaciones, pero no para la entrada y almacenamiento de los datos. Este fue el inicio de los SIG de tipo *raster*¹⁹ (mapa de bits).

¹⁸ Smith, Charles H., THE DYNAMICS OF ANIMAL DISTRIBUTION: AN EVOLUTIONARY/ECOLOGICAL MODEL. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1984. Imagen disponible en: <http://people.wku.edu/charles.smith/DISS/pics/CS84ap2a.jpg> [Consulta 26/04/2013]

¹⁹ Uno de los dos principales modelos de datos en un SIG es el modelo raster, en el cual se representa el mundo real empleando una malla regular. Para cada celda de la malla se almacena un valor numérico que representa determinado aspecto del mundo real.

SYMAP también fue la base para el desarrollo de las aplicaciones POLYVRT (Polygon Converter) que incorpora la relación topológica de los objetos en la estructura de datos, y ODYSSEY GIS, este último considerado el primer SIG de estructura vectorial²⁰.

A partir de ese momento, el avance e innovaciones relacionadas con el mundo de los SIG siguieron una curva ascendente e imparable. No obstante, los SIG iniciaron su real ascenso a inicios de la década de 1980, cuando el precio del hardware informático se redujo a un nivel que podría sostener una industria de software importante y rentable.

1.3 Componentes de la información geográfica

Básicamente, la información geográfica se puede dividir en dos componentes fundamentales, la componente espacial y la componente temática; sin embargo, de acuerdo con algunos autores, existe una tercera: la componente temporal.

- **Componente espacial.** La componente espacial hace alusión a la posición dentro de un sistema de referencia establecido, y responde a la pregunta ¿dónde?
- **Componente temática.** Por su parte, la componente temática responde a la pregunta ¿qué? y va invariablemente unida a la anterior.
- **Componente temporal.** Fundamentalmente, responde a la pregunta, ¿Cuándo?

Resumiendo, en la localización establecida por la componente espacial, tiene lugar algún proceso o fenómeno. La naturaleza de dicho fenómeno y sus características particulares, quedan establecidas por la componente temática. En síntesis, la componente temática es una variable fundamental que se sirve, sin embargo, de una variable de soporte para completar su significado, la componente espacial. (Oyala, 2012).

²⁰ El modelo de datos vectorial constituye una codificación de los datos geográficos en la que se representa una variable geográfica por su geometría.

1.4 División horizontal de la información geográfica

Además de dividir la información geográfica en componentes, ésta también se puede dividir con criterios puramente espaciales, cortándola en unidades menores que ocupen una región de extensión más reducida.

La división horizontal de la información geográfica utiliza un procedimiento similar al que encontramos en un mapa impreso, ya que el territorio de un país se encuentra cartografiado en diferentes hojas. La principal razón para esto es el hecho de que, de no ser así, los mapas tendrían un tamaño inmanejable.

En el caso de trabajar en un SIG, no tenemos el problema del tamaño físico del mapa, ya que no existe tal tamaño. Los datos no ocupan un espacio físico, pero sí que requieren un volumen de almacenamiento, y este presenta el mismo problema. Por ejemplo almacenar a escala 1:25000 todo un país supone un volumen de datos enorme, por lo que es conveniente dividir la información para poder manejarla con fluidez.

1.5 División vertical de la información: Capas

La información que maneja un SIG está organizada en una colección de capas temáticas que pueden ser vinculadas entre sí mediante sus ubicaciones geográficas.

El enfoque de capa temática nos permite organizar la complejidad del mundo real en una representación sencilla para facilitar la comprensión de las relaciones naturales entre los diferentes objetos presentes sobre el espacio.

Este concepto capa permite dividir la información espacial referida a una zona de estudio en varios niveles, de tal forma que, pese a coincidir sobre un mismo emplazamiento, la información sobre distintas variables se encuentra recogida de forma independiente (Oyala, 2012). En otras palabras, las entidades geográficas se presentan como una serie de capas que cubren una extensión determinada. Por ejemplo, son ampliamente utilizadas en muchos estudios capas como carreteras, ríos, nombres de lugares, edificios, límites políticos, elevación de superficie e imágenes de satélites.

En la diversidad de herramientas de software SIG, varios términos son empleados para definir a las capas de datos. Estos incluyen: temas, coberturas, capas, niveles, objetos y clases de entidades.

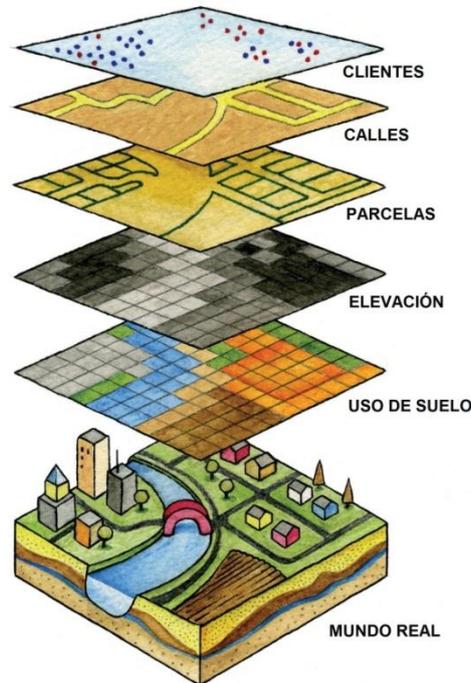


Fig. I-5 Capas temáticas (Campbell & Shin, 2011).

1.6 Modelos de datos SIG

En los SIG, las características y fenómenos del mundo real necesitan ser convertidos a representaciones simples que puedan ser almacenadas y manipuladas a través del uso del computador.

En la actualidad, en el software SIG, dos modelos de datos para la representación digital de la información son ampliamente usados. El primero de estos es el modelo de datos *vector*, el cual es usado para representar características discretas, tales como casas, vías o parcelas. El modelo de datos *raster*, por el contrario, es usado para representar fenómenos que varían de manera continua, tales como la elevación del terreno o la temperatura.

1.6.1 Modelo Vector

Los SIG vectoriales, representan las características del mundo real usando un conjunto de geometrías primarias: puntos, líneas y polígonos, figura 1.6.

En el modelo de datos vectorial, un punto es representado por las coordenadas x , y . Una línea es constituida por una secuencia de puntos, en donde los puntos inicial y final son denominados nodos, y los puntos intermedios llamados vértices. Los polígonos son constituidos por una línea cerrada, de tal que el punto inicial sea igual al punto final, en donde el espacio interior se denomina comúnmente superficie.

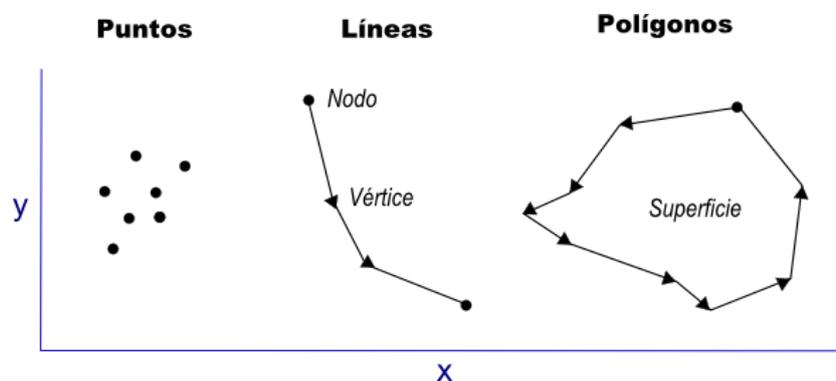
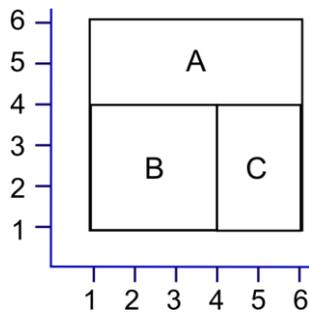


Fig. I-6 Elementos del modelo vectorial: puntos, líneas y polígonos.

Dentro de un SIG, una capa vectorial puede contener un único tipo de primitiva geométrica. Así, tenemos capas vectoriales de puntos, de líneas y de polígonos, respectivamente. La elección de uno u otro tipo de capa vectorial para registrar una variable está en función del tipo de fenómeno que se pretende modelizar con dicha capa.

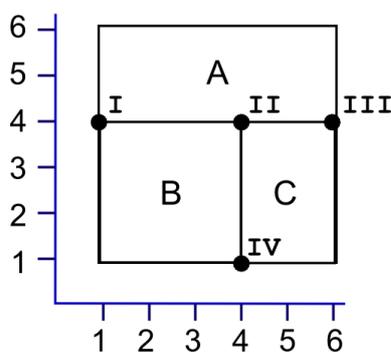
En lo referente al almacenamiento de los datos geométricos (componente espacial), el modelo de datos vectoriales más simple, almacena los datos sin establecer relaciones entre las entidades geográficas, figura 1.7. Este método comúnmente es conocido como modelo espagueti, ya que las líneas se superponen pero no se cruzan, semejantemente a espaguetis en un plato.



Polígono	Coordenadas
A	(1,4), (1,6), (6,6), (6,4), (4,4), (1,4)
B	(1,4), (4,4), (4,1), (1,1), (1,4)
C	(4,4), (6,4), (6,1), (4,1), (4,4)

Fig. I-7 Modelo vectorial espagueti.

Otro modelo vectorial más sofisticado, el modelo de datos topológico, almacena las relaciones entre las entidades geográficas. Esto se ilustra en el ejemplo de la figura 1.8, en donde las líneas que se cruzan se dividirán y un nodo adicional será añadido en la intersección. En lugar de definir dos veces la frontera entre polígonos vecinos, una por cada polígono, solamente una línea es almacenada junto con la información acerca de cuál polígono está a la derecha o izquierda de la línea, respectivamente.



Nodo	X	Y	Líneas
I	1	4	1, 2, 4
II	4	4	4, 5, 6
III	6	4	1, 3, 5
IV	4	1	2, 3, 6

Polígono	Líneas
A	1, 4, 5
B	2, 4, 6
C	3, 5, 6

Línea	Nodo Inicial	Nodo Final	Polígono Izquierda	Polígono Derecha
1	I	III	O	A
2	I	IV	B	O
3	III	IV	O	C
4	I	II	A	B
5	II	III	A	C
6	II	IV	C	B

O = Fuera del polígono

Fig. I-8 Estructura de datos topológica.

Por otra parte, en el modelo vectorial, la vinculación entre los datos temáticos y los datos geográficos se realiza mediante la utilización de identificadores únicos para cada

entidad geográfica vectorial (*feature*²¹). Estos identificadores unen cada entidad geográfica con una entrada correspondiente en una tabla de datos o atributos, figura 1.9.

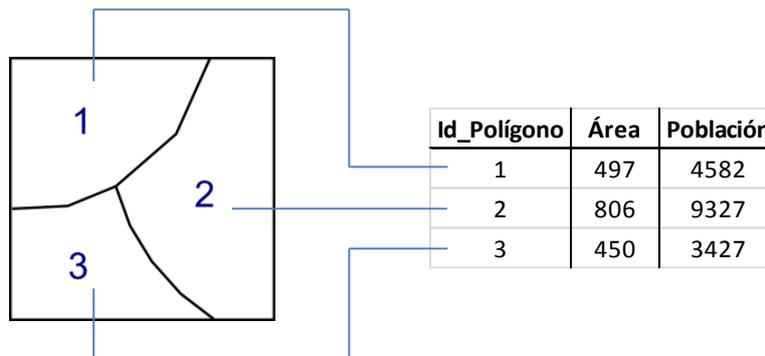


Fig. I-9 Datos espaciales y no espaciales almacenados en un SIG vectorial.

1.6.2 Modelo Raster (Mapa de bits)

En el modelo de datos *raster*²², el espacio geográfico se divide en una matriz regular de filas y columnas. Cada una de las celdas, de esta matriz o malla, es denominada habitualmente como *pixel*²³; el cual es el elemento básico del mapa de bits. Este modelo tiene su origen en la teledetección y el procesamiento de imágenes.

Aunque la malla de celdas puede contener información sobre varias variables, lo usual es que trate una única variable. Es decir, que se tenga un único valor para cada una de las celdas.

²¹ La traducción directa es 'característica, atributo', pero en contexto se refiere a entidad geográfica vectorial.

²² Traducción del inglés *Mapa de bits*

²³ Un píxel o pixel, plural píxeles, (acrónimo del inglés picture element, 'elemento de imagen')

132.90	133.90	135.60	139.20	140.60	144.40
126.80	128.50	131.40	133.90	135.90	139.90
122.30	124.10	125.80	128.50	131.80	135.60
118.70	119.90	121.90	124.30	128.20	131.50

Fig. I-10 Celdas de una malla raster con sus valores asociados (Oyala, 2012).

La característica principal del modelo *raster*, y que le confiere gran parte de sus propiedades más interesantes, especialmente de cara al análisis, es su sistematicidad. La división del espacio en unidades mínimas se lleva a cabo de forma sistemática de acuerdo con algún patrón, de tal modo que existe una relación implícita entre las celdas, ya que estas son contiguas entre sí, cubren todo el espacio, y no se solapan (Oyala, 2012).

Para definir una capa *raster* hacen falta dos elementos principales:

- La localización geográfica exacta de alguna celda y la distancia entre celdas, para en base a ellas, y en virtud de la regularidad de la malla, conocer las coordenadas de las restantes.
- Un conjunto de valores correspondientes a las celdas.

En el modelo *raster* no se recogen de forma explícita las coordenadas de cada una de las celdas, sino tan solo los valores de éstas. No resulta necesario acompañar a dichos valores de un emplazamiento espacial concreto, pues hacen referencia a un elemento particular de la malla, la cual representa una estructura fija y regular.

En el modelo *raster* es común definir el emplazamiento de una única celda (habitualmente la celda superior izquierda), una orientación fija, y una distancia entre las celdas (tamaño de pixel), fig. x. Esto permite, mediante un sencillo cálculo, conocer las coordenadas de todas las celdas sin necesidad de almacenarlas.

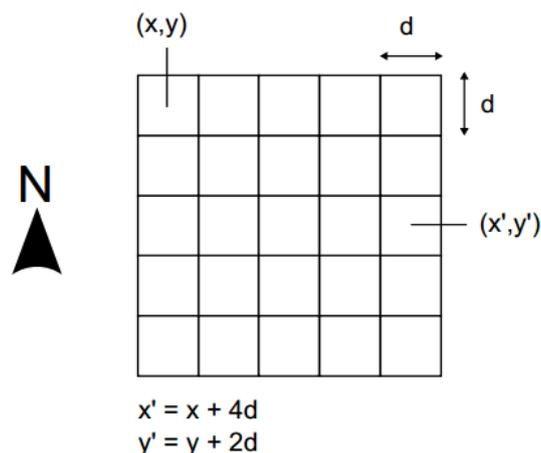


Fig. I-11 Estructura regular de la malla raster. Localización de una celda base (x, y) , tamaño de celda d . (Oyala, 2012).

El formato *raster* es especialmente adecuado para el análisis de la información geográfica, de manera particular cuando ésta información es de tipo continuo. Esto es así a causa de la característica principal de las capas de tipo *raster*, su estructura sistemática. Si a esta le sumamos la regularidad utilizada para su representación (celdas cuadradas regulares), tenemos un modelo óptimo para el análisis.

Imágenes

Un caso especial de capa *raster* son las imágenes, tanto si estas proceden de un sensor digital o bien han sido escaneadas; los sensores correspondientes generan una estructura en forma de malla que se ajusta al modelo de representación *raster*.

Las imágenes con las que se trabaja en un SIG no difieren de las que tomamos con una cámara digital, salvo en el hecho particular de que representan una porción de la superficie terrestre dentro de un sistema de coordenadas dado, pero la estructura es la misma: una malla de celdas (píxeles).

Otra particularidad de las imágenes es la presencia de bandas. Los valores recogidos en las imágenes indican de forma general la reflectancia en una determinada longitud de onda. Puesto que el espectro de radiación de la luz puede subdividirse en distintos grupos, los sensores que toman estas imágenes recogen varias capas, una para cada uno de estos grupos. En lugar de almacenarse como un conjunto de capas separadas, es más frecuente que lo hagan en una única que contiene varias bandas.

II. FUNDAMENTOS CARTOGRÁFICOS Y GEODÉSICOS

2.1 Elipsoide de referencia y Geoide

Es ampliamente difundida la idea de que la forma de la Tierra es redonda, y muchas veces se la representa en forma de una esfera perfecta. Sin embargo, en realidad, la Tierra no es una esfera perfecta, ya que su propia rotación ha modificado esa forma y ha provocado un achatamiento en los polos. Por lo tanto, la forma de la Tierra es un esferoide²⁴, en lugar de una esfera.

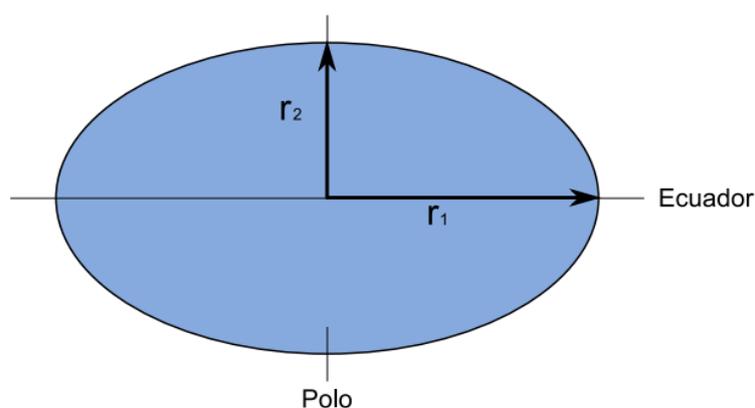


Fig. II-1 Parámetros que definen el elipsoide. (Oyala, 2012)

Como se muestra en la figura 2.1, un elipsoide viene definido por dos parámetros: el semieje mayor y el semieje menor. En el caso de la Tierra estos se corresponden con el radio ecuatorial y el radio polar respectivamente.

El elipsoide es la representación geométrica que más se adapta a la forma real de la Tierra, y por tanto la que mejor permite idealizar ésta, logrando un mayor ajuste. No obstante, también se sabe que la superficie terrestre es bastante irregular, por la presencia de montañas, valles, cañones, playas, etc. Consecuentemente, es necesaria la utilización de un modelo más detallado, el cual se aproxime de mejor manera a la forma de la Tierra.

²⁴ Un esferoide es un elipsoide de revolución, es decir, la superficie que se obtiene al girar una elipse alrededor de uno de sus ejes principales.

Este modelo es conocido como Geoide, y tiene la característica que en cualquier punto en el globo terrestre, el geoide puede ser mayor o menor que el esferoide.

Otra particularidad del geoide reside en que en todos sus puntos la dirección de la gravedad es perpendicular a su superficie. En la figura 2.2 muestra un ejemplo de las relaciones entre la esfera, elipsoide y geoide.

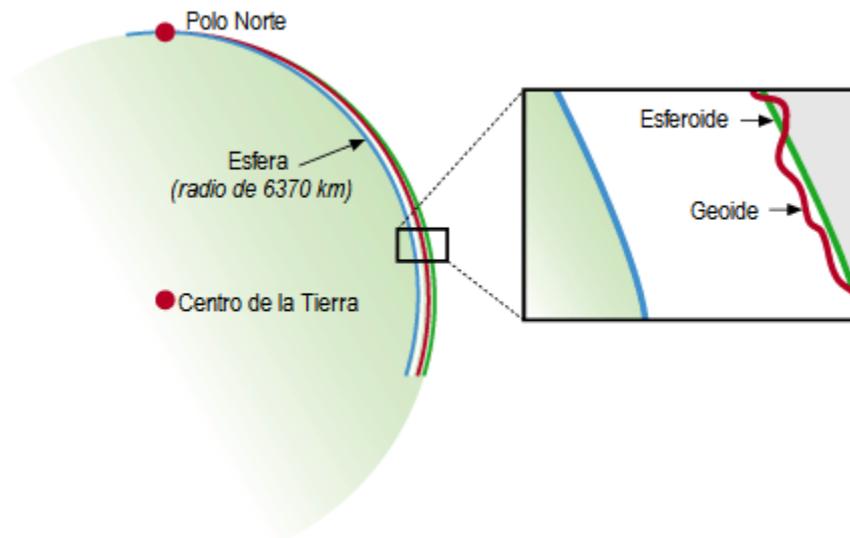


Fig. II-2 Métodos para describir la forma de la Tierra. (Tyler, 2005)

Una vez que se dispone de una expresión teórica para la forma de la Tierra, el siguiente paso es la determinación de los parámetros que definen ésta. En el caso de utilizar la esfera, hay que calcular su radio. En el caso de asumir el elipsoide como forma de referencia, deben determinarse las medidas de los semiejes menor y mayor.

No en todos lugares y en todas las circunstancias se emplea un mismo elipsoide caracterizado por unos valores r_1 y r_2 idénticos. Esto es debido principalmente al hecho de que un determinado elipsoide no se adapta de modo igualmente preciso a todas las regiones terrestres, y el elipsoide que proporciona un mejor ajuste para un área dada (por ejemplo, un continente o país) puede no ser el mejor en otra zona de la Tierra alejada de la primera.

A esto debe sumarse que los esfuerzos iniciales por determinar la forma de la Tierra y los parámetros del elipsoide de referencia fueron realizados en tiempos en los que la comunicación entre distintos puntos de la superficie terrestre no era la misma que hoy en

día. De este modo, los geodestas de Europa tomaban sus datos y ajustaban a estos sus elipsoides, mientras que los de América hacían un trabajo similar y obtenían sus propios elipsoides.

Tabla II-1 Elipsoides comunes.

Elipsoide	Radio ecuatorial (m)	Radio polar (m)	Lugar
Clarke 1866	6378206.4	6356583.8	North America
NAD 27	6378206.4	6356583.8	North America
Australian 1966	6378160	6356774.719	Australia
GRS 80	6378137	6356752.314	North America
WGS 84	6378137	6356752.314	GPS (World)
IERS 1989	6378136	6356751.302	Time (World)

La necesidad de trabajar con un elipsoide global para todo el planeta es más reciente, pero ya desde hace casi un siglo se hace evidente que debe realizarse un esfuerzo por homogeneizar el uso de elipsoides, de tal modo que pueda trabajarse con una referencia internacional que facilite el uso de cartografía en las distintas zonas del planeta. Como consecuencia de esto, surgen los primeros elipsoides generales (en contraste con los elipsoides locales), los cuales, además de buscar un ajuste óptimo, han de cumplir las siguientes características:

- El centro de gravedad terrestre y el del elipsoide deben coincidir.
- El plano ecuatorial terrestre y el del elipsoide deben coincidir.

El elipsoide WGS 84 es muy empleado en la actualidad, pues es el utilizado por el sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

2.2 El datum geodésico

Cuando se trabaja con un elipsoide general, este se sitúa de tal modo que tanto la posición de su centro de gravedad como su plano ecuatorial coincidan con los terrestres. Por el contrario, cuando el elipsoide es local, estas propiedades no han de cumplirse necesariamente, y el elipsoide por si solo resulta insuficiente ya que se carece de información sobre su posicionamiento con respecto a la superficie terrestre.

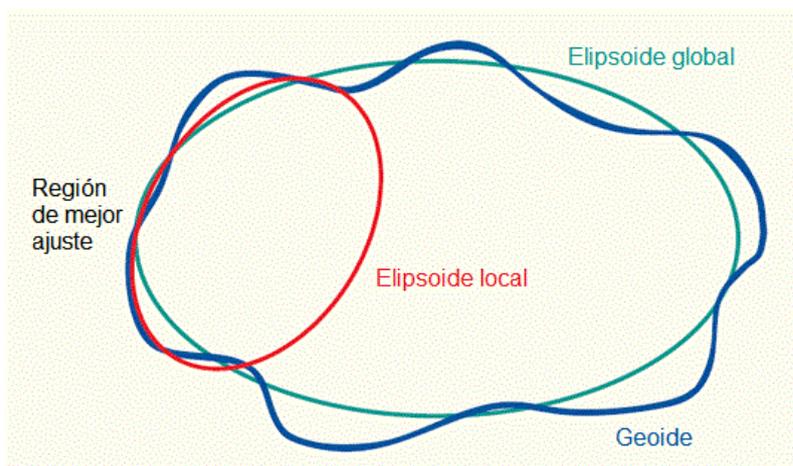


Fig. II-3 Geoide, elipsoide global y elipsoide local. (Knippers, 2009)

Surge así el concepto de datum, que es el conjunto formado por una superficie de referencia (el elipsoide) y un punto en el que éste se enlaza al geoide. Este punto se denomina punto astronómico fundamental, o simplemente punto fundamental, y en él, el elipsoide es tangente al geoide.

Para un mismo elipsoide pueden utilizarse distintos puntos fundamentales, que dan lugar a distintos datum y a distintas coordenadas para un mismo punto.

2.3 Sistemas de Coordenadas

Puesto que para representar la forma de la Tierra se utiliza un elipsoide, lo más lógico es recurrir a los elementos de la geometría esférica, y utilizar estos para definir el sistema de referencia. De ellos derivan los conceptos de latitud y longitud, empleados para establecer las coordenadas geográficas de un punto.

Sin embargo, la geometría plana resulta mucho más intuitiva y práctica que la geometría esférica para realizar ciertas tareas. A raíz de esto, surgen las proyecciones cartográficas, que tratan de situar los elementos de la superficie del elipsoide sobre una superficie plana, y que son las que se emplean para la creación de cartografía. Al aplicar una proyección cartográfica, las coordenadas resultantes son coordenadas cartesianas.

2.3.1 Coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas geográficas es un sistema de coordenadas esféricas mediante el cual un punto se localiza en base a dos valores angulares:

- **Latitud ϕ** : Es el ángulo entre la línea que une el centro de la esfera con un punto de su superficie y el plano ecuatorial. Las líneas formadas por puntos de la misma latitud se denominan paralelos y forman círculos concéntricos paralelos a la línea ecuatorial. Por definición la latitud es de 0° en el ecuador y se incrementa hasta llegar al valor máximo de 90° en los polos. La latitud puede expresarse especificando si el punto se sitúa al norte o al sur, por ejemplo $24^\circ 21' 11''$ N, indica una posición en el hemisferio norte; también se utiliza un signo, en cuyo caso los puntos al Sur de la línea ecuatorial tienen signo negativo.
- **Longitud λ** : Es el ángulo formado entre dos de los planos que contienen a la línea de los Polos. El primero es un plano arbitrario que se toma como referencia y el segundo es el que, además de contener a la línea de los polos, contiene al punto en cuestión. Las líneas formadas por puntos de igual longitud se denominan meridianos y convergen en los polos. Como meridiano de referencia internacional se toma aquel que pasa por el observatorio de Greenwich, en el Reino Unido. Este divide a su vez el globo en dos hemisferios: el Este y el Oeste. La longitud puede expresarse especificando si el punto se sitúa al Este o al Oeste, por ejemplo $32^\circ 12' 43''$ E, o bien utilizando un signo, en cuyo caso los puntos al Oeste del meridiano de referencia tienen signo negativo.

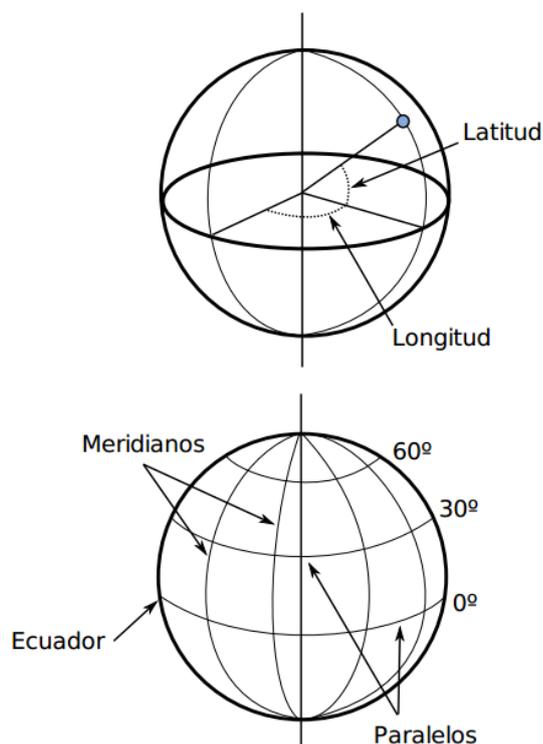


Fig. II-4 Esquema de los elementos del sistema de coordenadas geográficas. (Oyala, 2012)

Las coordenadas geográficas resultan de gran utilidad, especialmente cuando se trabaja con grandes regiones. No obstante, no se trata de un sistema cartesiano, y tareas como la medición de áreas o distancias es mucho más complicada.

2.3.2 Proyecciones cartográficas

En la geometría de dos dimensiones, 2D, el sistema de coordenadas más común es el denominado sistema de coordenadas cartesianas, llamado así en honor al científico francés René Descartes (1596-1650). En la vida cotidiana, estamos acostumbrados a la utilización de este sistema, en el cual la posición de un punto se define mediante las coordenadas x e y .

Por otro lado, si necesitamos crear una representación visual de la información cartográfica, lo habitual es hacerlo en una superficie plana, ya sea a la manera clásica en un pliego de papel o, usando las tecnologías actuales, en un dispositivo tal como una pantalla.

Por todo ello, se deduce que existe una necesidad de poder trasladar la información geográfica a un plano, con objeto de crear cartografía. El proceso de asignar una coordenada plana a cada punto de la superficie terrestre se conoce como proyección cartográfica.

Tipos de proyecciones

Las proyecciones se clasifican según la superficie sobre la que se proyectan los puntos. La proyección puede realizarse sobre una superficie tridimensional, siempre que ésta, a diferencia de la esfera, sea desarrollable²⁵. Las superficies más utilizadas, junto al plano, son el cono y el cilindro. Es así que se diferencian los siguientes tipos de proyecciones:

Cilíndricas. La superficie desarrollable es un cilindro (Figura 2.5). Al proyectar, los meridianos se convierten en líneas paralelas, así como los paralelos, aunque la distancia entre estos últimos no es constante. En su concepción más simple, el cilindro se sitúa de forma tangente al ecuador, aunque puede situarse secante y hacerlo a los meridianos (proyección transversa) o a otros puntos (proyección oblicua).

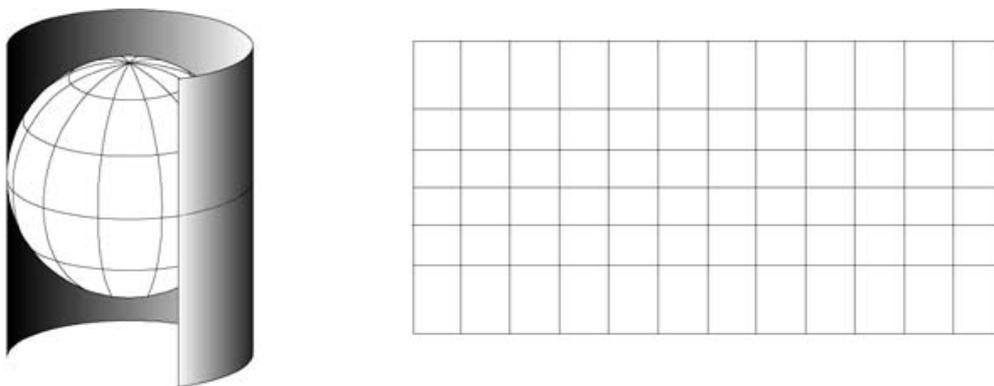


Fig. II-5 Esquema de una proyección cilíndrica. (United Nations, 2009)

Cónicas. La superficie desarrollable es un cono (Figura 2.6), que se sitúa tangente o secante en dos paralelos a la superficie del elipsoide. En este último caso, la distorsión se minimiza en las áreas entre dichos paralelos, haciéndola útil para representar franjas que

²⁵ Superficie desarrollable es aquella que se puede extender sobre un plano sin rotura ni deformación, consecuentemente su área no cambia.

no abarquen una gran distancia en latitud, pero poco adecuada para representación de grandes áreas.

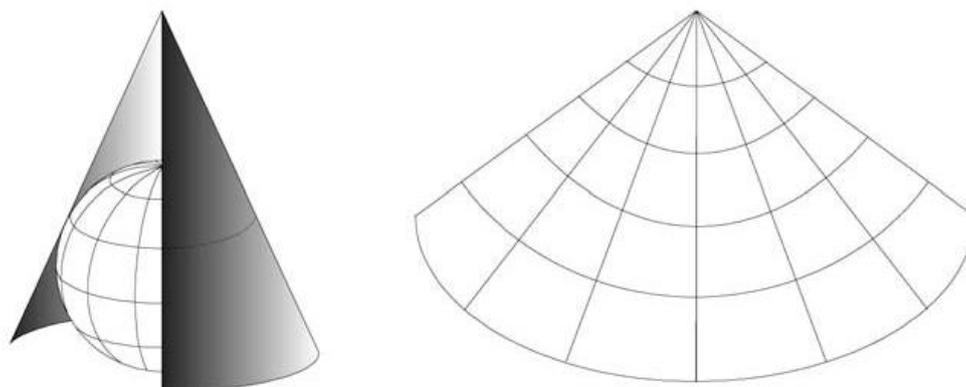


Fig. II-6 Esquema de una proyección cónica. (United Nations, 2009)

Planas o azimutales. La superficie desarrollable es directamente un plano, como se muestra en la figura 2.7.



Fig. II-7 Esquema de una proyección plana. (United Nations, 2009)

2.3.3 La proyección UTM

En la actualidad, una de las proyecciones más extendidas en todos los ámbitos es la proyección universal transversa de Mercator (UTM), la cual dio origen al sistema de coordenadas con su mismo nombre. Este sistema, desarrollado por el ejército de los Estados Unidos, no es simplemente una proyección, sino que se trata de un sistema

completo para cartografiar la totalidad de la superficie de la Tierra. Para ello, esta se divide en una serie de zonas rectangulares, mediante una cuadrícula, y se aplica una proyección y unos parámetros geodésicos concretos a cada una de dichas zonas.

Con el sistema UTM, las coordenadas de un punto no se expresan como coordenadas terrestres absolutas, sino mediante la zona correspondiente y las coordenadas relativas a la zona UTM en la que nos encontremos.

La cuadrícula UTM tiene un total de 60 husos numerados entre 1 y 60, cada uno de los cuales abarca una amplitud de 6° de longitud. El huso 1 se sitúa entre los 180° y 174° O, y la numeración avanza hacia el Este. En latitud, cada huso se divide en 20 zonas, que van desde los 80° S hasta los 84° N. Estas zonas se codifican con letras desde la C a la X, no utilizándose las letras I y O por su similitud con los dígitos 1 y 0. Cada zona abarca 8 grados de longitud, excepto la X que se prolonga unos 4 grados adicionales.

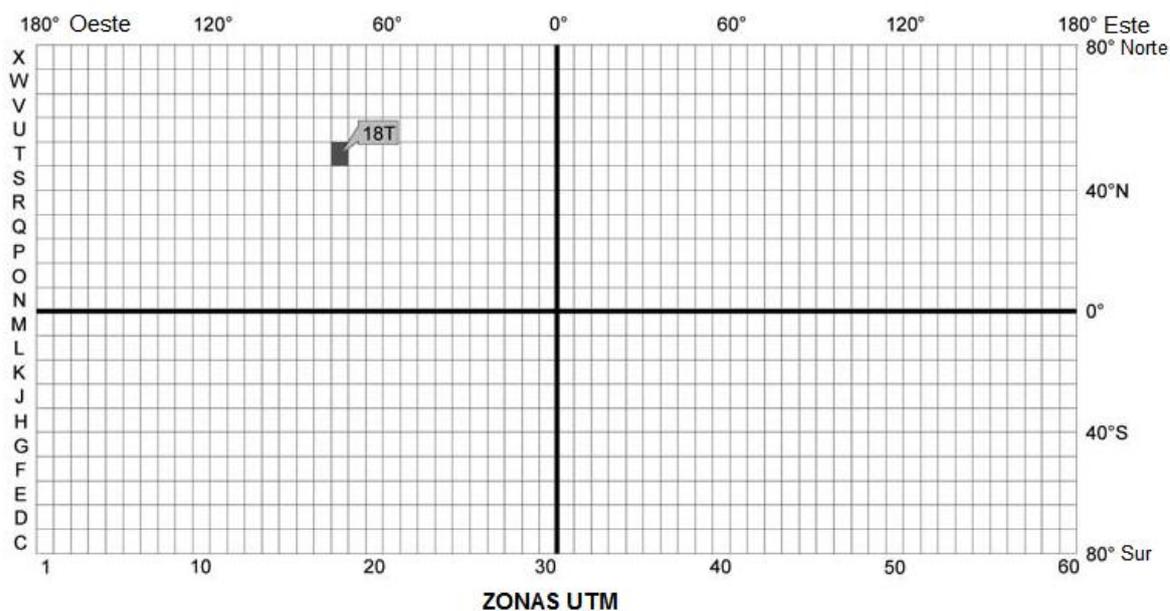


Fig. II-8 Sistema UTM. (United Nations, 2009)

Para evitar la aparición de números negativos, se considera que el origen no tiene una coordenada X de 0 metros, sino de 500000. Con ello se evita que las zonas al Este del meridiano central tengan coordenadas negativas, ya que ninguna zona tiene un ancho mayor de 1000000 metros (el ancho es máximo en las zonas cerca del ecuador, siendo de alrededor de 668 kilómetros). De igual modo, cuando se trabaja en el hemisferio sur

(donde las coordenadas Y serían siempre negativas), se considera que el origen tiene una coordenada Y de 10000000 metros, lo cual hace que todas las coordenadas referidas a él sean positivas.

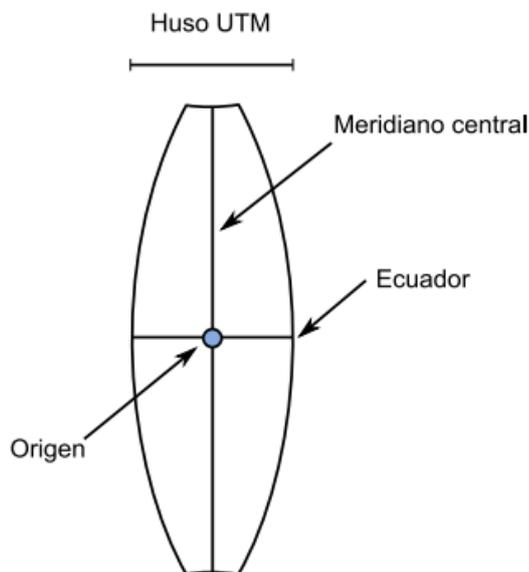


Fig. II-9 Determinación del origen de una zona UTM. (Oyala, 2012)

2.4 La escala

El concepto de escala es fundamental a la hora de trabajar con cartografía, y es uno de los valores básicos que definen toda representación cartográfica.

La escala se expresa habitualmente como un denominador que relaciona una distancia medida en un mapa y la distancia que esta medida representa en la realidad. Por ejemplo, una escala 1:50000 quiere decir que 1 centímetro en un mapa equivale a 50000 centímetros en la realidad, es decir a 500 metros. Conociendo este valor de la escala podemos aplicar sencillas reglas de tres para calcular la distancia entre dos puntos o la longitud de un elemento dado, sin más que medirlo sobre el mapa y después convertir el resultado obtenido en una medida real.

Es preciso indicar que lo anterior es posible siempre bajo las limitaciones que la propia proyección empleada para crear el mapa tenga al respecto.

El concepto de escala no es único, sino que tiene múltiples perspectivas. Por una parte la escala cartográfica, que es la mera relación entre el tamaño en el mapa y la realidad, y

por otra, la escala de análisis u operacional, que es la que define la utilidad de los datos e indica las limitaciones de estos.

Cuando en un SIG aumentamos el tamaño en pantalla de una cierta información geográfica, estamos variando la escala cartográfica, pero no estamos modificando la escala de análisis. Por lo tanto, por mucho que ampliemos no vamos a ver más detalles, ya que para ello sería necesario recolectar más datos.