

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA



**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL  
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**CÉSAR DAVID PALACIOS SÁNCHEZ**

**EDGAR EDENILSON PÉREZ LEMUS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**ARQUITECTO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2019.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR

:

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL

:

**MSc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO

:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO

:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA**

DIRECTOR

:

**ARQ. MANUEL HEBERTO ORTIZ GARMENDEZ PERAZA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**ARQUITECTO**

Título :

**APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por :

**CÉSAR DAVID PALACIOS SÁNCHEZ  
EDGAR EDENILSON PÉREZ LEMUS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ARQ. FRANCISCO ALBERTO ÁLVAREZ FERRUFINO**

San Salvador, Febrero 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ARQ. FRANCISCO ALBERTO ÁLVAREZ FERRUFINO**

Esta disertación escrita es dedicada:

**A DIOS**, el que sobre todas las cosas, siempre está presente en mis momentos enigmáticos, quien bendice todos los días de mi existencia, alguien quien permitió ver sus grandes maravillas durante este extenso y fructífero proceso, que hoy me concedió llegar a la cima gloriosa de mi labor estudiantil.

A mi madrecita:

Doña **María Adela Lemus de Pérez**, quien desde mi niñez me estampa la educación hogareña inculcándome valores espirituales y morales, cariño maternal, a hínco e impulsos para superar flaquezas e incertidumbres.

A mi padre:

Señor **Jesús Edgardo Perez Hernández**, al que admiro, y es la fuente de mi inspiración por su fortalecido espíritu de lucha. Quien me impulsa seguir adelante para lograr el éxito en mis metas positivas iniciadas.

A mi hermano:

**Kennedy Samuel Perez Lemus**, el mejor amigo y compañero de siempre, resolviendo positivamente dos faenas, sus estudios y la música, y de quien nuestros padres y yo, esperamos continúe cosechando éxitos

Finalmente quiero dedicar esta tesis a:

**Lic. Willem Klaas de Vidts Delgado**, quien en su apoyo absoluto e incondicional, me extendió su diestra de amigo, consejos oportunos y amistad plena, saturados de abundante filosofía profesional.

**por:** Edgar Edenilson Pérez Lemus.

En esta tesis manifiesto mis agradecimientos a:

El **ing. Ricardo Humberto Herrera Mirón**, mi primer maestro, amigo y conductor, de quien aprendí a planificar y distribuir mi tiempo diariamente, y cuyas enseñanzas dictadas se reflejan en mi documento de graduación.

El Señor Director de la Escuela de Arquitectura, **Arq. Manuel Herberto Ortiz Garméndez**, quien con su sapiente crítica profesional encausó el desarrollo del tema en nuestra disertación escrita. Su apoyo incondicional y disponibilidad en todo instante que fue consultado, es encomiable.

Nuestro Asesor, **Arq. Francisco Alberto Álvarez Ferrufino**, quien desde sus inicios nos instruyó y encausó entusiastamente por el camino adecuado para el desarrollo lógico de nuestro instrumento de graduación.

El **Arq. Arquimides Andrade Hernández**, quien desde el inicio de mis estudios arquitectónicos me amparó con sus experiencias profesionales, aconsejándome de cómo lograr mis inquietudes de graduando.

**Ing. Rogelio Godínez**, por sus asesoramientos en la selección de criterios pertinentes relacionados con la topografía.

**César David Palacios**, compañero de tesis quien desde el inicio de este proyecto se mostró abierto a las ideas demostró un gran compromiso y profesionalismo para desarrollar este documento.

**Francis Javier torres**, Compañero y amigo quien estuvo siempre en la disposición de ayudarme y me brindó su apoyo en las dificultades a lo largo de todo este extenso proceso.

**Por:** Edgar Edenilson Pérez Lemus

Primeramente, le doy gracias a Dios por darme fortaleza e inteligencia para culminar lo que parecía imposible de lograr, no me alcanzan las palabras para darte las gracias y por tu fidelidad en los momentos buenos y malos, solamente te digo **GRACIAS DIOS.**

A mi madre **Mirna Yanira Sánchez Vásquez** por haber forjado la persona que soy, que a pesar de adversidades hizo todo lo posible para brindarme una buena educación, poder cursar una carrera universitaria y por ese ánimo de nunca rendirme de culminar lo que inicie, le doy gracias a Dios de haberme dado una madre tan especial, esforzándose ella al máximo para poder culminar mi carrera universitaria.

Agradezco a mis tres hermanos **Luisa, Félix** y mi hermano gemelo **Manolo** por estar siempre a mi lado animándome y apoyándome en los momentos cuando más los necesite, a aquellas personas que de una manera directa e indirectamente me ayudaron a salir adelante a lo largo de mis estudios universitarios, a él **Arq. Francisco Isancio Flores Valle** por ser uno de mis mentores a lo largo de la carrera universitaria y transmitirme sus enseñanzas, conocimientos sin esperar nada a cambio teniendo una gran paciencia conmigo desde cuando lo conocí, a **Edgar Lemus** por haberme aceptado como compañero de Trabajo de Graduación cuando se lo pedí, formando un buen grupo de trabajo en el cual adquiriré nuevos conocimientos, **MUCHAS GRACIAS.**

**Dedicatoria por:** César David Palacios Sánchez.

Agradezco a **Dios**, ya que me permitió culminar una de las etapas más importantes de mi vida, a la Universidad de El Salvador por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios académicos y ser un profesional al concluir el Trabajo de Graduación. A mi familia por ese respaldo incondicional en el logro de este gran objetivo, por creer en mí y apoyarme en todo aspecto hasta el final.

A el asesor del Trabajo de Graduación y Docente, **Arq. Francisco Alberto Álvarez Ferrufino** cuya paciencia, observaciones, consejos y retroalimentaciones fueron de gran importancia para finalizar el Trabajo de Graduación y ser un orientador para culminar esta gran aventura que parecía muchas veces imposible de alcanzar.

Doy gracias al Director de la Escuela de Arquitectura el **Arq. Manuel Garmendez** por sus observaciones, recomendaciones y su apoyo incondicional a lo largo del Trabajo de Graduación, a la **Arq. Gilda Benavides** por sus asesorías y retroalimentaciones para mejorar nuestro trabajo, a todos los Docentes de la Escuela de Arquitectura que me transmitieron sus conocimientos para culminar la mejor carrera universitaria que existe, a todos mis familiares, amigos, vecinos y compañeros que sin ellos no hubiera sido posible alcanzar este logro que es muy importante en mi vida.

**Agradecimientos por:** César David Palacios Sánchez.

## **INTRODUCCIÓN**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta tecnológica innovadora para dar respuesta a problemáticas de planificación urbana, arquitectónica en sectores que carecen de un orden urbano, debido al constante crecimiento poblacional y demanda de nuevas áreas para el desarrollo de las ciudades.

Por esta razón el presente trabajo busca ser un instrumento que contribuya a la optimización y generación de un control de infraestructura y vegetación en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador para que con ello se pueda lograr un crecimiento ordenado de la Facultad mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El documento denominado “Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador” se divide en capítulos que se conforman en Formulación, Investigación y Aplicación SIG en la facultad de Ingeniería y arquitectura.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>6</b>
<b>FORMULACIÓN</b> .....	<b>6</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1. 2 JUSTIFICACIÓN. ....	7
1.3 OBJETIVOS. ....	8
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2 Objetivos Específicos .....	8
1.4 LÍMITES Y ALCANCES. ....	9
1.4.1 Límites.....	9
1.4.2 Alcances.....	10
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO. ....	11
1.5.1 Esquema Metodológico. ....	11
1.5.2 Formulación:.....	12
1.5.3 Investigación: .....	12
1.5.4 Diagnóstico y Aplicación SIG en la FIA: .....	12
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>13</b>
2.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ....	13
2.1.1 Historia de los SIG.....	13
2.1.2 Orígenes de los SIG. ....	14
2.1.3 Concepto SIG.....	18
2.1.4 Componentes de un SIG. ....	20

2.1.4.1 Datos.....	20
2.1.4.2 Software.....	21
2.1.4.3 Hardware.....	21
2.1.4.4 Recurso Humano.....	22
2.1.4.5 Procedimientos.....	22
2.1.5 Aplicaciones de un SIG.....	23
2.1.6 Tipos de Datos SIG.....	25
2.1.6.1 SIG Ráster.....	26
2.1.6.2 SIG Vectorial.....	27
2.1.7 Plataformas Informáticas.....	30
2.1.7.1 ArcGIS.....	30
2.1.7.2 Quantum GIS.....	31
2.1.7.3 Gvsig.....	32
2.1.8 SIG en El Salvador.....	32
2.2 GEODESIA.....	35
2.2.1 Concepto.....	35
2.2.2 Divisiones de la Geodesia.....	36
2.2.2.1 Astronomía Geodésica.....	36
2.2.2.2 Geodesia Geométrica.....	36
2.2.2.3 Geodesia Física.....	37
2.2.2.4 Geodesia Espacial.....	37
2.2.3 Conceptos básicos de la geodesia.....	38
2.2.3.1 Elipsoide.....	38
2.2.3.2 Geoide.....	39
2.2.3.3 Datum.....	42
2.2.4 Sistemas Geodésicos de Referencia.....	44
2.2.4.1 Datum Europeo de 1950 (ED50).....	45
2.2.4.2 Sistema Geodésico Mundial que data de 1984 (WGS84).....	46

2.2.4.3. Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres: el International Terrestrial Reference Frame (ITRF) ....	47
2.2.4.4. Sistema de Referencia Terrestre Europeo (ETRS89) y REGCAN95 .....	48
2.2.4.5 Datum de América del Norte de 1927 (NAD 27) .....	49
2.2.4.6 Sistema geodésico de referencia en El Salvador (SIRGAS-ES2007) .....	49
2.3 SISTEMA DE COORDENADAS. ....	51
2.3.1 Concepto. ....	51
2.3.2 Tipos de Coordenadas. ....	51
2.3.3 Coordenadas Geográficas.....	52
2.3.3.1 Paralelos. ....	53
2.3.4 Proyecciones Cartográficas.....	57
2.3.4.1 Proyecciones Cilíndricas.....	59
2.3.4.2 Proyecciones Cónicas.....	60
2.3.4.3 Proyecciones Planas o Azimutales. ....	61
2.3.5 Sistema UTM.....	62
2.3.6 Proyección Cónica Conformal De Lambert .....	65
2.4 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	67
2.4.1 Concepto. ....	67
2.4.2 Organización del Sistema GPS. ....	72
2.4.2.1 Segmento espacial.....	72
2.4.2.2 Segmento de control. ....	74
2.4.2.3 Segmento Usuario. ....	76
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>77</b>
<b>DIAGNÓSTICO Y APLICACIÓN SIG EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. ....</b>	<b>77</b>
3.1 PLANO DE BORDES, DEFINICIÓN DE CUADRANTES Y CLAVE CATASTRAL EN MAPA GENERAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.....	77
3.2 LEVANTAMIENTO DE BBDD (ÁRBOLES, ARBUSTOS, POSTES, LUMINARIAS, INFRAESTRUCTURA, EDIFICIOS Y ZONAS VERDES) .....	79

3.2 INTEGRACIÓN DE BASES DE DATOS Y PLANOS. ....	103
3.3 CREACIÓN DE PLANO CONJUNTO SIG DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (FIA) EN (VEGETACIÓN, INFRAESTRUCTURA Y ZONAS VERDES).....	104
3.4 APLICACIÓN DE PLANO DE PROPUESTAS PARA ZONAS VERDES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA (FIA) .....	105
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>111</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	111
4.2 RECOMENDACIONES.....	112
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>113</b>
BIBLIOGRAFÍA GENERAL: .....	113
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	<b>114</b>

# CAPITULO I

## FORMULACIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) está generando nuevas maneras de realizar investigaciones, innovando diferentes áreas y dando como resultado muchas respuestas a problemas que originalmente no fueron considerados.

En los últimos años el crecimiento urbanístico, tecnológico y la sociedad estudiantil dentro de la Universidad de El Salvador, ha tenido un crecimiento poblacional y demanda de áreas, laboratorios e inmuebles, afectando la eficiencia en la gestión dentro del campus universitario.

El interés de establecer un Trabajo De Graduación de esta naturaleza se basa en crear dentro de la UES y específicamente a la FÍA, la creación de bases de datos de mobiliario urbano, infraestructura y vegetación existente que actualmente es inexistente.

Por ello, se desea aplicar un estudio en el que un SIG ayude a tener otra visión de un ordenamiento al través de un mapa que esté totalmente georreferenciado y les disminuya el trabajo al momento de realizar estudios a sectores de edificios, aceras, arriates, postes, árboles, mobiliario. O una búsqueda en la red de un cálculo de área, presupuesto, dimensión y ubicación que este dentro de la zona a desarrollar, entre muchas funciones adicionales que un plano georreferenciado y la base de datos ayudará al Arquitecto, Ingeniero o estudiante encargado de prestar un servicio, o de realizar un estudio en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA)

## **1. 2 Justificación.**

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el presente estudio está basado en la optimización y un mejor control para la infraestructura y vegetación de la Universidad de El Salvador (UES), en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), ya que esta tecnología aplicada mejorará las condiciones urbanas y su entorno.

Así también, disminuirán tiempo en planificación de proyectos de mobiliario urbano, circulación de tráfico, vegetación existente, actualización de infraestructura y presupuestos.

Desde el punto de vista teórico, el conocimiento de la incidencia de la variable “Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la FIA” va a permitir aumentar la eficiencia de la Universidad y los que emplean este tipo de sistemas tecnológicos, basados en la información geográfica.

Por consiguiente, el aporte práctico viene a ser la eficacia y el control para la infraestructura, vegetación y la propuesta de áreas con potencial para ser desarrollada en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), logrando beneficios que permitirán un orden al crecimiento de la facultad y la optimización de sus costos y tiempos de ejecución.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Contribuir en la optimización y el control de la infraestructura para el manejo urbanístico de la Universidad de El Salvador (UES), en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) A través de la aplicación de los de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el desarrollo de los espacios urbanos.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Analizar con las herramientas de SIG los problemas urbanísticos y de infraestructura existentes, que impiden un mejor control para el orden del sistema actual de información de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA).

Crear el Sistema de Información Geográfica (SIG) para el control de la infraestructura y la parte urbanística de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) basado en un programa de SIG de código abierto.

## **1.4 Límites y Alcances.**

### **1.4.1 Límites.**

Debido a que el levantamiento mediante imágenes satelitales es de alta tecnología y su costo es muy elevado, (ortofoto y levantamientos planimétricos y altimétricos) se deberá analizar mediante mapas existentes y tomados como base para la creación de estos.

Los análisis y levantamientos de información se realizarán únicamente en la Universidad de El Salvador y serán limitadas a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Teniendo como límites.

Norte: Calle circunvalación Universitaria,

Sur: Facultad de Agronomía y zona verde delimitada en planos

Este: Calle circunvalación Universitaria.

Oeste: Polideportivo, facultad de humanidades y comedor universitario

## **1.4.2 Alcances.**

### **1.4.2.1 Alcance Académico:**

Se elaborará un documento para la implementación del proyecto, donde incluirá: Una investigación de los SIG, Bases de Datos, Tablas Resumen y Planos de Cuadrantes Trabajados, Instalaciones Hidráulicas, Zonas Verdes, Edificios, Bordes, Áreas de Estudios Propuestas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

### **1.4.2.2 Alcance Social:**

Dentro de los Estudiantes, Docentes y Autoridades Universitarias de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura este proyecto servirá para consultar cualquier información con respecto a la vegetación, infraestructura y zonas verdes de la Facultad ya sea para trabajos académicos o para el desarrollo de proyectos de infraestructura.

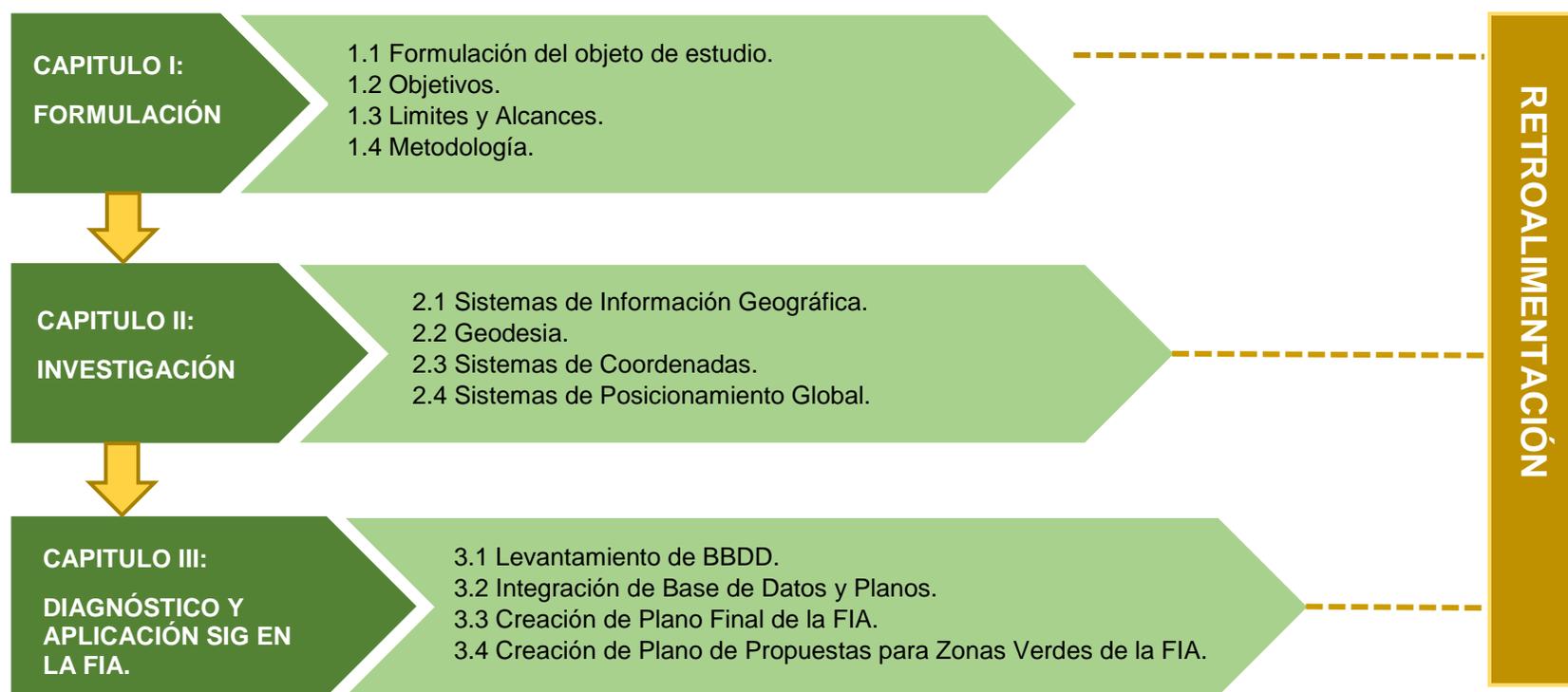
### **1.4.2.3 Alcance Ambiental:**

En este proyecto se pretende que, por medio del Sistema de Información Geográfica en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, esta herramienta tecnológica se utilice en futuros proyectos a desarrollarse en la Facultad para preservar la vegetación existente reduciendo en lo mayor posible la tala de árboles.

## 1.5 Metodología de Trabajo.

### 1.5.1 Esquema Metodológico.

El proceso metodológico nos ayudara a establecer los capítulos que se llevaran a cabo durante el desarrollo del proyecto, el diagrama siguiente muestra los capítulos que conforman el proyecto y los componentes de cada uno.



### **1.5.2 Formulación:**

Es la etapa inicial de la investigación, la cual consiste en definir y justificar el problema. También se definen los límites y alcances que tendrá el documento en su desarrollo. Esta etapa es fundamental ya que es donde se concibe el proyecto a desarrollar.

### **1.5.3 Investigación:**

En esta etapa, es donde se recopilará la información necesaria de los Sistemas de Información Geográfica, Geodesia, Sistemas de Coordenada y Sistemas de Posicionamiento Global, mapas bases, para el respectivo análisis de la información, esto para tener una visión más clara y definida del tema a desarrollar, con estos conceptos teóricos se deberán aplicar para brindar una respuesta certera, precisa y efectiva del producto final.

### **1.5.4 Diagnóstico y Aplicación SIG en la FIA:**

En la última etapa es donde se creará y desarrollará el Sistema de Información Geográfica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en esta etapa se generará primeramente el Levantamiento de las Bases de Datos, el cual consiste en realizar los levantamientos de todos los atributos que se han considerado en las etapas de investigación y diagnóstico, para con ello obtener toda la información de las capas de Árboles, Arbustos, Postes, Luminarias y Zonas Verdes; con esta información recabada se crean las Bases de Datos para integrarlas y crear el Sistema de Información Geográfica. Teniendo las Bases de Datos en el Sistema de Información Geográfica se desarrollan los Planos de Vegetación por Cuadrante, de Instalaciones, Zonas Verdes y Áreas Propuestas con su respectiva información en cada plano.

## **CAPITULO II**

### **INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 Sistemas de Información Geográfica.**

##### **2.1.1 Historia de los SIG.**

El desarrollo sufrido por los SIG desde sus orígenes hasta nuestros días es enorme. La popularización de las tecnologías y los esfuerzos de desarrollo llevados a cabo por un amplio abanico de ciencias beneficiarias de los SIG, todos han contribuido a redefinir la disciplina e incorporar elementos indispensables. No obstante, los componentes principales que identifican el núcleo principal de un SIG se mantienen a lo largo de todo ese desarrollo, y es su aparición la que define el momento inicial en el que podemos situar el origen de los SIG.

Este momento surge al inicio de la década de los sesenta como resultado de unos factores que convergen para dar lugar al desarrollo de los primeros SIG. Estos factores son principalmente dos: la necesidad creciente de información geográfica y de una gestión 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, ya que el interés en el estudio y conservación del medio se incrementa paulatinamente también hoy en día, y ello crea una situación ideal para la evolución de las técnicas y herramientas empleadas, muy particularmente los SIG. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>)

### **2.1.2 Orígenes de los SIG.**

Las bases para la futura aparición de los SIG las encontramos algunos años antes de esa década de los sesenta, con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía que parecen predecir las necesidades futuras que un manejo informatizado de esta traerá. Los trabajos desarrollados por John K. Wright en la Sociedad Geográfica Americana, en especial la publicación de su obra *Elements of Cartography* en 1953, son particularmente importantes. Obras como esta van ampliando el campo de la geografía cuantitativa hasta que alcanza un nivel donde puede plantearse, una vez que la informática alcanza una cierta madurez, la unión de ambas disciplinas.

La primera experiencia relevante en esta dirección la encontramos en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in-mapa out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del software que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento.

El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, al auspicio del Departamento Federal de Energía y Recursos. Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG.

Es en ese momento cuando se acuña el termino, y Tomlinson es conocido popularmente desde entonces como (el padre del SIG).

La aparición de estos programas no solo implica la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de técnicas nuevas que hasta entonces no habían sido necesarias. La más importante de ellas es la codificación y almacenamiento de la información geográfica, un problema en absoluto trivial que entonces era clave para lograr una usabilidad adecuada del software.

Simultáneamente a los trabajos canadienses, se producen desarrollos en Estados Unidos, en el seno del Harvard Laboratory, y en el Reino Unido dentro de la Experimental Cartography Unit. Ambos centros se erigen también como principales desarrolladores de software para la producción, manejo y análisis de información geográfica durante aquellos años.

En el Harvard Laboratory, va la luz en 1964 SYMAP, una aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual se corresponde a grandes rasgos con el enfoque que conocemos hoy en día como vectorial. (Ver imagen 1) puede verse que los resultados cartográficos de este software son aun de poca calidad. No obstante, el interés que despertaron las novedosas capacidades del programa para la generación de cartografía impulsó el desarrollo posterior y la evolución hacia sistemas más avanzado.

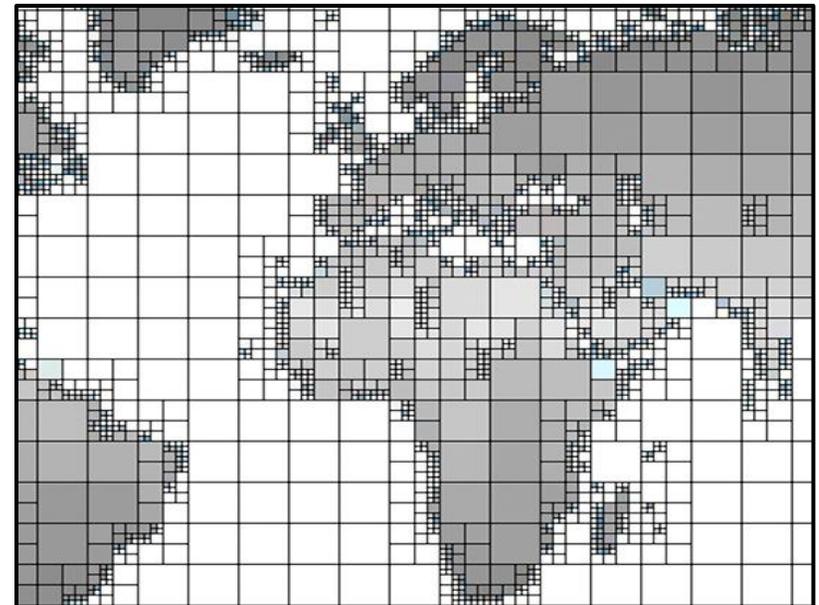
En 1969, utilizando elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton, también en el Harvard Laboratory, desarrolla GRID, un programa en el que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de los programas, pero no para la entrada y almacenamiento de datos. Son los inicios de los Sistemas de Información Geográfica ráster. <sup>2</sup>

**Imagen 1.** Mapa generado por SYMAP mediante Puntos



Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Historia.html>)

**Imagen 2.** Mapa generado por sistema GRID por medio de cuadrículas

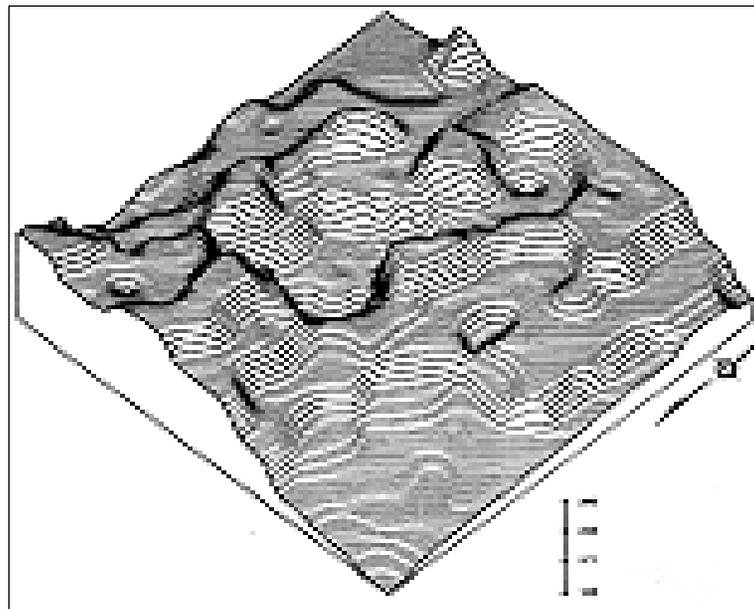


Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Historia.html>)

<sup>2</sup> Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>)

SYMAP evoluciona y nuevos programas aparecen, tales como SYMVU (Ver imagen. 3) con capacidad de representación tridimensional, o CALFORM, con nuevas capacidades de representación y de generación de resultados impresos. GRID da lugar a IMGRID (Interactive Manipulation GRID), que sentará la base para el trabajo de Dana Tomlin con su paquete MAP, el cual incluye todos los elementos que hoy en día son imprescindibles para el análisis ráster.

**Imagen 3:** Representación tridimensional creada con SYMVU



Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Historia.html>)

Si la década de los sesenta es la de los pioneros y las primeras implementaciones, la de los setenta es la de la investigación y el desarrollo. A partir de los SIG primitivos se va dando forma a un área de conocimiento sin duda con un gran futuro, y se elabora una base sólida de conocimiento y de herramientas aptas para un uso más genérico

Sin haber entrado aun en la época del uso masivo y generalizado, los primeros paquetes comienzan a distribuirse y pasan a incorporarse a la comunidad cartográfica, lejos ya de ser el producto de unos pocos pioneros.

A partir de este punto, el campo de los SIG recorre sucesivas etapas hasta nuestros días evolucionando muy rápidamente ante la influencia de numerosos factores externos.<sup>3</sup>

### **2.1.3 Concepto SIG.**

Un Sistema de Información Geográfica (en inglés GIS, siglas de Geographical Information System).

Según, Bosque Sendra (2008.), un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

En este sentido, y teniendo en cuenta el concepto anterior, se puede definir un SIG, como un sistema informático que permite asociar todo tipo de información a una ubicación geoespacial concreta, es decir, un sistema mediante el cual, la información disponible esta geo-referenciada en un punto, lo que significa que permite conocer al usuario a que punto exacto del globo terrestre está asociada cierta información. Esto, se consigue por medio del uso de las coordenadas geográficas.

---

<sup>3</sup> Fuente: (<http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>)

Del mismo modo, Goodchild Michael (1991) define el SIG como un sistema que utiliza una base de datos espacial para generar respuestas ante preguntas de naturaleza geográfica.

En la misma línea, también se puede afirmar que un SIG consiste en un conjunto de herramientas para enlazar, almacenar y presentar datos espaciales sobre el espacio físico que nos rodea, es decir, sobre nuestro entorno. Es por ello, que toda la información se despliega desde un mapa base, que consiste en un mapa del globo terráqueo con diferentes opciones de visualización, según las preferencias de los usuarios. En este mapa estarán ubicados todos los puntos a los que se enlaza o asocia la información. Los puntos pueden representar todo tipos de objetos (móviles o estáticos), edificios o elementos estructurales (arboles, infraestructura, mobiliario urbano, áreas complementarias, entre otros).

Por consiguiente, la información que contiene un SIG sobre un punto o ubicación determinada puede ser de múltiples tipos: arquitectónica, urbana, social, económica, cultural, sanitaria, ecológica o demográfica. Cualquier tipo de información puede ser integrada en un SIG. Dentro de los SIG, la información está clasificada por medio de capas que facilitan el análisis y los filtros de información para un mayor control. De este modo, un usuario puede contar en su SIG con tantas capas de información que necesite o considere oportuno, en base a sus necesidades de trabajo.

Debido a esto, se ha tomado la iniciativa de aplicar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar un control integral de todos los elementos urbanos-arquitectónicos que existen en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA).

#### 2.1.4 Componentes de un SIG.

Los elementos principales que conforman un Sistema de Información Geográfica (SIG) son los siguientes (Ver imagen 4)

**Imagen 4.** Representación de elementos de (SIG)



Fuente: (<https://gacano.wordpress.com/fundamentos-basicos-de-los-sistemas-de-informacion-geografica/sigcomponentes/>)

##### 2.1.4.1 Datos.

Los datos son la materia prima para trabajar con los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sin ellos, no podríamos construir productos de información o mapas que nos ayuden a hacer nuestros análisis y tomar las decisiones en nuestra organización. Esos datos podrán venir de diferentes fuentes: GPS, fotografías aéreas, archivos CAD, Archivos CSV.

Esta información geográfica será el inicio de partida para empezar a trabajar con los SIG, los cuales nos permitirán analizar y extraer toda la información posible para plasmarla en un mapa que nos ayude a la interpretación de esa información.

#### **2.1.4.2 Software.**

Para el correcto análisis e interpretación de la información geográfica es necesaria la participación de un software SIG que tenga la potencia y funcionalidad de trabajar con información de este tipo.

Hoy en día existen diversos tipos software SIG en el mercado que nos ponen a disposición herramientas SIG, para el tratamiento de la información geográfica.

#### **2.1.4.3 Hardware.**

Como es lógico para poder utilizar algunos de los softwares anteriormente mencionados es necesario un ordenador o hardware. Dependiendo de las características de esta máquina, obtendremos un mayor o menor rendimientos a la hora de realizar nuestros análisis.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Fuente: (<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/>)

#### **2.1.4.4 Recurso Humano.**

Una vez tenemos los datos y con que analizarlos, necesitamos saber cómo. Aquí es donde entran en juego los profesionales SIG. Y es que el profesional SIG es un perfil muy cuestionado (y demandado) en los últimos años, ya que existen muchas tareas dentro de un análisis SIG, las cuales necesitan de uno o más profesionales. Dentro de los perfiles SIG podemos encontrar dos perfiles fundamentales:

- Técnico/Analista SIG: Profesional que se encarga de realizar análisis geográficos y obtener resultados acordes con la investigación o proyecto que esté llevando a cabo.
- Programador SIG: Desarrollador de partes funcionales de un SIG de escritorio (o de servidor) y/o de aplicativos webs para la visualización de mapas.

#### **2.1.4.5 Procedimientos.**

Un SIG exitoso opera de acuerdo con un buen diseño de reglas de implementación y de negocios, que son los modelos y prácticas de operación únicas para cada organización.

Al igual que en todas las organizaciones relacionadas con la tecnología sofisticada, las nuevas herramientas solo se pueden utilizar con eficacia si se integran adecuadamente en toda la estrategia empresarial de la organización, sino también en la contratación de personal para utilizar la nueva tecnología en el contexto de la organización adecuada.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Fuente: (<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/>)

### **2.1.5 Aplicaciones de un SIG.**

Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- **Científicas**

- Especialmente en ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio.
- Desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo, los que relacionan temperatura con altitud, orientación, etc. A partir de medidas tomadas en el lugar.
- Modelado para cartográfica (aplicación de modelos empíricos para hacer mapas de temperatura a partir de mapas de altitud, orientación, etc.)

- **Empresarial**

- Estrategias de distribución (optimización de las rutas que una flota de camiones debe realizar para distribuir mercancía desde varios almacenes de varios clientes.)
- Localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales situados alrededor.

- **Gestión**

- Cartografía Automatizada.
- Información Pública, Catastro.
- Estudios de Impacto Ambiental.
- Estudios Sociológicos y Demográficos.
- Planificación Comercial.
- Rutas de Transporte.
- Evaluación de Riesgos y Emergencias.
- Equipamiento Social.
- Infraestructura.
- Recursos Mineros.
- Banca.
- Agricultura.
- Ingeniería.
- Cartografía Digital 3D.

- **Planificación Urbana**

La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la planificación urbana ha tenido un gran impacto ya que estos optimizan el control de todos los elementos urbanos y su entorno. Los SIG en el planeamiento de una nueva ciudad permite llevar un mayor control y gestión de los recursos facilitando la planificación con la finalidad de garantizar el éxito de esta.

Los SIG en la planificación urbana, van desde mantener el control del tráfico, el control de redes hasta para la planificación y ordenamiento del entramado urbano (calles, edificios, etc), mejoramiento de los edificios, centros históricos y la adecuación de lugares públicos para diferentes usos.

Por ello se ha tomado la iniciativa de aplicar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), ya que estos generaran un mayor control urbano y de infraestructura en la FIA, logrando una optimización de costos y eficiencia a futuros proyectos que se realizaran en la facultad.<sup>6</sup>

#### **2.1.6 Tipos de Datos SIG.**

Según los Sistemas de Información Geográfica (España, s.f.) los tipos de SIG son una etapa esencial en la construcción de un Sistema de Información Geográfica es la elección del modelo de datos: hay que convertir los datos espaciales que aporta la realidad en digitales comprensibles por el software elegido. En este proceso se crean una serie de reglas que permiten la translación de la realidad espacial compleja a una representación sintética digital y que son básicamente lo que se podría denominar el modelo de datos.

Partiendo de esta premisa se puede afirmar que existen dos grandes fórmulas para estructurar la información real en un sistema informático: el modelo vectorial y el modelo ráster. (Ver imagen 5 y 6).

A su vez, ambos pueden cubrir otros tipos de modelos que tienen más relación con la forma de concebir el espacio que con el modelo lógico utilizado: el modelo orientado a capas y el modelo orientado a objetos. Los anteriores

---

<sup>6</sup> Fuente: (<https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>)

son modelos bidimensionales, la incorporación de una tercera dimensión es posible a partir de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) que pueden ser implementados tanto desde modelos ráster como vectoriales.

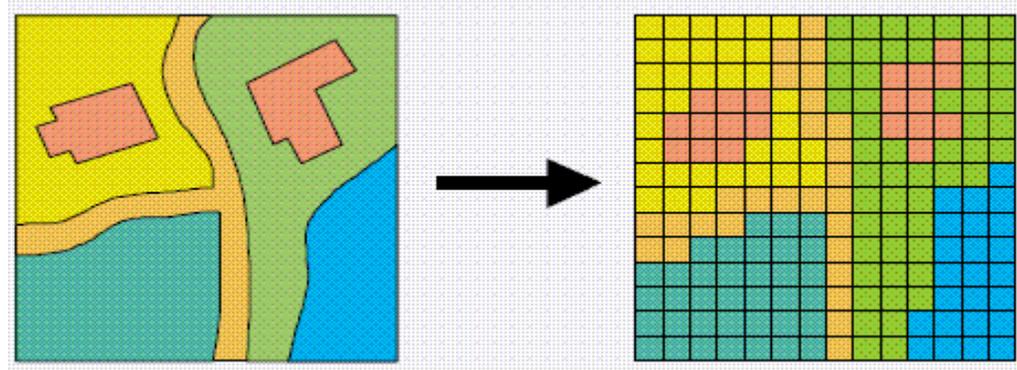
Los sistemas ráster y vectoriales se diferencian en que los vectoriales utilizan líneas para delimitar los objetos geográficos, mientras que los ráster utilizan una retícula regular para documentar los elementos geográficos que tienen un lugar en el espacio.

#### **2.1.6.1 SIG Ráster.**

Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas a las que denomina píxeles (o vóxeles si el modelo es en 3D) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular (el tamaño del pixel es constante) y que se conoce la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los píxeles están geo-referenciada. (Ver imagen 5)

Para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos el tamaño del pixel ha de ser reducido (en función de la escala), lo que dota a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla (más resolución). El modelo de datos ráster es especialmente útil cuando se debe describir objetos geográficos con límites difusos. También está indicado para ciertas operaciones espaciales como las superposiciones de mapas o el cálculo de superficies.

**Imagen 5:** Representación de un modelo ráster.



Fuente: ( <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-basics.htm>)

### **2.1.6.2 SIG Vectorial.**

Un SIG vectorial se define por la representación vectorial de sus datos geográficos. De acuerdo a las peculiaridades de este modelo de datos, los objetos geográficos se representan explícitamente y, junto a sus características espaciales, se asocian sus valores temáticos.

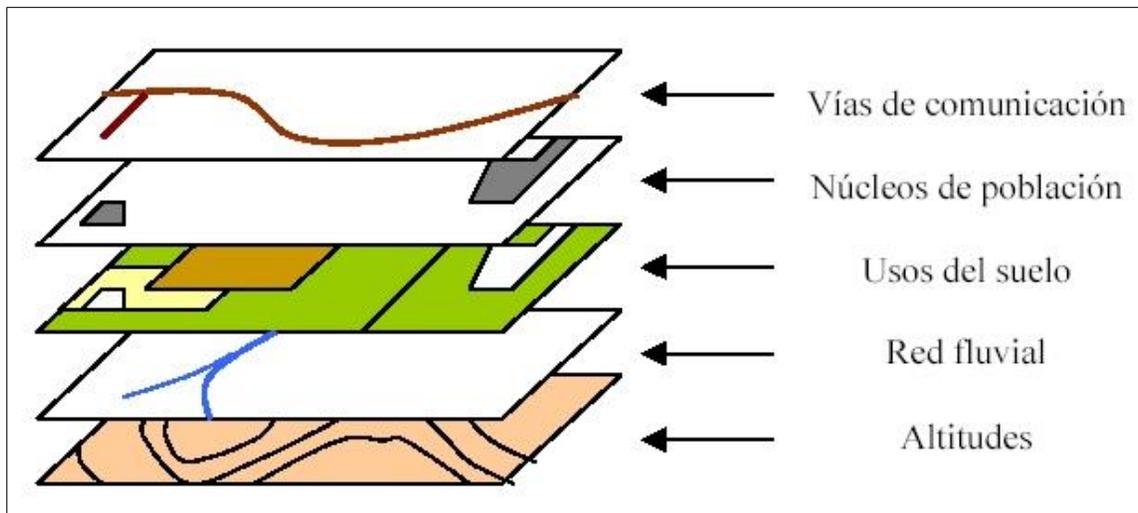
Las unidades básicas de información geográfica en los datos vectoriales son puntos, líneas (arcos) y polígonos (Ver imagen 6).

Cada una de estas se compone de uno o más pares de coordenadas, por ejemplo, una línea es una colección de puntos interconectados, y un polígono es un conjunto de líneas interconectadas.

- **Coordenada:** Par de números que expresa la distancia horizontal a lo largo de ejes ortogonales, o trio de números que mide distancias horizontales y verticales, o n-números a lo largo de n-ejes que expresan una localización concreta en el espacio n-dimensional. Las coordenadas generalmente representan localizaciones de la superficie terrestre.
- **Punto:** Abstracción de un objeto de cero dimensiones representado por un par de coordenadas. Normalmente un punto representa una entidad geográfica demasiado pequeña para ser representada como una línea o como una superficie. Por ejemplo, las ciudades en un mapa del mundo estarán representadas por puntos.
- **Línea:** Conjunto de pares de coordenadas ordenados que representan la forma de entidades geográficas demasiado finas para ser visualizadas como superficies a la escala dada o entidades lineales sin áreas. Son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos y curvas de nivel.

- **Polígono:** Se utilizan para representar elementos geográficos que cubren un área en particular de la superficie de la tierra. Estas entidades pueden representar lagos, límites de parques naturales, edificios, usos de suelo y provincias. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área. <sup>7</sup>

**Imagen 6:** Representación de un modelo vectorial.



Fuente: (<http://enciclopedia.us.es/index.php/Imagen:SIG>)

<sup>7</sup> Fuente: ([http://di002.edv.uniovi.es/~juanrp/docencia/gis/trabajos0708/Sistemas%20de%20informaci%F3n%20geogr%E1fica\\_grupof.pdf](http://di002.edv.uniovi.es/~juanrp/docencia/gis/trabajos0708/Sistemas%20de%20informaci%F3n%20geogr%E1fica_grupof.pdf))

### **2.1.7 Plataformas Informáticas.**

Para el tratamiento de la información geográfica es necesario un software SIG que tenga la capacidad de trabajar con información de este tipo. A continuación, nombraremos los más comunes y/o utilizados.

#### **2.1.7.1 ArcGIS.**

ArcGIS es actualmente una de las tecnologías de referencia en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta tecnología ha sido desarrollada y mejorada por la compañía propietaria ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) desde hace más de 30 años. Actualmente ArcGIS no es solo una tecnología para elaborar mapas, sino que es también una infraestructura basada en la nube que posibilita la colaboración y el uso compartido de la información geográfica.

La tecnología ArcGIS está compuesta de una gama escalable de productos software que comparten la misma arquitectura de componentes y que permiten crear, administrar, manipular, editar, analizar y distribuir la información geográfica. El sistema de ArcGIS está disponible y puede ser adaptado en cualquier lugar a través de navegadores web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.

### **2.1.7.2 Quantum GIS.**

Quantum Gis (QGIS) es un Sistema de Información Geográfica basado en Software Libre disponible para plataformas Linux, Unix, Mac OSX y Windows. Esta herramienta soporta la carga de formatos vectoriales y ráster, así como también formatos de bases de datos espaciales.

Entre las características principales de Quantum Gis se encuentran:

- Soporte a datos vectoriales y ráster.
- Soporte a tablas de datos no espaciales.
- Integración con GRASS.
- Herramientas para la digitalización de información.
- Herramienta impresión de mapas.
- Soporte a WMS y WFS.
- Edición de datos.
- Proyección de datos al vuelo.
- Representación de datos mediante iconos y puntos sobre mapas
- Herramienta para guardar datos en diferentes extensiones.

Otra de las características más interesantes que Quantum GIS posee es la de una Arquitectura extensible basada en un sistema de plugin y extensiones disponibles de herramientas para la manipulación de datos provenientes de GPS, carga de datos desde archivos planos, despliegue de información provenientes de OpenStreetMap, etc.

### **2.1.7.3 Gvsig.**

Gvsig es un Sistema de Información Geográfica que es gratuito. Es un software integrador, capaz de trabajar con información de cualquier tipo u origen, tanto en forma en ráster como vectorial.

Además, permite trabajar con formatos de otros programas como Autocad y Microstation o ArcView. Las herramientas que implementan permiten una gran precisión en edición cartográfica, incluye funciones avanzadas para usos en teledetección, hidrología y otras funciones básicas como diseño de impresión y soporte de los formatos más populares, tanto vectoriales como de imágenes.

Gvsig es una aplicación de la que ya existen varias versiones, y aunque su funcionalidad está prácticamente cubierta y se ha convertido en una referencia dentro de las tecnologías SIG, continua actualmente en fase de desarrollo y perfeccionamiento, siempre bajo los principios de compartir y elaborar.<sup>8</sup>

### **2.1.8 SIG en El Salvador.**

El desarrollo de los SIG en El Salvador tiene un avance considerable en los últimos años. Hay que destacar el papel de liderazgo de los organismos gubernamentales en sus diferentes niveles, pues son quienes han tomado la iniciativa. Así, son pilares básicos en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en El Salvador las siguientes instituciones.

---

<sup>8</sup> Fuente: (<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/?fbclid=IwAR35JKWvxfYbmKnWx0izRKCwLYUFilzkjwWjv7N1wFyyzi51DVni35NSeb4>)

El CNR es el ente autorizado por el Estado, siendo a través de la Dirección del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional el responsable de dar certeza oficial de la información geográfica, cartográfica y catastral del territorio nacional. Mediante el Decreto No. 462 de la Asamblea Legislativa, el CNR asume todas las funciones encomendadas al Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN).

En 1946 es fundado el Instituto Geográfico Nacional (IGN), con el nombre de Oficina del Mapa, fue formada a insinuación del Gobierno de los Estados Unidos de América, para la preparación del mapa básico de El Salvador. En el año de 1996, el Instituto Geográfico Nacional pasa a formar parte del Centro Nacional de Registro (CNR), el cual fue creado el 5 de diciembre de 1994 por decreto ejecutivo; el cual nace debido a la necesidad de modernizar el sistema de administración de tierras de El Salvador.

Para llevar a cabo las diferentes actividades del Catastro al inicio del Proyecto de Modernización, el IGN contaba con equipos ya obsoletos; pero con la creación del Centro Nacional de Registros son fortalecidas las instituciones involucradas, por lo que bajo el marco de integración del proceso registral y catastral, se consideró conveniente que las funciones de mantenimiento catastral pasaran a depender administrativamente de la Dirección de Registros, desligándose del Instituto Geográfico Nacional.

El Proyecto de Modernización permitió que tanto la Gerencia de Catastro como la parte restante del Instituto Geográfico Nacional fueran adquiriendo nuevas tecnologías e integrando las nuevas herramientas a sus procesos; el 30 de septiembre de 1999, la Gerencia de Catastro se transforma a Dirección.

Desde ese momento, el catastro ya no es visto solo como apoyo al Registro de la Propiedad y se empieza a sentar las bases para la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) por medio de alianzas o convenios con alcaldías e instituciones públicas y privadas. Mientras tanto, el Instituto Geográfico Nacional deja los procesos manuales de producción de cartografía y empieza a digitalizar la cartografía básica nacional en formato digital, con el apoyo de organismos internacionales.

El 1° de julio de 2004 y en vista de la transformación y modernización que tuvieron las dos direcciones y con el objeto de realizar una integración de los procesos y aprovechar al máximo los recursos disponibles, la dirección del CNR decide que la Dirección del Instituto Geográfica Nacional y la Dirección de Catastro vuelvan a integrarse en una sola y formar lo que es conocido ahora como el Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) de gran proyección nacional e internacional.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Fuente: (<http://www.cnr.gob.sv/historia-del-igcn/>)

## **2.2 GEODESIA.**

### **2.2.1 Concepto.**

La geodesia según el Instituto de Geográfico Nacional (IGN s.f.), es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra, Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Francisco Sarría (s. f.) determina que la Geodesia define el geoide como una superficie en la que todos sus puntos experimentan la misma atracción gravitatoria siendo esta equivalente a la experimentada al nivel del mar. Debido a las diferentes densidades de los materiales que componen la corteza y el manto terrestre y a alteraciones debidas a los movimientos isostáticos, esta superficie no es regular, sino que contiene ondulaciones que alteran los cálculos de localizaciones y distancias.

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituye las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras". (IGN s.f.)

Por consiguiente, la geodesia es la ciencia que define con exactitud la forma real que posee la tierra, así como su dimensión y al través de esta conocer una referencia y ubicación de cualquier parte de la tierra u objeto que se desee.

## **2.2.2 Divisiones de la Geodesia**

### **2.2.2.1 Astronomía Geodésica.**

M. J. SEVILLA. Instituto de Astronomía y Geodesia (UCM 1984), define que la astronomía geodésica es aquella parte de la geodesia que tiene por objeto la determinación de las coordenadas geográficas astronómicas, Latitud y Longitud, de puntos de la superficie terrestre y de acimuts astronómicos a direcciones de la tierra.

Estas determinaciones se realizan por métodos astronómicos de observación de estrellas en posiciones convenientes, utilizándose principalmente métodos de cálculo de trigonometría esférica y de álgebra matricial junto al ajuste de observaciones por mínimos cuadrados.

Las principales aplicaciones geodésicas de los resultados obtenidos son la determinación de la figura de la Tierra (geoide) y la compensación astrogeodésica de redes.

En resumen, la astronomía geodésica es aquella determinación de coordenadas en la superficie terrestre a partir de mediciones a los astros (IGN s.f.)

### **2.2.2.2 Geodesia Geométrica.**

Es la rama que se encarga de determinar la forma y la dimensión del globo terráqueo desde el punto de vista geométrico es decir considerándose como una figura geométrica elíptica o de esfera.

Para el Instituto Geográfico Nacional (IGN. Sf.), la geodesia geométrica es la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de puntos en su superficie.

#### **2.2.2.3 Geodesia Física.**

Es la rama de la geodesia que describe todas aquellas teorías y métodos encaminados a la determinación de la figura física de la tierra, partiendo de mediciones y cálculos por medio del campo gravitatorio terrestre.

Por consiguiente, esta rama estudia el efecto de la acción atractiva de otros cuerpos como el sol y la luna y cómo influyen sobre la masa de la tierra causando deformaciones que pueden ser periódicas o aleatorias, lo que contribuye y afecta en mayor o menor medida a ese campo de gravedad provocando fuerzas y aceleraciones.

Según el Instituto de Geográfico Nacional (IGN s.f.), la geodesia física es el estudio del campo gravitatorio de la Tierra y sus variaciones, mareas (oceánicas y terrestres) y su relación con el concepto de altitud.

#### **2.2.2.4 Geodesia Espacial.**

La geodesia espacial es la rama que estudia la determinación de coordenadas a partir de mediciones efectuadas a satélites artificiales u otros objetos naturales o artificiales exteriores a la Tierra (GNSS, VLBI, SLR, DORIS) y relación con la definición de sistemas de referencia. (IGN s.f.)

Otro concepto nos hace referencia a la parte de la Geodesia en la que se utilizan satélites para las mediciones. En el pasado, las posiciones exactas de puntos aislados en la Tierra se determinaban a través de la Geodesia astronómica, es decir, realizando mediciones a partir de las estrellas. Algunas de las técnicas de medición en la Geodesia por satélite incluyen el uso geodésico de Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS), como el GPS, el Glonass y el Galileo.

Un sistema de navegación por satélite es un sistema de satélites que proporciona un posicionamiento geoespacial autónomo con cobertura global. Permite a pequeños receptores electrónicos determinar su localización (longitud, latitud y altitud) utilizando señales temporales de radio transmitidas a través de los satélites. Miljenko Lapaine, E. Lynn Usery. (USA, 2000)

### **2.2.3 Conceptos básicos de la geodesia**

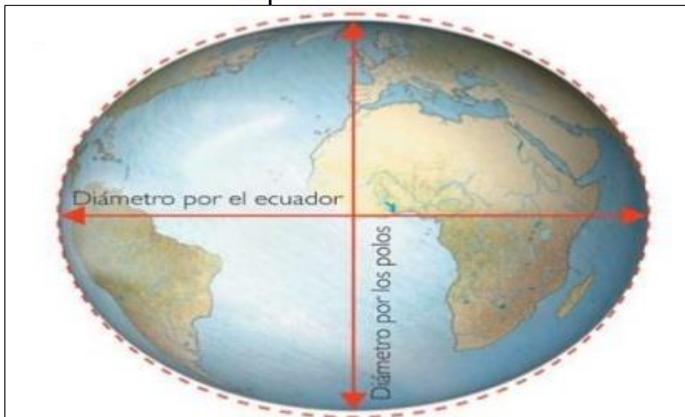
#### **2.2.3.1 Elipsoide.**

Francisco Sarría (s. f.), explica que, debido a la irregularidad de la superficie terrestre, para describir la forma de la Tierra suelen utilizarse modelos denominados esferoides o elipsoides.

Se utiliza, por tanto, el Elipsoide de revolución. El elipsoide será la superficie geométrica (posible expresar con una fórmula) que más se adapte a la superficie real de la Tierra, de manera que pueda ser utilizada como sistema de representación.

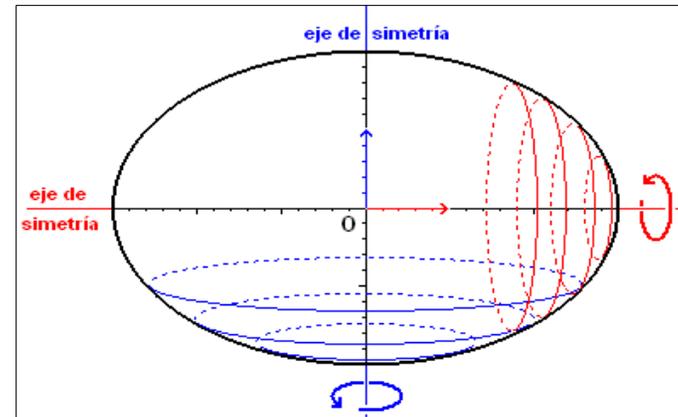
En la geodesia el elipsoide de revolución (esfera achatada en los polos) es un modelo matemático de la Tierra utilizado para realizar cálculos y que se sitúa lo más cerca posible del geoide. (Ver imagen 7 y 8) Existen numerosos modelos de elipsoides que se emplean y se conocen según el nombre de quien los derivó y el año en el que fueron originados.

**Imagen 7.** Forma de la tierra en función de Elipse.



Fuente: (<https://es.quora.com/Cu%C3%A1l-es-la-forma-exacta-de-la-Tierra-Es-una-esfera-esferoide-u-otra-cosa>)

**Imagen 8.** Elipsoide de revolución.



Fuente: (<http://enciclopedia.us.es/index.php/Elipsoide>)

### 2.2.3.2 Geoide

Desde aproximadamente el siglo VI a. C. se comenzó a especular acerca de la esfericidad del planeta Tierra, encontrando que Thales de Mileto fue el primero que dibujó una esfera geográfica. Hasta entonces, se consideraba plana, pero la navegación sobre todo en pueblos como los fenicios y griegos, acompañada de una gran cantidad de

filósofos y matemáticos hizo que se realizarán las primeras menciones acerca de que la superficie terrestre en realidad fuera una esfera.

Esta creencia fue plasmada sobre la realidad cuando Juan Sebastián el Cano y Fernando Magallanes, consiguieron dar la vuelta a la Tierra navegando.

Sin embargo, la Tierra no es una esfera perfecta, aunque para una representación óptima de ésta, se utilice una esfera (elipsoide en concreto), pues se trata de una superficie regular, pudiendo ser descrita mediante fórmulas matemáticas (importante a la hora de proyectar la superficie en un mapa).

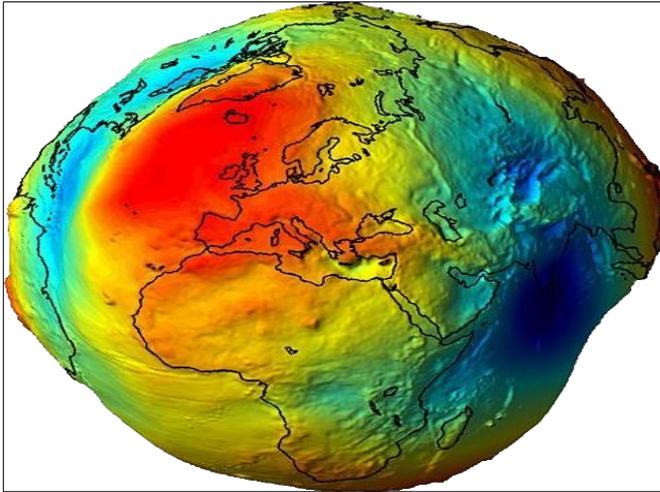
La realidad es que la Tierra no responde a ninguna fórmula matemática, pues es una superficie irregular y por lo que se le conoce como geoide. (Ver imagen 9 y 10)

De tal forma que el geoide se define como la superficie del campo de gravedad de la Tierra, que es aproximadamente igual que el nivel medio del mar. Es perpendicular a la dirección de la atracción gravitatoria. Dado que la masa de la Tierra no es uniforme en todos los puntos y la dirección de gravedad cambia, la forma del geoide es irregular<sup>10</sup>

---

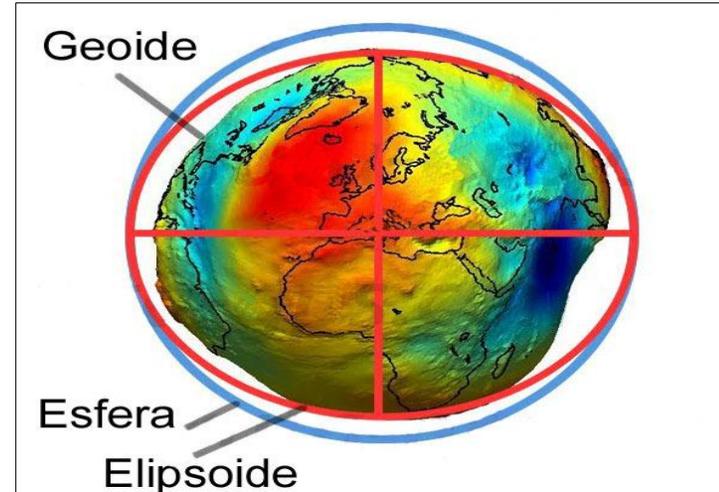
<sup>10</sup> Fuente: (<http://detopografia.blogspot.com/2012/10/la-verdadera-forma-de-la-tierra-el.html>)

**Imagen 9.** Forma real de la tierra (Geoide)



Fuente: ( <http://detopografia.blogspot.com/2012/10/la-verdadera-forma-de-la-tierra-el.html> )

**Imagen 10.** Representación del geoide y elipsoide



Fuente: (<http://www.albireotopografia.es/topografia-basica-iii-la-forma-de-la-tierra/topografia-geoide-y-elipsoide/>)

La utilidad principal del geoide es establecer la superficie de referencia de la altura ortométrica, conocida también como altura sobre el nivel medio del mar y se aplica en trabajos de ingeniería topográfica, cartografía, GPS aerotransportado, apoyo terrestre para fotografía aérea y como un insumo para la generación de modelos digitales de elevación.

Combinando información de un modelo de alturas geoidales con alturas geodésicas obtenidas mediante técnicas de posicionamiento satelital es posible obtener alturas ortométricas de cualquier punto sobre el terreno.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Fuente: (<https://www.inegi.org.mx/default.html>)

### 2.2.3.3 Datum

Todos sabemos que la tierra no es esférica. Pero, no solo eso, ni siquiera es un cuerpo regular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o incluso cada región, escoja el modelo de cuerpo (definible matemáticamente) que más se ajuste a la forma de la tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide.

El termino Datum hace una referencia al punto tangente que existe entre el elipsoide y el geoide, donde ambos son coincidentes. (Ver imagen 11 y 12)

Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, cada Datum está compuesto por:

- un elipsoide
- por un punto llamado "Fundamental" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida.

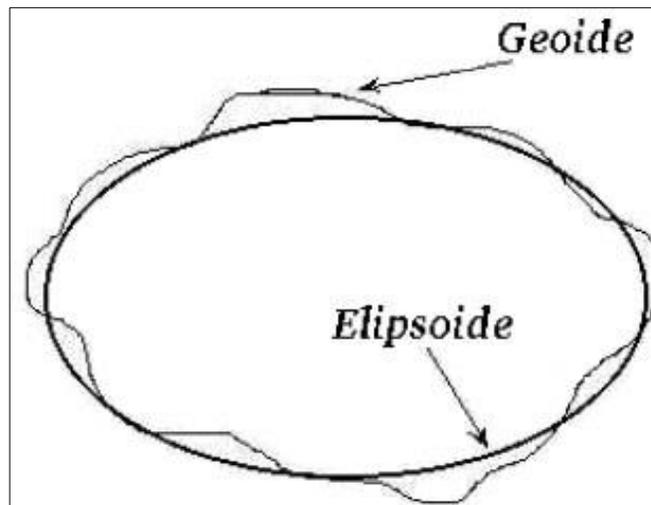
En el punto Fundamental, las verticales de elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia.<sup>12</sup>

---

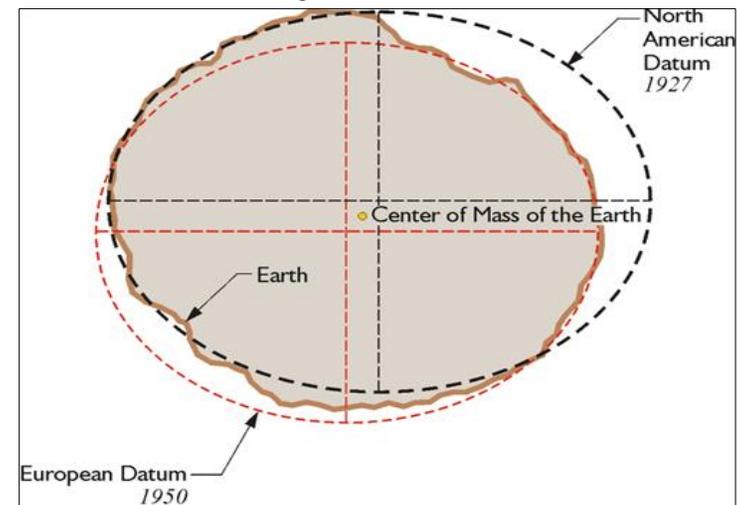
<sup>12</sup> Fuente: (<http://www.elgps.com/documentos/datum.html>)

**Imagen 11.** Forma del elipsoide y geode



Fuente: ([https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5\\_ct.html](https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_ct.html))

**Imagen 12.** Representación gráfica de un datum geocéntrico



Fuente: (<https://www.e-education.psu.edu/geog862/book/export/html/1669>)

Los Datum también se clasifican en:

**Datum Horizontal:** Utilizado como punto de partida para coordenadas planas de una región.

**Datum Vertical:** se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes.

#### **2.2.4 Sistemas Geodésicos de Referencia.**

Sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación, es decir es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la tierra no es una esfera perfecta.

Dentro de estos cabe distinguir los llamados sistemas locales, que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN s.f.) la definición matemática del geoide presenta gran complejidad, así como su definición, la superficie de la Tierra puede representarse con mucha aproximación mediante un elipsoide de revolución, definiéndose este sistema con:

- Superficie de referencia: Estableciendo sus dimensiones (semiejes a, b).
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.

- Sentidos de medida.

El elipsoide de revolución que mejor se adapte al geoide en la zona con un punto donde ambos coinciden o bien la normal a ambos es la solución adoptada, constituyendo el concepto de Sistema Geodésico de Referencia.

A lo largo de la historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país, de tal forma que se define aquel que mejor se ajuste al geoide.

#### **2.2.4.1 Datum Europeo de 1950 (ED50)**

Hayford propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con  $a = 6378388$  m y  $\alpha = 1/297$ . Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de los países, no siendo perfeccionado hasta 1964, donde la Unión Astronómica Internacional en Hamburgo estableció unos nuevos valores de  $a = 6378160$  m y  $\alpha = 1/298,25$ .

En la orientación de este sistema se estipula:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C.) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado por el BIH para las longitudes (Greenwich).

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y datum Madrid (Observatorio del Retiro), tomando como parámetros del elipsoide de Hayford los definidos en 1924 ( $a = 6378388$  m y  $\alpha = 1/297$ ).

#### **2.2.4.2 Sistema Geodésico Mundial que data de 1984 (WGS84)**

Desde 1987, el GPS utiliza el World Geodetic System WGS-84, que es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación GNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

Se define como un sistema cartesiano geocéntrico del siguiente modo:

- Origen, centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera.
- Eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1984.0 con una precisión de 0,005".
- El eje X como la intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z. El meridiano de referencia coincide con el meridiano cero del BIH en la época 1984.0 con una precisión de 0,005". Realmente el meridiano origen se define como el IERS Reference Meridian (IRM).
- El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen.
- Terna rectangular dextrosum.

### **2.2.4.3. Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres: el International Terrestrial Reference Frame (ITRF)**

Para conseguir una realización práctica de un marco geodésico global de referencia se tienen que establecer una serie de puntos con un conjunto de coordenadas. Un conjunto de puntos consistentes infiere:

- La localización de un origen.
- La orientación del sistema de ejes cartesianos ortogonales.
- Una escala.

En términos modernos, un conjunto de estaciones con coordenadas bien determinadas constituye o representan una realización de un Marco de Referencia Terrestre (Terrestrial Reference Frame -TRF-).

Como consecuencia de estos efectos temporales se definen los sistemas y marcos de referencia terrestres.

El International Terrestrial Reference Frame (ITRF) es publicado cada cierto tiempo debido a la actualización o mejora de técnicas de medición, nuevos modelos o estándares utilizados o simplemente por el cambio de la posición de los puntos que lo conforman. Hasta ahora existen 13 realizaciones del ITRF publicadas por el IERS: ITRF88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, combinada 96+97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008 e ITRF2014.

Los ITRFyy consisten por tanto en una lista de estaciones con sus coordenadas en una época de referencia (definición del ITRFyy) y velocidades anuales.

#### **2.2.4.4. Sistema de Referencia Terrestre Europeo (ETRS89) y REGCAN95**

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) para el marco de referencia europeo (EUREF) , recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado (Florencia, 1990), fuera el denominado European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89).

ETRS89 está definido en origen por la campaña IBERIA95 y BALEAR98 las cuales se calcularon a partir del ITRF96 época 1995,4 y época 1998,3 respectivamente.

El Real Decreto 1071/2007 establece ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares.

En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95, ya que ETRS89 sólo afecta a la parte estable de la placa eurasiática. La definición de REGCAN95 se hizo a partir de la estación ITRF de Maspalomas, con las coordenadas publicadas en el ITRF93 y trasladadas a la época de observación de REGENTE en Canarias, 1994,8.

Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE y sus densificaciones.

#### **2.2.4.5 Datum de América del Norte de 1927 (NAD 27)**

North American Datum 1927 (NAD27): establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU) referidas al elipsoide Clarke de 1866, utilizado en la mayoría de los países de Centroamérica hasta la fecha.

El Datum norteamericano fue designado como base para las redes de Triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913.

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente este Datum NAD 27, asociado al Elipsoide de Clarke 1866 y toda la información Geodésica y Cartográfica antigua está referida a dicho Datum.

#### **2.2.4.6 Sistema geodésico de referencia en El Salvador (SIRGAS-ES2007)**

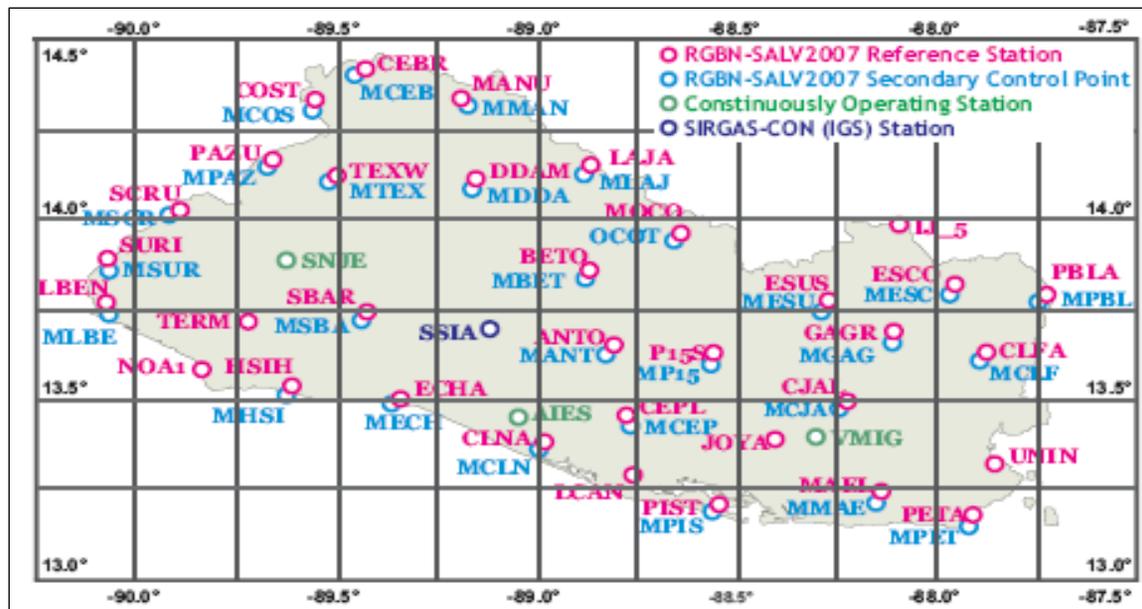
Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS): Sistema de referencia regional, densificación del ITRF, inicialmente establecido para América del Sur y luego extendido al Caribe, Norte y Centro América, en el año 2000. Actualmente tiene un promedio de 200 estaciones de operación continua.

SIRGAS como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS (International Terrestrial Reference System) y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente.

Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), son compatibles en el nivel milimétrico.

La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local. (ver imagen 13)

**Imagen 13.** Red geodésica básica nacional de El Salvador, SIRGAS-ES2007



Fuente: ( <https://es.slideshare.net/asoges/sistema-de-referencia-geocentrico-para-las-americas-sirgas-aplicado-a-el-salvador>)

## **2.3 Sistema De Coordenadas.**

### **2.3.1 Concepto.**

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten definir la posición de cualquier punto en la superficie de la tierra o en un mapa. Este sistema define la localización espacial de los datos, así como la relación de los elementos en la superficie.

### **2.3.2 Tipos de Coordenadas.**

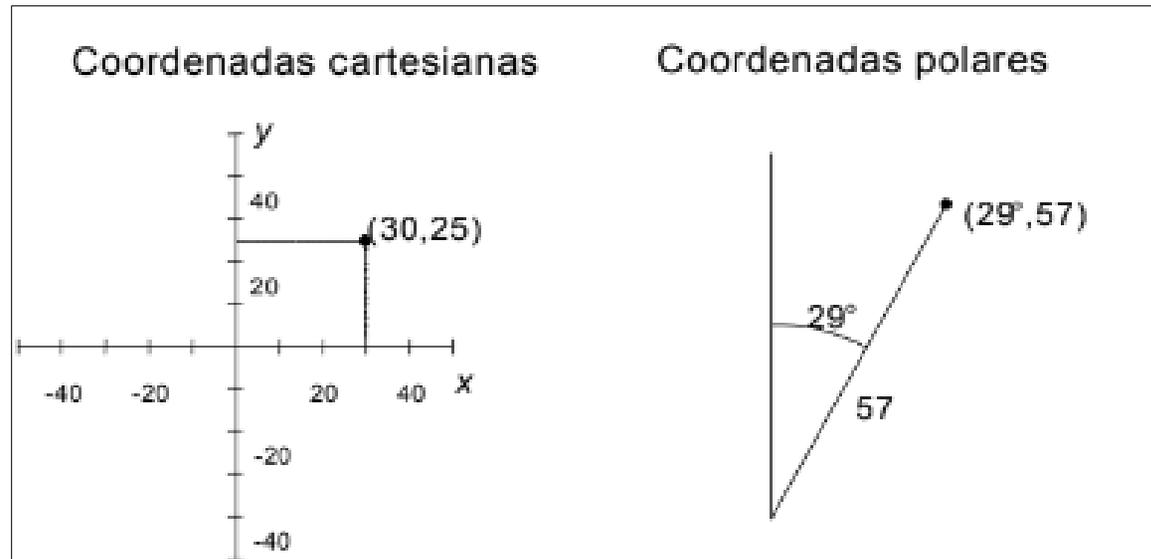
En términos de la geometría bidimensional, los dos sistemas de coordenadas más usuales son:

**Sistema de Coordenadas Cartesianas o Rectangular:** Así, llamado en honor al científico francés René Descartes (1596-1650). Las coordenadas están dadas como distancias perpendiculares en dos ejes fijos (X e Y) medidas a partir de un origen fijo. Este es el sistema que se usa en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y también en aplicaciones informáticas graficas más generales.

Además, el tipo de coordenada rectangular más utilizado hoy en día por el usuario es el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), el cual se explicará detalladamente más adelante.

**Sistema de Coordenadas Polares o Angulares:** Otro método que se puede usar para definir posiciones es el sistema de coordenadas polares, que mide el ángulo y la distancia desde un punto de origen fijo (Ver imagen 14).

**Imagen 14:** Representación de Sistemas de coordenadas cartesianas y polares.



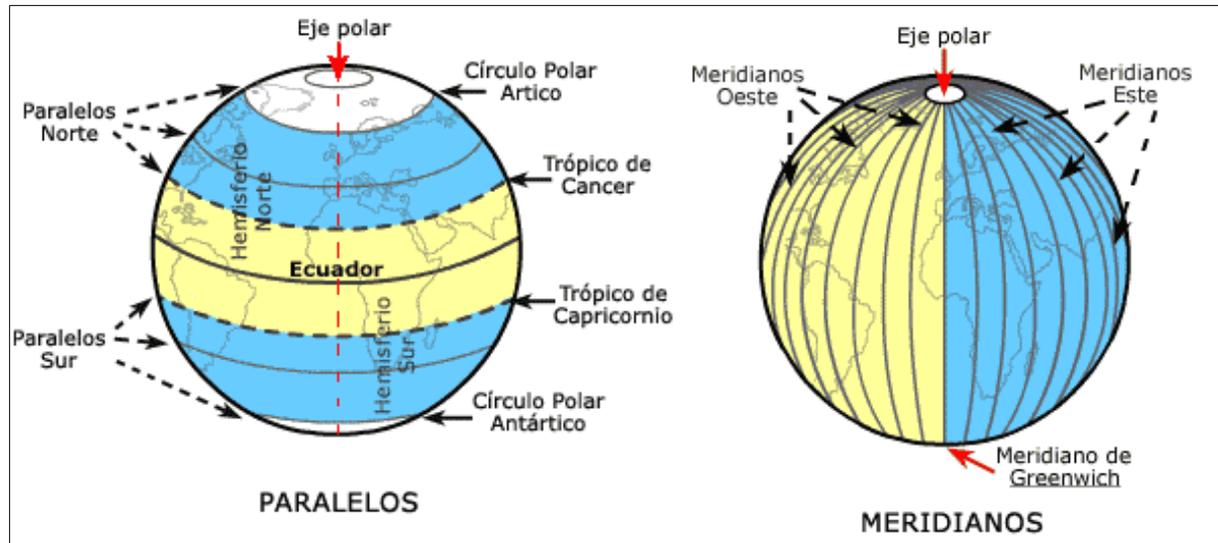
Fuente: (<http://Sistema%20coordenadas%20y%20proyecciones%20cartograficas.pdf>)

### 2.3.3 Coordenadas Geográficas.

Las coordenadas geográficas son un conjunto de líneas imaginarias que permiten ubicar con exactitud un lugar en la superficie de la Tierra. Este conjunto de líneas corresponde a los meridianos y paralelos (Ver imagen 15 y 16).

Estas líneas o círculos son trazados por los cartógrafos sobre los mapas. Cualquier punto de nuestro planeta puede ubicarse al conocerse el meridiano de longitud y el paralelo de latitud.

**Imagen 15:** Vista de Paralelos



**Imagen 16:** Vista de Meridianos

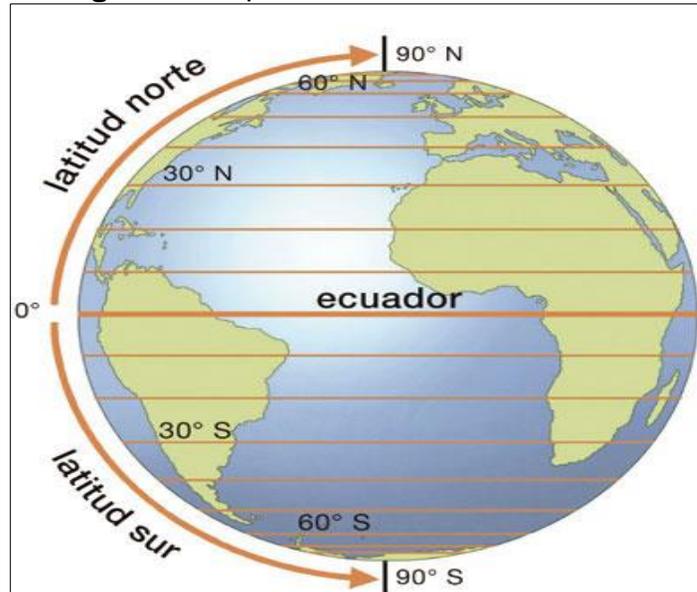


Fuente: (<http://rsalsan.blogspot.com/2015/02/los-paralelos-y-los-meridianos.html>)

### 2.3.3.1 Paralelos.

Llamados también líneas de latitud, son círculos completos, paralelos entre sí (Ver imagen. 17), que cruzan perpendicularmente la red de meridianos. El ecuador, que intercepta a los meridianos por la mitad de su recorrido, es el paralelo más largo y los demás se van haciendo cada vez más cortos conforme nos acercamos a los polos. A diferencia de los meridianos, los paralelos son siempre equidistantes entre sí. Están enumerados desde 0 en el ecuador hasta 90 en los polos, en dirección N o S.

**Imagen 17.** Representación de Paralelos



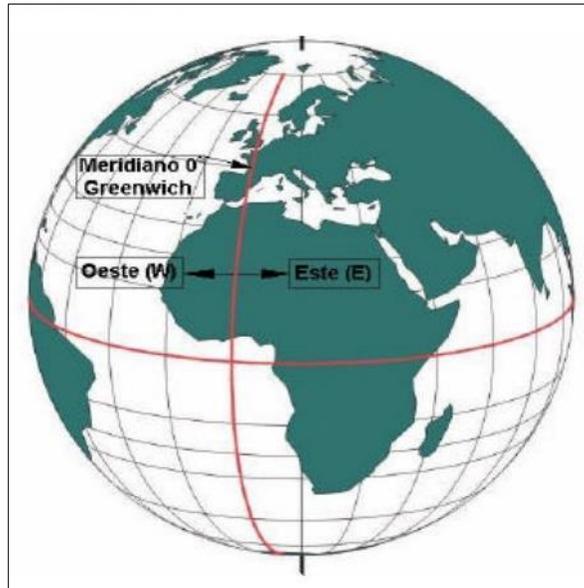
Fuente: (<https://www.picswe.com/pics/paral-lels-80.html>)

### **2.3.3.2 Meridianos.**

También llamados líneas de longitud, son arcos de 180 grados en dirección N-S (Ver imagen 18). Todos los meridianos tienen la misma longitud, están muy próximos entre sí junto a los polos y se distancian al máximo en el punto en que interceptan el ecuador. Hay 360 meridianos, numerados desde el 0 hasta el 180, en dirección Este y Oeste (180 en cada una de las dos direcciones), partiendo del meridiano que pasa por Greenwich, el cual se ha determinado como meridiano de origen el cual pasa por el observatorio Astronómico de Greenwich, en Inglaterra.

El meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios: hemisferio oeste u occidental y hemisferio este u oriental.

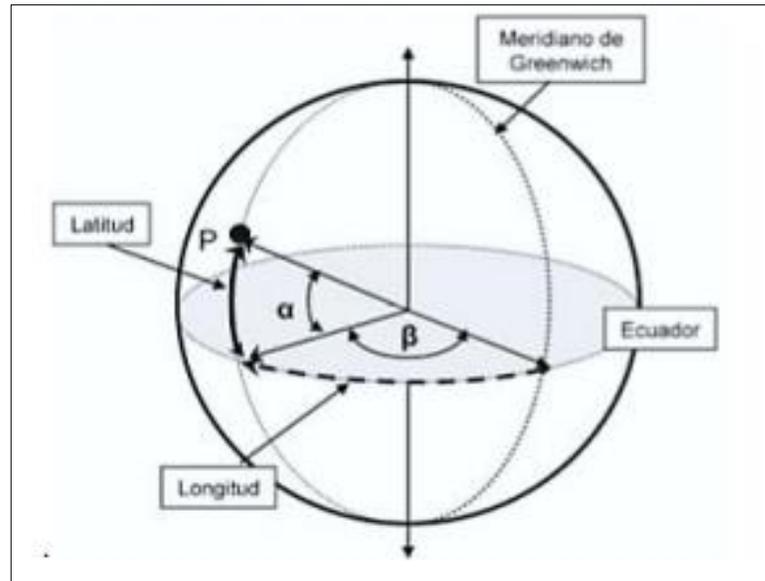
**Imagen 18.** Representación de meridianos



Fuente: (<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas.pdf>)

Con este reticulado, es posible dar la posición de un punto concreto en el globo terrestre, gracias a las denominadas coordenadas geográficas (Ver imagen. 19).

**Imagen.19:** Coordenadas Geográficas de un punto P



Fuente: ( <https://slideplayer.es/slide/3927069/> )

La longitud de un punto es la medida del segmento de paralelo comprendido entre el punto considerado y el meridiano 0 (Greenwich), hacia el Este y el Oeste. Por lo tanto, tendrá valores comprendidos entre los 0 y los 180 grados, positivos si se encuentran hacia el Este, o negativos si esta hacia el Oeste. Todos los puntos situados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud.

La latitud de un punto es la medida del segmento de meridiano comprendido entre ese punto y el ecuador. Tiene valores comprendidos entre los 0 y los 90 grados, hacia el norte o hacia el sur. Todos los puntos situados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.

#### **2.3.4 Proyecciones Cartográficas.**

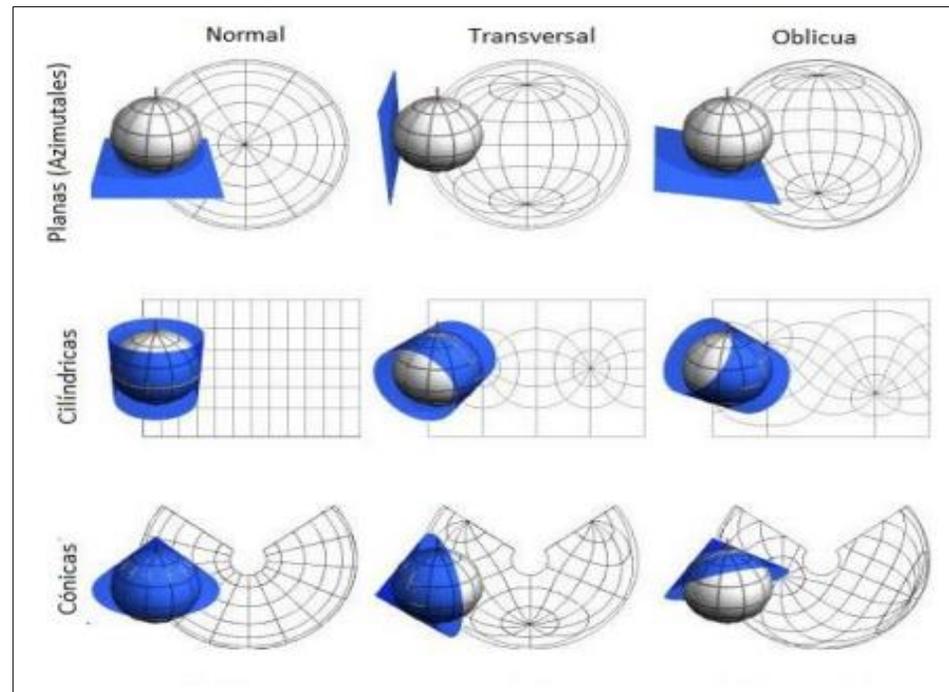
Según el Manual de Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Digital (USA,2000) se le denomina proyección cartográfica a el procedimiento matemático por el cual las coordenadas esféricas de latitud y longitud se convierten en planas.

Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Usery (s.f.) la transformación de una superficie curva a un plano se conoce como proyección cartográfica y puede asumir gran variedad de formas; todas ellas implican de una manera u otra distorsión de áreas, ángulos, y/o distancias.

En resumen, el concepto de una proyección cartográfica es el proceso matemático mediante fórmulas de proyección, la cual permite representar la superficie esférica de la tierra en un plano bidimensional, en este procedimiento se convierten las coordenadas geográficas (latitud & longitud) en coordenadas cartesianas (x & y).

Las proyecciones cartográficas principales son: cilíndricas, cónicas y planas o azimutales (Ver imagen.20).

**Imagen 20.** Representación de proyecciones cartográficas principales.



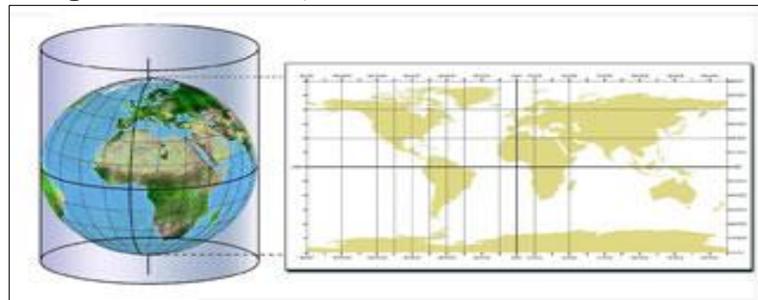
Fuente: ([http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_02/Proyecciones\\_02.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_02/Proyecciones_02.html) )

### 2.3.4.1 Proyecciones Cilíndricas.

Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Usery (s.f.) las proyecciones cilíndricas son aquellas que proporcionan la apariencia de un rectángulo. El rectángulo puede ser visto como una superficie cilíndrica desenrollada, que puede volverse a enrollar en un cilindro. Aunque esas proyecciones realmente se crean matemáticamente y no desde un cilindro, el punto de vista puede sugerir una construcción cilíndrica. Una proyección cilíndrica puede tener una o dos líneas sin distorsión de escala. Ejemplos clásicos de proyecciones cilíndricas incluyen la proyección conforme de Mercator y la proyección equivalente de Lambert (Ver imagen. 21).

Las proyecciones cilíndricas se utilizan a menudo para mapamundis con la latitud limitada a un rango razonable de grados al sur y al norte, para evitar la gran distorsión de las zonas polares. La proyección normal de Mercator se utiliza para las cartas náuticas de todo el mundo, mientras que su punto de vista transversal se utiliza normalmente para mapas topográficos y es la proyección utilizada para el sistema de coordenadas UTM.

**Imagen 21.** Vista Proyección Cilíndrica.



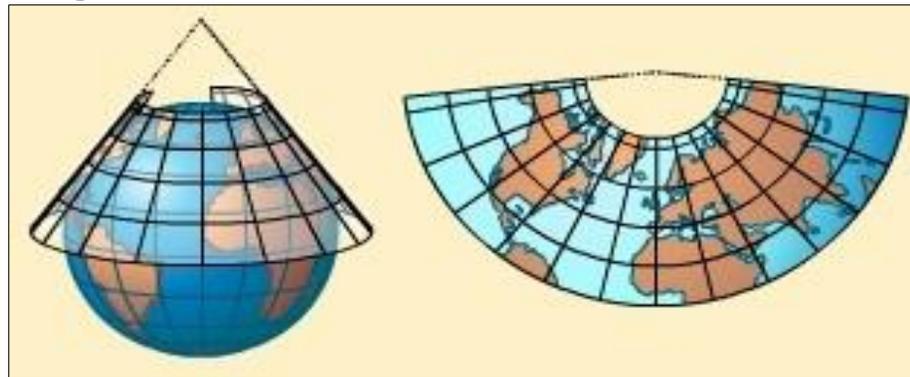
Fuente: (<http://www.gisandbeers.com/tag/proyeccion-cilindrica/>)

### 2.3.4.2 Proyecciones Cónicas.

Según Milijenko Lapaine, E. Lynn Usery (s.f.) las proyecciones cónicas tienen el punto de vista desenrollada de un cono, que puede ser enrollada a su vez en un cono. Estas proyecciones se crean generalmente de forma matemática y no por proyección sobre una superficie cónica. Puede haber una sola línea o dos líneas como líneas sin ninguna distorsión de escala.

Ejemplos clásicos de proyecciones cónicas son la proyección cónica conforme de Lambert y la equivalente de Albers (Ver imagen 22). Las proyecciones cónicas resultan inapropiadas para los mapas que abarcan toda la Tierra y dan mejor resultado en zonas con un mayor eje longitudinal en la dirección Este-Oeste. Eso las hace ideales para las representaciones de las masas de tierra en el hemisferio Norte, como los Estados Unidos de América, Europa o Rusia.

**Imagen 22.** Vista proyección Cónica.

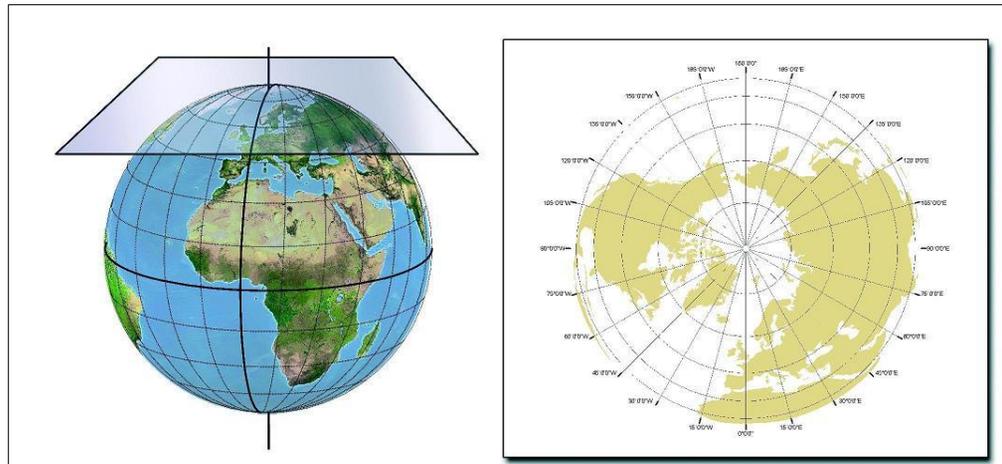


Fuente: ( <http://espasa.planetasaber.com/AulaSaber/>)

### 2.3.4.3 Proyecciones Planas o Azimutales.

Se obtienen proyectando la superficie terrestre desde un punto llamado vértice de proyección, sobre un plano tangente a un punto de la Tierra llamado centro de proyección. La proyección mantiene sus propiedades geométricas alrededor del centro de proyección y las distorsiones aumentan conforme nos alejamos de dicho punto (Ver imagen 23).

**Imagen 23.** Representación de Proyección Plana.



Fuente: (<http://www.gisandbeers.com/entendiendo-las-proyecciones-en-sig/>)

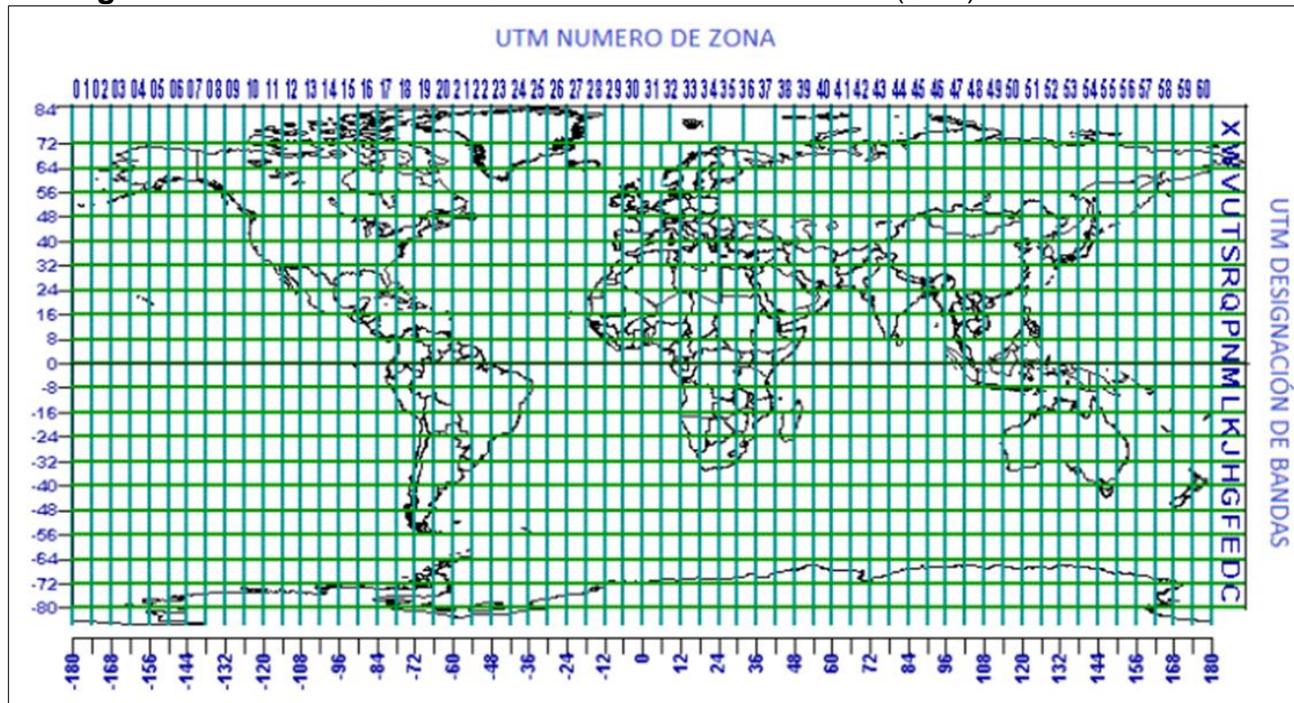
### **2.3.5 Sistema UTM.**

Según el Sistema de Coordenadas UTM (Universidad Politécnica de Valencia, s.f.) el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) es un sistema de proyección cartográfico basado en cuadrículas con el cual se puede referenciar puntos sobre la superficie terrestre. Fue creado por el ejército de los E.E.U.U. en 1947 y está basado en un modelo elipsoidal de la Tierra. Su unidad de medida básica es el metro.

Se divide el elipsoide terrestre en 60 husos o zonas de longitud, utilizando cada uno su meridiano central y el Ecuador como ejes de referencia. El trazado de las cuadrículas se realiza en base a estos husos y a zonas UTM, y es válido en una gran parte de la superficie total de la Tierra, pero no en toda. Concretamente, la zona de proyección UTM se define entre los paralelos 80° S y 84° N, mientras que el resto de las zonas de la Tierra -las zonas polares- utilizan el sistema de coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic).

Por tanto, en el sistema UTM la Tierra se divide en 60 husos o zonas de 6° de longitud que complementan sus 360°. Cada huso o zona se numera con un número entre el 1 y el 60, siendo el huso o zona 1 el limitado entre las longitudes 180° y 174° Oeste, con referencia en Greenwich y centrado en el meridiano 177° Oeste. Los husos se numeran en orden ascendente hacia el Este (Ver imagen 24).

**Imagen 24.** Modelo de Sistema Universal Transversal Mercator (UTM).



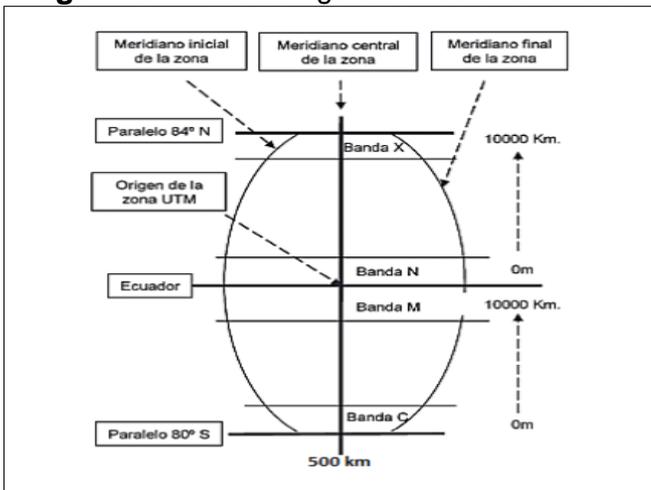
Fuente: (<https://dibujotecnico.udo.es.tl/TEMA-6%2C7-Y-8.htm>)

En cuanto, a las bandas de latitud, la Tierra se divide en 20 bandas de 8° grados de latitud, excepto la X que mide 12° grados de latitud; son denominadas mediante letras desde la “C” hasta la “X” inclusive (exclusión hecha de la CH, I y LL para evitar confusiones, y de la A, B, Y y Z que se reservan para las zonas polares). Como consecuencia de la esfericidad de la Tierra, las zonas se estrechan y sus áreas son menores conforme nos acercamos a los polos.

Para cada huso o zona, la anchura máxima se encuentra en el ecuador y es aproximadamente de 668 Km ( $6^\circ \times 111 \text{ km/grado}$ ). La línea central de cada zona coincide con un meridiano del sistema geodésico tradicional, que se denomina Meridiano Central. (Ver imagen 25)

El origen de las coordenadas UTM en cada huso o zona es el punto de intersección entre su meridiano central y el ecuador. Este origen de coordenadas es de 0 km en el hemisferio norte y de 10,000 km en el hemisferio sur. Conforme nos desplazamos desde el ecuador hacia el norte, los valores de latitud aumentan (de 0 a 10,000 km), mientras que cuando nos desplazamos desde el ecuador hacia el sur, los valores de latitud disminuyen (de 10,000 a 0 km).

**Imagen 25.** Vista configuración de una zona UTM.



Fuente: (<https://eva.udelar.edu.uy/>)

### **2.3.6 Proyección Cónica Conformal De Lambert**

La proyección conforme cónica de Lambert, o, más sencillamente, proyección de Lambert es una de las proyecciones cartográficas presentadas por el matemático, físico, filósofo y astrónomo francés Johann Heinrich Lambert en 1772.

En esencia, la proyección superpone un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Esto minimiza la distorsión proveniente proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos. Como el nombre lo indica, esta proyección es conforme.

El concepto básico de la Proyección Cónica Conforme Lambert consta de un cono tangente al esferoide a lo largo del paralelo de latitud escogido para el origen. Para mejorar las características de escala en la cuadrícula es ventajoso reducir el cono tangente a un cono secante que corta el esferoide en dos paralelos de latitud, los que se llaman los paralelos normales.

Estos se escogen para equilibrar aproximadamente el error de escala en latitud de origen con respecto al error de escala en las latitudes de los límites del norte y del sur de la zona.

Para conseguir esto, se multiplica los radios de todos los paralelos desarrollados por un factor constante de reducción que se llama generalmente el factor de escala en el origen. El error de escala llega a ser cero en los paralelos normales. En El Salvador, se utiliza la Proyección Cónica Conforme Lambert asociada al elipsoide Clarke 1866.

**Cuadro N° 1.** Proyección Cónica Conformal De Lambert Nad 27

Proyección	Lambert NAD27 3 Parámetros ES
Coordenadas de entrada	Latitud ( $\varphi$ ) y longitud ( $\lambda$ ) referidas a NAD27
Elipsoide Semieje mayor Semieje menor Achatamiento Excentricidad	Clark 1866 a = 6 378 206,4 m b = 6 356 583,8 m 1/f = 294,978 698 21390 e <sup>2</sup> = 0,006 768 657 997 291
Parámetros de la proyección Falso Este Falso Norte Paralelo de origen Meridiano de origen 1. paralelo estándar 2. paralelo estándar Factor de escala en el meridiano origen:	500 000,000 m 295 809,184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27) 13° 19' N (valor en NAD27) 14° 15' N (valor en NAD27) 0,999 96704
Resultados	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 3 Parámetros ES

Fuente: (Presentación\_Sistema\_Geodesico\_de\_Referencia\_Sirgas-es2007\_CNR)

PARAMETROS DE TRANSFORMACION  
Tx=0, Ty=105.5, Tz=197.2

## **2.4 Sistemas de Posicionamiento Global**

### **2.4.1 Concepto.**

Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) son un complemento de los SIG.

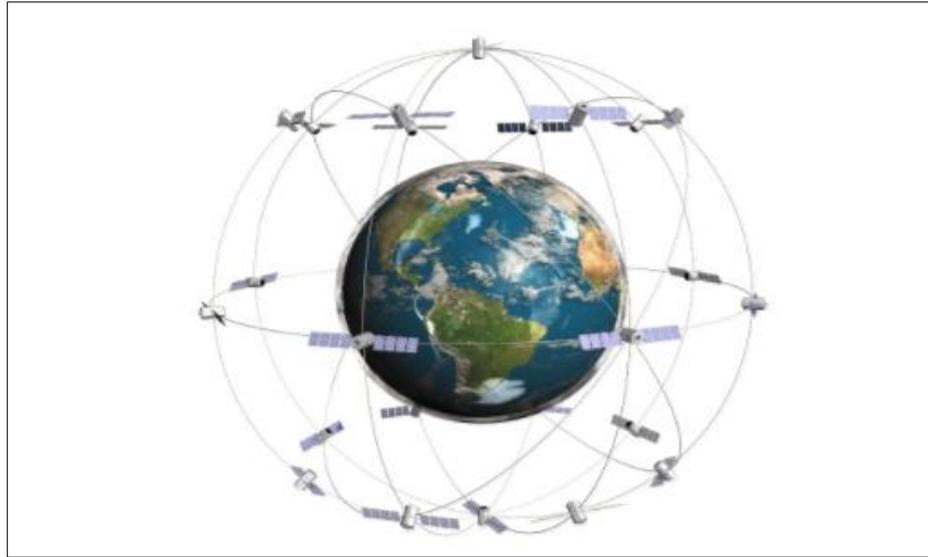
Conceptualmente es un “Sistema de radio-navegación de cobertura mundial operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD, por sus siglas en inglés) consistente en una constelación de 24 satélites artificiales alrededor de la Tierra y estaciones terrestres. Permite posicionar puntos sobre la superficie de la Tierra con distintos niveles de precisión de acuerdo a usos específicos”

El GPS se compone de tres elementos: los satélites en órbita alrededor de la Tierra, las estaciones terrestres de seguimiento y control, y los receptores del GPS propiedad de los usuarios. Desde el espacio, los satélites del GPS transmiten señales que reciben e identifican los receptores del GPS; ellos, a su vez, proporcionan por separado sus coordenadas tridimensionales de latitud, longitud y altitud, así como la hora local precisa.

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS, aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS1, es un sistema global de navegación por satélite que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. Podemos alcanzar una precisión hasta de centímetros, usando el GPS diferencial, pero lo habitual son unos pocos metros.

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita a 20.200 km sobre el globo terráqueo, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. (Ver Imagen 26)

**Imagen 26.** Representación gráfica de red de satélites (GPS)



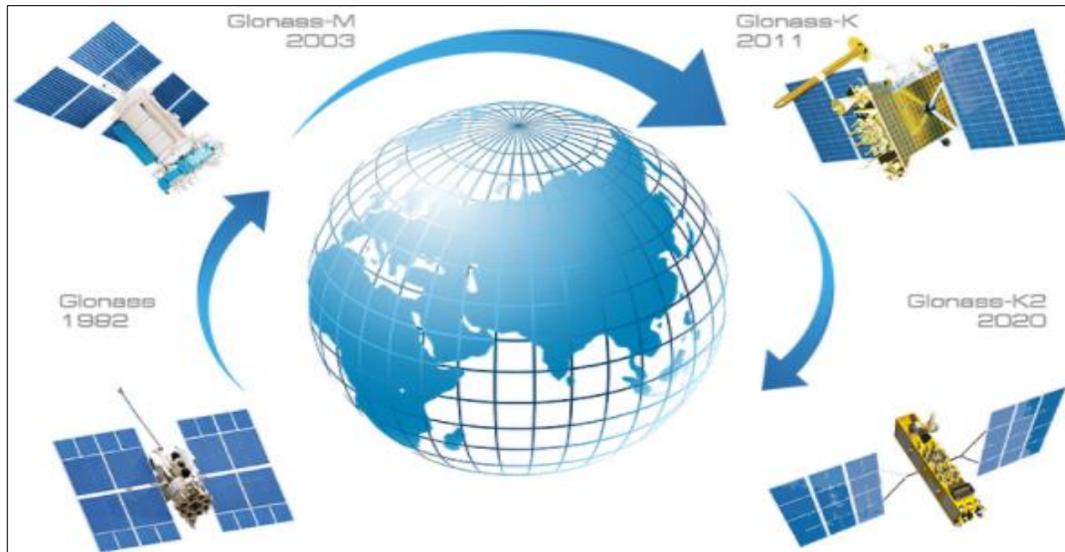
Fuente: (<https://comofuncionaque.com/como-funciona-el-gps/>)

Al igual que la constelación NAVSTAR - GPS, Existen otras constelaciones de satélites importantes, las cuales se definen a continuación:

**GLONASS.** es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) desarrollado por la Unión Soviética, siendo hoy administrado por la Federación Rusa y que constituye el homólogo del GPS estadounidense y del Galileo europeo.

Consta de una constelación de 31 satélites (24 en activo, 3 satélites de repuesto, 2 en mantenimiento, uno en servicio y otro en pruebas) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita inclinada de  $64,8^\circ$  con un radio de 25.510 km. (Ver imagen 27)

**Imagen 27.** Historia y representación gráfica de satélites (GLONASS)



Fuente: (<https://www.vuelo-espacial.com/soyuz-2-1b-lanza-nueva-nave-espacial-glonass/>)

Abreviación para Global Navigation Satellite System, GLONASS es un sistema ruso de navegación por satélite que funciona junto con GPS (Global Positioning System) para proporcionar información sobre la posición en dispositivos compatibles. Con otros 24 satélites para usar, los dispositivos compatibles con GLONASS pueden obtener satélites un 20% más rápido que los dispositivos que se basan solo en GPS.<sup>13</sup>

**GALILEO** A finales del siglo xx, un grupo de estados de la Unión Europea comenzaron a mostrar cierto rechazo e inseguridad sobre los sistemas GPS (de origen estadounidense) y GLONASS (de origen ruso). Este grupo de países temía que, en caso de conflicto armado internacional, tanto Estados Unidos como Rusia limitaran o dificultaran el acceso a estos sistemas a los países de la Unión Europea, limitando así la operatividad militar y civil de la región. Paralelamente, también mostraron cierta preocupación sobre la precisión y efectividad de los sistemas GPS y GLONASS, especialmente de cara al futuro.

Galileo es el programa europeo de radionavegación y posicionamiento por satélite, desarrollado por la Unión Europea (UE) conjuntamente con la Agencia Espacial Europea. Este programa dota a la Unión Europea de una tecnología independiente del GPS estadounidense y el GLONASS ruso.

La constelación completa de Galileo estará formada por 24 satélites, además de los de reserva orbital, con el fin de evitar cualquier interrupción en el servicio.<sup>14</sup> (Ver imagen 28)

---

<sup>13</sup> Fuente: ([https://support.garmin.com/es-AR/?faq=GvYAvElyJN1XErPJevmbJ7&searchType=noProduct&utm\\_source=faqSearch](https://support.garmin.com/es-AR/?faq=GvYAvElyJN1XErPJevmbJ7&searchType=noProduct&utm_source=faqSearch))

<sup>14</sup> Fuente: ([http://www.esa.int/esl/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/Galileo\\_ya\\_disponible\\_para\\_el\\_mundo](http://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Galileo_ya_disponible_para_el_mundo))  
Fuente: ([https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_navegaci%C3%B3n\\_Galileo](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_navegaci%C3%B3n_Galileo))

**Imagen 28.** Representación de satélite GALILEO.



Fuente: (<https://www.elcomercio.com/tendencias/gps-galileo-satelite-agenciaespacialeuropea-nasa.html>)

**GNSS:** Sistema que combina la recepción de todas las constelaciones de satélites de navegación disponibles, tanto civiles como militares: GPS, GLONASS y el reciente Galileo. Es decir, el conjunto de sistemas capaces de dotar en cualquier punto y momento de posicionamiento espacial y temporal.

## **2.4.2 Organización del Sistema GPS.**

Para llevar a cabo levantamientos de alta precisión geodésico-topográficos es necesario utilizar equipos de medición de la tecnología más avanzada, tales como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), con él es posible determinar las coordenadas que permiten ubicar puntos sobre la superficie de la Tierra.

El GPS está integrado por tres segmentos o componentes de un sistema, que a continuación se describen:

### **2.4.2.1 Segmento espacial.**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es una constelación de satélites de navegación que orbitan la Tierra a una altitud de cerca de 12.000 millas (20.000 kilómetros). A esta altitud, los satélites completan dos órbitas en un poco menos de un día. Aunque originalmente diseñado por el Departamento de Defensa de EE.UU. para aplicaciones militares, su gobierno federal hizo el sistema disponible para usos civiles y levantó las medidas de seguridad diseñadas para restringir la precisión hasta 10 metros

La constelación óptima consiste en 21 satélites operativos con 3 de "repuesto". A partir de julio de 2006, había 29 satélites operacionales de la constelación.

Los satélites del GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, llamadas "L1" y "L2". Cada señal GPS contiene tres componentes de información: un código pseudoaleatorio, los datos de efemérides de satélite y datos de almanaque. El código pseudoaleatorio identifica al satélite que transmite su señal. Los datos de efemérides de satélite proporcionan información sobre la ubicación del satélite en cualquier momento. El almanaque contiene información

sobre el estado del satélite y la fecha y hora actuales. Para cada satélite, el tiempo es controlado por los relojes atómicos a bordo que son cruciales para conocer su posición exacta.

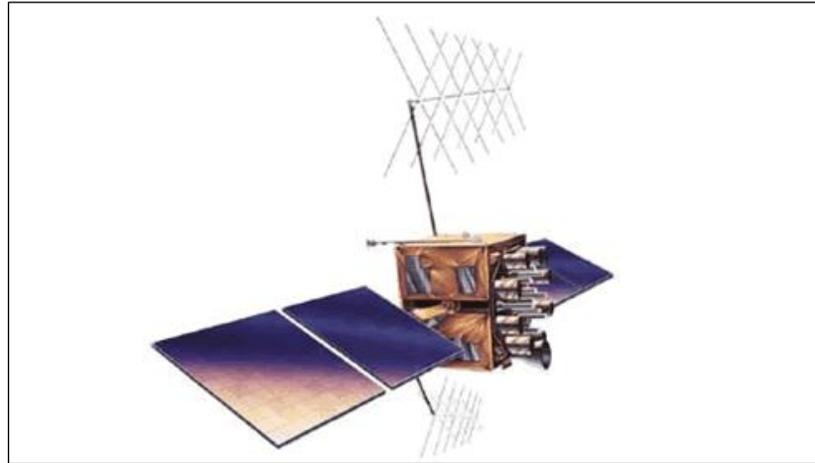
Las posiciones se obtienen mediante la determinación de las distancias a los satélites visibles. Este proceso se conoce como "trilateración". El momento de la transmisión de la señal en el satélite se compara con el momento de la recepción en el receptor. La diferencia de estos dos tiempos nos dice cuánto tiempo tomó para que la señal viajara desde el satélite al receptor.

Si se multiplica el tiempo de viaje por la velocidad de la luz, podemos obtener el rango, o de distancia, con el satélite. La repetición del proceso desde tres satélites permite determinar una posición de dos dimensiones en la Tierra (es decir, la longitud y latitud). Un cuarto satélite es necesario para determinar la tercera dimensión, es decir la altura.

Cuantos más satélites son visibles, más precisa es la posición del punto a determinar. Las órbitas de los satélites GPS están inclinadas respecto al ecuador de la Tierra en alrededor de 55°. La distribución espacial de la constelación de satélites permite al usuario disponer de 5 a 8 satélites visibles en cualquier momento.

El sistema está diseñado para asegurar que al menos cuatro satélites estarán visibles con una recepción configurada de la señal de 15 ° sobre el horizonte en un momento dado, en cualquier parte del mundo. (Ver imagen 29)

**Imagen 29.** Satélite GPS de constelación NAVSTAR



Fuente: ([http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/geodesia/metadatos/sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/geodesia/metadatos/sistema_de_posicionamiento_global.pdf))

#### **2.4.2.2 Segmento de control.**

Es una serie de estaciones de rastreo, distribuidas en la superficie terrestre que continuamente monitorea a cada satélite analizando las señales emitidas por estos y a su vez, actualiza los datos de los elementos y mensajes de navegación, así como las correcciones de reloj de los satélites.

Las estaciones se ubican estratégicamente cercanas al plano ecuatorial y en todas se cuenta con receptores con relojes de muy alta precisión. (Ver imagen 30)

**Imagen 30.** Posición de las estaciones de seguimiento y la estación principal de control.



Fuente: ([http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/geodesia/metadatos/sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/geodesia/metadatos/sistema_de_posicionamiento_global.pdf))

### 2.4.2.3 Segmento Usuario.

Lo integran los receptores GPS que registran la señal emitida por los satélites para el cálculo de su posición tomando como base la velocidad de la luz y el tiempo de viaje de la señal, así se obtienen las pseudodistancias entre cada satélite y el receptor en un tiempo determinado, observando al menos cuatro satélites en tiempo común; el receptor calcula las coordenadas X, Y, Z y el tiempo.<sup>15</sup> (Ver imagen 31)

**Imagen 31.** Representación de receptores de señal para (GPS)



Fuente: ( <http://www.gscssoftware.com/gps.html> )

<sup>15</sup> Fuente: ([https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/rgnp\\_horizontal/](https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/rgnp_horizontal/))

## CAPITULO III

### DIAGNÓSTICO Y APLICACIÓN SIG EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

#### **3.1 Plano de Bordes, Definición de cuadrantes y clave catastral en mapa general de la facultad de Ingeniería y Arquitectura.**

Teniendo en cuenta los diferentes factores que impiden el control en áreas o lugares específicos por distancias o puntos de referencia sin ningún criterio, se presenta una propuesta en la cual a partir de la delimitación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, mediante los bordes ya existentes crear un cuadrante general para luego dividirlo en cuadrantes internos uniformes con distancias establecidas, para poder tener un mejor reconocimiento del lugar, de esta manera se explica a continuación la manera en la que está dividido el mapa base que se utilizará para el desarrollo del levantamiento, creación y aplicación del SIG y dando como resultado claves catastrales para definir y tener un control específico y con criterios justificados la ubicación de cualquier zona, lugar y objeto que este dentro del análisis.

El primer elemento para la conformación de la clave catastral es crear un cuadrante general el cual estará definido por tres dígitos y será representado como el cuadrante 001, en cualquier zona, lugar y objeto que esté dentro del mismo.

Los cuadrantes siguientes estarán dentro del cuadrante general y serán considerados el elemento central de la clave catastral, estas serán líneas horizontales con distancias ya definidas de 83 metros y líneas verticales con distancias de 73 metros que conformaran un total de 24 rectángulos a los cuales se les asignaran dígitos únicos

diferentes a los demás, estos dígitos se comprenden por dos números iniciando desde el cuadrante 01 al cuadrante 24, de los cuales son intervenidos únicamente 13 (ver plano de bordes y cuadrantes)

El tercer elemento es el complemento de la clave y define específicamente el punto central del objeto el cual es definido por un identificador único, El análisis enfocado en Árboles, Arbustos, Postes, Luminarias, Edificios y Zonas verdes se les asignan en los levantamientos, identificadores para que puedan poseer una ubicación por medio de una clave catastral, a continuación se coloca la nomenclatura por criterios y se presenta un ejemplo de la conformación de la clave catastral para todo el levantamiento de información.

Árboles: Números conformados desde el 01 en adelante

Arbustos: Letras y números conformados desde ARB01 en adelante

Postes de Concreto: Letras y números conformados desde PC01 en adelante

Postes Metálicos: Letras y números conformados desde PM01 en adelante

Luminarias: Letras y números conformados desde LU01 en adelante

Edificios: Números conformados desde 01 al 39

Ejemplo:

Cuadrante general	=	001
Cuadrante central	=	10
Complemento	=	Árbol 129
Clave catastral	=	(Cuadrante general) – (Cuadrante central) – (Complemento)
Clave catastral	=	( 001) – ( 10) – (129)
Clave catastral	=	001-10-129

### **3.2 Levantamiento de BBDD (Árboles, Arbustos, Postes, Luminarias, Infraestructura, Edificios y Zonas Verdes)**

Es un análisis de cada uno de los posibles atributos que deberán llevar todas las Bases de datos para que luego se dé inicio a la recolección de información con el objetivo de poder digitalizar toda la información y poder tener de una manera más ordenada la información.

Cada una de las tablas está compuesta por diferentes atributos que son necesarios para poder realizar diferentes tipos de búsquedas, cruces con otras bases de datos, dando como resultado diferentes posibilidades de análisis.

Después de tener definidos los bordes y cuadrantes se puede realizar el levantamiento de información dentro de los 13 cuadrantes catastrales la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que se han tomado como objeto de análisis para dar como resultado la recolección de datos en campo y una Base de Datos digitalizada por cuadrante y por cada uno de los distintos levantamientos (Árboles, Arbustos, Postes, Luminarias, Infraestructura, Edificios y Zonas Verdes)

### **3.2 Integración de Bases de Datos y Planos.**

Luego de realizar la creación de las distintas Bases de Datos y la creación por cuadrantes de cada uno de los planos georreferenciados de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se hace la unificación de cada base y planos para dar como resultado una integración total.

Esta unificación se realiza mediante un identificador común, para cada cuadrante existe un correlativo que va desde el 01 en adelante, este identificador se ubica exactamente en el lugar fijo donde se encuentra el objeto de análisis. (ver pág. 78)

Las bases de datos al igual que el identificador que se da a cada plano por cuadrante también posee una columna donde después de recolectada toda la información en campo es asociada el mismo identificador del plano.

Mediante el uso del software de código abierto QGIS se guardan las bases de datos en formato CSV, y cada uno de los planos georreferenciados en formato DXF, para ser abierto y hacer la unificación plano base y crear el shape individual por cuadrante y por familia.

### **3.3 Creación de Plano conjunto SIG de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) en (Vegetación, Infraestructura y Zonas Verdes).**

En este punto se da por finalizado toda la integración y se genera el plano conjunto final de todo el levantamiento de datos por cuadrante de toda la Facultad de ingeniería y arquitectura y se tiene cada una de las capas propuestas y creadas para la consulta en forma digital y física para uso de cualquier autoridad universitaria, docente o estudiante que desee.

Dado que cada elemento es totalmente georreferenciado y posee una precisión de centímetros se puede realizar diferentes tipos de intervención con este plano, desde un inventario de cualquier capa que esté dentro de los límites de la facultad hasta una propuesta de áreas que puedan intervenir.

Con la creación de este plano podemos relacionar con cualquier Base de datos externa existente un cruce de información que posea criterios búsqueda idénticos al del plano generado, también se da la posibilidad de agregar, actualizar, eliminar y modificar la información levantada desde el software de código abierto que se ha utilizado.

### **3.4 Aplicación de Plano de Propuestas para Zonas Verdes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA)**

Para finalizar se realiza un ejercicio con la superposición de cada una de las capas de información que están generadas en un archivo shape, y que pueden ser visualizadas desde cualquier ordenador y se realiza un estudio en el cual podemos ver las diferentes zonas verdes que de acuerdo con criterios como:

- Orientación
- Topografía
- Conservación de arboles
- Área de la zona verde
- Tuberías de aguas lluvias
- Tuberías de aguas negras
- Tuberías de agua potable
- Postes
- Mobiliario urbano

Cada uno de los criterios anteriores se tomarán en cuenta para poder dar como resultado áreas específicas donde se puede proponer la construcción de mesas, áreas de estudios y cualquier otra propuesta que las autoridades o el analista crea conveniente para ser desarrollado en las áreas contempladas.

De igual manera cualquier usuario que realice otra investigación con diferentes criterios podrá agregar o quitar áreas para ser intervenidas.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1 Conclusiones.**

4.1.1. Como resultado y producto final se tiene la creación de un SHAPE con la información catastral actualizada en BBDD y Planos para consulta de cualquier autoridad, docente o estudiante de la Universidad de El Salvador.

4.1.2. Con la creación de esta herramienta tecnológica se podrá tomar decisiones, realizar estudios y hacer diferentes planes de ordenamiento y llevar análisis desde una clase en la materia de urbanismo hasta la ejecución de un proyecto.

4.1.3. Con el desarrollo de este proyecto se puede fortalecer el control de infraestructura, vegetación y áreas verdes y así tener una optimización de recursos y tiempos para los usuarios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

4.1.4 La creación de este producto servirá como modelo base para realizar el análisis a nivel no solo de facultad sino de todo el campus universitario y así abrir las puertas a un desarrollo total y no solo de facultad.

## **4.2 Recomendaciones.**

4.2.1. Para fomentar el desarrollo de este proyecto en todo el campus universitario se deben crear grupos de investigación y análisis de diferentes áreas para poder trabajar con esta herramienta y así aprovechar los datos que fueron obtenidos.

4.2.2 El SHAPE generado necesita ser actualizado a cada cierto tiempo y de igual manera se recomienda hacer la entrega de todo el trabajo a la Escuela de Arquitectura para que estudiantes y docentes del área urbanística puedan dar un uso y realizar actualizaciones periódicas del proyecto.

4.2.3. Se recomienda dar una inducción sobre geodesia y sistemas de referencia para tener un mejor conocimiento sobre el geoposicionamiento y el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

### **Bibliografía General:**

*Ascensio, R. (2017). Artículo "Rutas óptimas y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ventaja competitiva empresarial". Instituto Superior de Economía y Administración de Empresas de El Salvador (ISEADE). San Salvador, El Salvador.*

*Bosque, J. (2000). Sistemas de Información Geográfica. Editorial Rialp. España.*

*Castro, F. y Abdelarrague, R. (2014). Trabajo de investigación "Diseño de rutas de distribución de empresas de productos de consumo masivo, mediante una aplicación de optimización espacial, la cual utiliza el software gvSIG y el lenguaje de programación pyomo". Jornadas Internacionales de gvSIG "Estrategias del Siglo XXI", celebradas en Valencia, España.*

*Goodchild, M. (1991). Geographical Information Systems. Editorial Abridget. USA.*

*Tomlinson, R., 2003. Thinking about GIS. Geographical Information System Planning for Managers. ESRI Press. USA.*

## Referencias Electrónicas

<http://detopografia.blogspot.com/2012/10/la-verdadera-forma-de-la-tierra-el.html>. (s.f.).

[http://di002.edv.uniovi.es/~juanrp/docencia/gis/trabajos0708/Sistemas%20de%20informaci%F3n%20geogr%E1fica\\_grupo.pdf](http://di002.edv.uniovi.es/~juanrp/docencia/gis/trabajos0708/Sistemas%20de%20informaci%F3n%20geogr%E1fica_grupo.pdf). (s.f.).

<http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>. (s.f.).

<http://www.cnr.gob.sv/historia-del-igcn/>. (s.f.).

<http://www.elgps.com/documentos/datum.html>. (s.f.).

[http://www.esa.int/es/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/Galileo\\_ya\\_disponible\\_para\\_el\\_mundo](http://www.esa.int/es/ESA_in_your_country/Spain/Galileo_ya_disponible_para_el_mundo). (s.f.).

[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_navegaci%C3%B3n\\_Galileo](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_navegaci%C3%B3n_Galileo). (s.f.).

<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/>. (s.f.).

<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/>. (s.f.).

<https://geoinnova.org/cursos/componentes-sistema-informacion-geografica-sig/?fbclid=IwAR35JKWvxfYbmKnWx0izRKCwLYUFilzkjwWjv7N1wFyyzi51DVni35NSeb4>. (s.f.).

[https://support.garmin.com/es-AR/?faq=GvYAvElyJN1XErPJevmbJ7&searchType=noProduct&utm\\_source=faqSearch](https://support.garmin.com/es-AR/?faq=GvYAvElyJN1XErPJevmbJ7&searchType=noProduct&utm_source=faqSearch). (s.f.).

<https://www.inegi.org.mx/default.html>. (s.f.).

[https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/rqnp\\_horizontal/](https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/rqnp_horizontal/). (s.f.).

<https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>. (s.f.).