



NTIG_CR01_06.2023: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica

Versión 2



Junio - 2023

Presentación

El Instituto Geográfico Nacional tiene el agrado de presentar la segunda versión de la Norma Técnica de Información Geográfica de Costa Rica (NTIG_CR01) denominada *Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica* versión junio de 2023. Nuestro sistema de referencia cumple con los estándares internacionales establecidos por los principales centros de investigación y aplicación de las ciencias geodésicas, además, la norma técnica está alineada a los requerimientos del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), así como a las consideraciones de orden técnico definidas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como elementos fundamentales.

El objetivo primordial de la Norma Técnica *Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica* es ser un instrumento que permita evaluar y estandarizar los trabajos geodésicos fundamentalmente en lo que respecta a precisión, dado que constituye un conjunto de especificaciones básicas que se fundamentan en los sistemas geodésicos de referencia, tanto planimétricos como altimétricos. A su vez, la presente Norma Técnica describe la base geodésica existente, su relación con las técnicas modernas de generación de coordenadas y la solución necesaria para que Costa Rica acceda a niveles eficientes de calidad en la generación de datos georreferenciados. También se incluye la descripción de algunos conceptos teóricos necesarios para la comprensión de los temas formulados.

Desde la perspectiva geodésica, ya sea con respecto a productores, gestores y/o usuarios de información, hoy en día la Geodesia ha superado su base geométrica inicial y se explica en un contexto de entornos físico-dinámicos fundamentales, y ha cambiado de un datum local a un datum geocéntrico global y dinámico. Por tal razón, ha sido necesario que el IGN reemplace el sistema de referencia de coordenadas vinculado al datum de Ocotepeque que utilizaba el elipsoide de Clarke 1866 y la proyección cartográfica Lambert Costa Rica Norte y Sur, pasando al datum CR05 con elipsoide WGS84 y la proyección CRTM05 para llegar al datum CR-SIRGAS con elipsoide GRS80 y manteniendo la proyección CRTM05. Esto permite a los usuarios de coordenadas en Costa Rica contar con un sistema moderno, compatible internacionalmente y que soporte las tecnologías actuales.

A nivel internacional la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprueba en el año 2015 la resolución 69/266 (de la cual Costa Rica es país firmante). Esta resolución reconoce que el marco geodésico depende de la participación de los países de todo el mundo y la necesidad de adoptar medidas para reforzar la cooperación internacional y de entre otras recomendaciones la sexta: Invita (...) a elaborar programas de divulgación que den mayor visibilidad al marco de referencia geodésico mundial y lo hagan más comprensible para la sociedad.

La ONU adoptó en 2015 los objetivos de Desarrollo Sostenible que buscan poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz

y prosperidad y de acuerdo con la ONU (2019), la geodesia contribuye con el desarrollo de los objetivos 4, 11 y 13 que apoyan a los objetivos 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10 y 12. De esta manera un Marco Geodésico Nacional alineado con los estándares y convenciones internacionales contribuye en el ámbito nacional, regional e internacional con la mejora de la calidad de vida y el sistema tierra.

De esta manera, el IGN, se ocupa de la administración, actualización y mantenimiento del Sistema de Referencia Geodésico Nacional, el cual, entre otras tareas, se encarga de facilitar los procedimientos y estándares para el establecimiento de puntos de control horizontal y vertical, para la ubicación y representación cartográfica de los diversos rasgos topográficos y geográficos del territorio nacional.

La Norma Técnica *Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica* tiene su origen en el ejercicio del cumplimiento de las competencias de Ley del Instituto Geográfico Nacional en materia de normalización de la información geoespacial en nuestro país. Nuestra posición es inclusiva y abierta en cuanto a los aportes de la comunidad productora, gestora y usuaria de información geoespacial en el ámbito nacional.

Marta E. Aguilar Varela
Directora a.i.
Instituto Geográfico Nacional
Registro Nacional

Índice de contenidos

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Disposiciones generales.....	4
3.1. Nomenclatura y nombre de la Norma Técnica:	4
3.2. Objetivo.....	4
3.3 Ámbito de aplicación	5
3.4 Alcance.....	5
3.5 Aprobación técnica y oficialización	5
3.6 Obligatoriedad.....	5
3.7 Vigencia	5
4. Sistema Geodésico Nacional	6
4.1 Definiciones	6
4.2 Estructura del Marco Geodésico Dinámico Nacional	10
4.2.1 Sistema de referencia vertical	10
4.2.2 Sistema y marco de referencia horizontal	10
4.2.3 Sistema de referencia gravimétrico.....	11
4.3 Proyección cartográfica.....	12
4.4 Metadatos sistema de referencia	13
5. Especificaciones técnicas geodésicas	17
6. Validación de vértices geodésicos.....	21
6.1 Enlace horizontal	21
6.1 Enlace vertical	23
6.3 Ficha de información geodésica	23
7. Consideraciones finales	24
8. Bibliografía	25
Anexo 1	27

Índice de cuadros

Cuadro N°1. Códigos EPSG para Costa Rica.....	15
Cuadro N°2. Exactitud Planimétrica para control y densificaciones	17
Cuadro N°3. Exactitud Planimétrica para otras finalidades	19
Cuadro N°4. Exactitud altimétrica para control y densificaciones.....	20
Cuadro N°5. Exactitud altimétrica para otras aplicaciones	20

Índice de figuras

Figura N°1. Relación entre Sistemas de Coordenadas de Referencia para Costa Rica	16
--	----

Acrónimos y siglas

BGI: Bureau Gravimetricque Internacional / Bureau Gravimétrico Internacional
BKG: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie / Bureau de Cartografía y Geodesia
CN: Catastro Nacional
CR05: Costa Rica 2005
CRTM05: Costa Rica Transversa Mercator del año 2005.
CR-SIRGAS: Costa Rica SIRGAS
GNSS: Global Navigation Satellite System / Sistema Global de Navegación por Satélite
GRS80: Geodetic Reference System 1980 / Sistema Geodésico de Referencia 1980
IAGS: Interamerican Geodesic Service / Servicio Geodésico Interamericano
IERS: International Earth Rotation Service / Servicio Internacional de Rotación de la Tierra
IGN: Instituto Geográfico Nacional
ITRS: International Terrestrial Reference System / Sistema Internacional de Referencia Terrestre
ITRF: International Terrestrial Reference Frame / Marco Internacional de Referencia Terrestre
LCRN: Lambert Costa Rica Norte
LCRS: Lambert Costa Rica Sur
NGS: National Geodetic Survey / Servicio Geodésico de los Estados Unidos de América
RI: Registro Inmobiliario
RN: Registro Nacional
RGNA: Red Geodésica Nacional Activa
RGNP: Red Geodésica Nacional Pasiva
SIRGAS: Sistema de Referencia Geodésico para las Américas
WGS84: World Geodetic System of 1984 / Sistema Geodésico Mundial de 1984

1. Introducción

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el ente del Estado costarricense encargado de producir, analizar y divulgar la información geoespacial georreferenciada y de la exactitud necesaria para la protección de los recursos del Estado, la soberanía y el desarrollo integral del país. Además, de suministrar a la sociedad y al Estado información de calidad, pertinente, veraz, técnicamente vigente y oportuna, a efecto de coadyuvar en proyectos de desarrollo que realicen los sectores público y privado.

Mediante el Decreto Ejecutivo N°33797-MJ-MOPT *Declara como datum horizontal oficial para Costa Rica, el CR05, enlazado al Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF2000) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para la época de medición 2005.83* del 30 de marzo del 2007 y publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°108 del 06 de junio del 2007, se oficializó el sistema CR05 como oficial para Costa Rica, con el propósito de garantizar la accesibilidad y la validez de las coordenadas que definen el marco de referencia. De igual manera y en consecuencia de los avances en el sistema oficial de coordenadas mediante el Decreto Ejecutivo N°40962-MJP *Actualización del Sistema Geodésico de Referencia Horizontal Oficial para Costa Rica* del 24 de enero del 2018, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°66 del 17 de abril de 2018, se establece la Actualización del Sistema Geodésico de Referencia Horizontal Oficial para Costa Rica cambiando del sistema geodésico CR05 al denominado CR-SIRGAS.

CR-SIRGAS es un sistema geodésico dinámico al que se puede acceder a través del Marco Geodésico Dinámico Nacional el cual es la infraestructura geodésica de vínculo para los diferentes trabajos en materia de geodesia y topografía.

La proyección CRTM05 se mantiene como proyección oficial para la representación cartográfica del espacio terrestre y el mar territorial. En el caso del mar patrimonial y la Isla del Coco se habilitó en el Decreto Ejecutivo N°40962-MJP el uso oficial de la proyección UTM zonas 16 y 17, con lo cual se alcanza toda la representación del país según uso y necesidad.

Las referencias verticales de país se mantienen vinculadas a la Red Vertical Nacional establecida en la década de 1940 de conformidad con los Decretos Ejecutivos N°33797-MJ-MOPT y N°40962-MJP

Finalmente, esta norma técnica establece las especificaciones de exactitud que permitirán a los usuarios de datos geoespaciales contar con información, puesta a su disposición por parte del IGN, que sea integrada con facilidad en sus procesos de producción y en la toma de decisiones; asimismo, se busca que los datos geodésicos muestren consistencia, compatibilidad y comparación en sus procesos, como resultado de la estandarización de estos.

2. Antecedentes

Con la creación del Instituto Geográfico Nacional en 1944 (Ley N°59 del 4 de julio de 1944) inician las actividades cartográficas modernas, publicando sus primeros mapas a escala 1:50.000 en el año 1954. No obstante, desde sus inicios, una de las prioridades del IGN fue la normalización de los mapas y el sistema de referencia geodésico, lo cual se llevó a cabo con la cooperación del Servicio Geodésico Interamericano de los Estados Unidos de América (IAGS) y del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).

Para lograr la normalización de la cartografía y el sistema de referencia geodésico era necesario integrar el marco geodésico o red geodésica antigua a los sistemas geodésicos de países vecinos, usando un origen común para las posiciones de latitud y longitud (datum norteamericano). Sin embargo, al no existir un enlace entre las redes en México, se estableció el datum en Ocotepeque, Honduras en 1935. El datum de Ocotepeque fue propagado a través de las cadenas de triangulación a toda Centroamérica y usado por Costa Rica en todos sus mapas. Aunque años después se realizó el enlace con México, el datum norteamericano de 1927 o NAD27 no sustituyó al datum de Ocotepeque como datum oficial, pero fue empleado en la realización de una edición cartográfica.

Aunado a lo anterior, Costa Rica utilizó una proyección cartográfica diferente a la del resto de los países de América Central, propuesta y calculada por el IAGS. El Servicio Geodésico Interamericano realizó los cálculos necesarios y utilizó la *"Proyección Cónica Conforme de Lambert"* para la conversión de valores geográficos a valores de cuadrícula en metros, dividiendo el país en dos partes: Costa Rica Norte y Costa Rica Sur. Para evitar coordenadas de cuadrículas negativas, se asignaron coordenadas métricas arbitrarias o falsas de origen.

En 1990, el Catastro Nacional con la cooperación de organismos internacionales estableció una red geodésica mediante técnicas de medición al sistema de posicionamiento global (GPS), y desarrolló una red geodésica y sistema cartográfico (CRTM90), iniciativa orientada a disponer de una estructura geodésica homogénea y un nuevo sistema oficial de coordenadas para el mapa catastral del país. Sin embargo, no se consolidó. Un nuevo intento se llevó a cabo en 1998 con el denominado proyecto "TERRA", en el cual se definió una nueva red y se vinculó al Marco Internacional de Referencia Terrestre de 1994 (ITRF94) y se determina un vector de diferencia aproximado de 7.5 m respecto a la definición hecha en 1990 (Dörries Brune & Roldán Rodríguez, 2004). Sin embargo, dado que en 1999 el proyecto TERRA ya tenía productos cartográficos referidos al CRTM90 fue conveniente mantener esa definición y de igual forma nunca se oficializó.

En el año 2005 dentro del ámbito del Programa de Regularización de Catastro y el Registro, su Unidad Ejecutora, en coordinación con el Instituto Geográfico Nacional y el entonces Catastro

Nacional, realizó estudios técnicos necesarios para la definición de un nuevo marco geodésico en el país, que de conformidad con el Decreto Ejecutivo N°33797-MJ-MOPT *Declara como datum horizontal oficial para Costa Rica, el CR05, enlazado al Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF2000) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para la época de medición 2005.83* del 30 de marzo del 2007, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°108 del 06 de junio del 2007, crea el sistema de coordenadas horizontales para Costa Rica, denominado CR05 y su proyección cartográfica asociada CRTM05 válida para la representación en la parte continental del país.

Ese sistema se vinculó directamente a la red CORS administrada por el *National Geodetic Survey* (NGS), agencia estadounidense encargada de la definición y mantenimiento del Sistema Espacial de Referencia Nacional en los Estados Unidos de América. Luego esta red CR05 se adoptó como sistema de referencia nacional, a pesar de haberse omitido el vínculo a SIRGAS¹ y de adolecer de una solución elaborada a partir de un software científico, que se rija por los más altos estándares en materia de redes geodésicas a nivel mundial.

Por otra parte, desde la concepción del CR05 se visualizó tener una red de estaciones de medición continua (GNSS) unida a una red pasiva, que involucrara puntos de las redes antiguas del IGN y del Catastro Nacional para calcular las transformaciones de coordenadas, siendo que la red activa de Costa Rica no se establece sino hasta después de 5 años de haberse definido el sistema de referencia CR05; iniciando su funcionamiento a partir junio de 2010 bajo la administración del Registro Inmobiliario y desde mayo de 2013 es administrada por el Instituto Geográfico Nacional.

La red activa está constituida por 8 estaciones GNSS de medición continua pertenecientes al Registro Nacional y se encuentran instaladas en las sedes del Banco de Costa Rica de Puntarenas, Nicoya, Liberia, Limón, Ciudad Nelly, San Isidro del General, San Carlos y en el Registro Nacional. En este último se encuentra también instalado el servidor que administra todo el sistema y que recibe la información de las estaciones vía internet.

En el año 2014 se logra la incorporación de las 8 estaciones GNSS del Registro Nacional a la red continental SIRGAS-CON al igual que otras estaciones pertenecientes a instituciones que de acuerdo con sus finalidades y competencias contribuyen de forma directa al mantenimiento y densificación del Marco Geodésico Dinámico Nacional.

¹ En la Séptima Conferencia Cartográfica para Las Américas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, Nueva York, 2001) se recomendó adoptar y promover SIRGAS, como sistema de referencia oficial. La red SIRGAS-CON constituye la materialización del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) en América Latina, constituida por más de 400 estaciones de transmisión permanente GNSS. Los datos generados en esta red se procesan a través de 9 centros de procesamiento, donde 8 de ellos están localizados en Suramérica y uno en Alemania.

Es mediante este vínculo a la red SIRGAS-CON que se logra contar con soluciones semanales semilibres y soluciones multianuales que permitieron a Costa Rica en el año 2018 a través del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP *Actualización del Sistema Geodésico de Referencia Horizontal Oficial para Costa Rica* del 24 de enero del 2018, publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°66 del 17 de abril de 2018; pasar de un marco geodésico estático CR05 a un Marco Geodésico Dinámico Nacional CR-SIRGAS. Así mismo se oficializó la proyección UTM zonas 16 y 17 para la representación de la Isla del Coco y para la representación cartográfica de las áreas marinas e insulares jurisdiccionales en el océano Pacífico y el mar Caribe a partir de la línea de base del mar territorial.

En el año 2020 se publica en el Diario Oficial La Gaceta N°223 del 4 de setiembre del 2020, la Directriz N°001-2020 *Parámetros de transformación para pasar de las épocas 2014.59 a la 2019.24 en el ITRF14 correspondiente con CR-SIRGAS* del 21 de agosto del 2020 emitida por el Instituto Geográfico Nacional. Esta directriz es una de las soluciones a seguir para actualizar la información trasladada del CR05 a CR-SIRGAS y disminuir el efecto del cambio en la posición en el tiempo por tectónica de placas.

Es a partir del Marco Geodésico Dinámico Nacional que se deben referenciar todos los levantamientos y actividades cartográficas y geodésicas que desarrollen en el territorio nacional toda dependencia pública, persona o entidad privada nacional o extranjera que emprendan o contraten trabajos geodésicos y cartográficos, contribuyéndose de esta forma a evitar el gasto público y obteniendo por otra parte información geográfica confiable, uniforme y comparable que sea de utilidad general y que apoye la toma de decisiones en los distintos niveles del Estado.

3. Disposiciones generales

3.1. Nomenclatura y nombre de la Norma Técnica:

NTIG_CR01_01.2023: *Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica*

3.2. Objetivo

Establecer las disposiciones mínimas que definen el Sistema Geodésico Nacional, para integrar el Marco Geodésico Dinámico Nacional y establecer las condiciones necesarias con el propósito de que el mismo sea homogéneo, compatible y comparable; aplicando las mejores prácticas internacionales.

3.3 Ámbito de aplicación

La presente Norma Técnica es de observancia obligatoria. La aplicación e interpretación de la presente Norma Técnica, para efectos administrativos y técnicos corresponderá al Instituto Geográfico Nacional, quien resolverá los casos no previstos por la misma y velará por su actualización conforme corresponda.

3.4 Alcance

La Norma Técnica **NTIG_CR01_01.2023: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica**, constituye un marco de referencia de carácter general sobre los requisitos mínimos que deben observar los funcionarios y usuarios del Instituto Geográfico Nacional, y en general, el sector público (Poderes de la República, instituciones autónomas y semiautónomas, entes adscritos a instituciones autónomas, instituciones académicas, empresas públicas estatales, empresas públicas no estatales, entes públicos no estatales, entes administradores de fondos públicos, municipalidades y órganos municipales adscritos), sector privado, personas físicas y público en general, productor, gestor y usuario para la georreferenciación de objetos geográficos (OG) al sistema nacional de referencia de nuestro país.

3.5 Aprobación técnica y oficialización

La Norma Técnica de Información Geográfica denominada **NTIG_CR01_06.2023 V.2: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica**, actualiza la versión previa **NTIG_CR01_01.2016**. Es aprobada técnicamente y oficializada a través de la publicación de la **Directriz N°DIG-001-2023** del Instituto Geográfico Nacional en el Diario Oficial La Gaceta N°155 del 25 de agosto del 2023.

3.6 Obligatoriedad

Las disposiciones contenidas en esta Directriz y respectiva Norma Técnica son de acatamiento obligatorio.

3.7 Vigencia

La presente Norma Técnica rige a partir de la publicación de la **Directriz DIG-001-2023 Actualización de Normativa Técnica de Información Geográfica NTIG_CR01_06.2016: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica**, por **NTIG_CR01_06.2023: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica** del 30 de junio del 2023; siendo que la Directriz DIG-001-2023 fue publicada en el Diario Oficial La Gaceta N°155 del 25 de agosto del 2023.

4. Sistema Geodésico Nacional

Con el objeto de contar con información estandarizada de marcos de referencia y datos geodésicos, y llevar a cabo las mejores prácticas, se debe tener en cuenta en los procedimientos de captación y registro, los siguientes conceptos generales:

4.1 Definiciones

Achatamiento: Relación de la diferencia entre el Semieje Mayor (a) y el Semieje Menor (b) de un Elipsoide, con respecto al Semieje Mayor.

Altura: Distancia a un punto, entre una superficie de referencia medida a lo largo de la dirección perpendicular o normal a dicha superficie y el punto.

Altura geodésica (h) o altura elipsoidal: Distancia entre un punto y la normal al Elipsoide de referencia, medida a lo largo de la perpendicular que va del Elipsoide hasta el punto.

Altura geoidal (N): Distancia vertical entre el Geoide y el Elipsoide.

Altura ortométrica (H): Distancia desde un punto en la superficie terrestre a la superficie del Geoide, a lo largo de la dirección del vector de la gravedad.

Anomalía gravimétrica: Diferencia entre la gravedad observada y la gravedad teórica.

Anomalía de aire libre: Diferencia entre la gravedad observada y la gravedad teórica corregida respecto a la altura.

Campo gravimétrico: Campo vectorial de la aceleración de la gravedad, debido al efecto conjunto de atracción entre las masas y la rotación terrestre.

Coordenadas: Un conjunto de n números que designan la posición de un punto en un plano, superficie o espacio n-dimensional.

Coordenadas compuestas: son coordenadas que se definen de igual manera que las coordenadas planas (ver coordenadas planas) y adicional la altura de referencia a una superficie diferente del elipsoide como por ejemplo el nivel medio del mar o un geoide de referencia.

Coordenadas geodésicas: Coordenadas definidas en un sistema de referencia geodésico que es esférico o elipsoidal y se aproxima a la figura de la tierra. Estas coordenadas son

dadas en un elipsoide de referencia el cual está vinculado a un datum geodésico. También se les llama coordenadas elipsóidicas y las magnitudes de estas coordenadas suelen definirse como Latitud, Longitud y altura.

Coordenadas geográficas: se definen al igual que las coordenadas geodésicas.

Coordenadas geográficas 2D: se definen al igual que las coordenadas geodésicas y se consideran sólo la latitud y longitud.

Coordenadas geográficas 3D: se definen al igual que las coordenadas geodésicas y consideran latitud, longitud y altura.

Coordenadas geocéntricas: Coordenadas cartesianas tridimensionales que definen su origen en el centro de masas terrestre o geocentro.

Coordenadas Proyectadas: Coordenadas cartesianas planas correspondientes a una proyección cartográfica vinculadas mediante funciones matemáticas y parámetros a las coordenadas geodésicas que permiten pasar de la superficie real de la tierra aproximada a un elipsoide de revolución a una superficie plana proyectada.

Datum: En la geodesia clásica se refiere al punto fundamental que sirve de referencia de un sistema coordenado. En la actualidad se hace referencia a la materialización física del sistema coordenado a lo largo de un país.

Datum horizontal: superficie elipsoidal usada como base para referenciar coordenadas geodésicas de latitud ϕ y longitud λ .

Datum vertical: superficie usada como base para referir las alturas.

Elipsoide: Sólido geométrico generado por la rotación de una elipse alrededor de uno de sus ejes.

Elipsoide de referencia: Elipsoide empleado como la mejor aproximación local o global de la forma de la Tierra.

Elevación: valor medido verticalmente a partir del geoide de referencia en un punto cualquiera.

Estándar de exactitud posicional: Especificaciones de los Órdenes de Exactitud Posicional tanto horizontal como vertical.

Geoide: es una superficie equipotencial que supone los mares en reposo y se prolonga por debajo de los continentes de modo que la dirección de las líneas verticales cruza perpendicularmente esta superficie en todos los puntos.

Georreferenciación: Conjunto de actividades u operaciones, destinadas a establecer la ubicación de puntos, conjuntos de puntos o de información geográfica en general, con relación a un determinado sistema de referencia terrestre.

ITRS: El Sistema Internacional de Referencia Terrestre reúne los conceptos, convenciones, fórmulas y definiciones para dar origen, escala, orientación en el tiempo a un sistema terrestre de coordenadas que rota con la tierra y se mueve en el espacio con ella.

ITRF: El Marco Internacional de Referencia Terrestre materializa el ITRS y conjunta una serie de técnicas de geodesia espacial para su realización, monitoreo y actualización.

Latitud geodésica o geográfica: Ángulo comprendido en la recta que une la normal al Elipsoide en un punto cualquiera y su intersección con el plano del ecuador y se mide sobre el meridiano que pasa por el punto.

Levantamiento: Conjunto de observaciones y medidas de campo y gabinete orientadas a la definición de valores y/o parámetros geodésicos.

Longitud geodésica o geográfica: Ángulo comprendido en la recta que une la normal al Elipsoide en un punto cualquiera y su intersección con el plano del meridiano de Greenwich y se mide sobre el plano Ecuatorial.

Meridiano: Círculo máximo que pasa por los polos norte y sur y que corta a la tierra en 360°.

Meridiano de Greenwich o Meridiano de referencia: Meridiano terrestre a partir del cual se miden las longitudes por convención desde el año 1884.

Metadatos: Datos sobre los datos. Información acerca de los datos que describe detalladamente sus características en términos de contenido, calidad, proyección, sistema de coordenadas y forma de distribución. Elaborados bajo la norma que para tal fin defina, establezca y difunda la autoridad competente.

Nivel medio del mar: Nivel promedio de la superficie del mar sobre todas las etapas de la marea.

Normal al elipsoide: Línea perpendicular a la superficie elipsoidal en cualquier lugar.

Ondulación: diferencia algebraica entre el geoide y el elipsoide en un punto cualquiera.

Posición geodésica: Conjunto de Coordenadas Geodésicas (elipsoídicas), que definen unívocamente la ubicación de un punto con respecto a un sistema geodésico terrestre.

Proyección cartográfica: función matemática biunívoca entre los puntos de una esfera o elipsoide con su correspondiente en un plano cartesiano o esfera.

Red Geodésica Nacional Pasiva: Conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos o marcas físicas, sobre los cuales se hayan hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación conjunta o por separado de su Posición Geodésica, Altura o del campo de gravedad asociado, con relación a los sistemas de referencia considerados.

Red Geodésica Nacional Activa: Conjunto de estaciones GNSS de medición continua pertenecientes a la red SIRGAS-CON distribuidas a lo largo del territorio nacional.

Semieje mayor: La mitad del eje mayor de un Elipsoide de referencia.

Semieje menor: La mitad del eje menor de un Elipsoide de referencia.

Sistema cartesiano de coordenadas: Sistema de referencia, en relación con n ejes rectos mutuamente perpendiculares. En el contexto de Coordenadas espaciales, el valor de n es 3, con lo que se tiene el Sistema Cartesiano Tridimensional.

Sistema de coordenadas: Conjunto de reglas matemáticas, para especificar cómo deben definirse las Coordenadas de puntos.

Sistema de coordenadas elipsoidal: Sistema de Coordenadas, en el cual la posición de un punto se determina mediante los valores de latitud, longitud y Altura, en el que se asocia un Elipsoide como referencia de las Coordenadas.

Sistema de referencia: es el conjunto de convenciones, valores, fórmulas y conceptos que definen el marco a partir del cual se pueden determinar valores de posición.

Superficie equipotencial: Superficie de potencial constante. Denominada también superficie de nivel.

Transformación de coordenadas: Proceso de cálculo, de convertir una posición dada de un punto o conjunto de puntos, en un sistema de referencia por coordenadas a la correspondiente posición, en otro sistema de referencia por coordenadas.

Vértice geodésico o punto: Cualquier ubicación para el cual se han determinado o se determinarán sus coordenadas. Sinónimo de estación geodésica o punto.

4.2 Estructura del Marco Geodésico Dinámico Nacional

Uno de los propósitos fundamentales de la Geodesia es la ubicación espacial precisa de los objetos que se encuentran sobre la superficie de la Tierra, por lo que se convierte en elemento básico garantizar la referencia de los datos y productos estadísticos y geográficos generados por las Instituciones del Estado, que integran el Sistema. Es la representación física del sistema que permite brindar acceso a coordenadas y cuantificar sus cambios en el tiempo.

4.2.1 Sistema de referencia vertical

El datum vertical o nivel de referencia oficial y vigente para Costa Rica se fundamenta en observaciones mareográficas realizadas entre las décadas de 1940-1950 y se denomina Datum Altimétrico de Costa Rica de 1952 (DACR52). En ese año, se considera la serie de observaciones del mareógrafo instalado en el muelle de Puntarenas para el ajuste y la determinación del nivel medio del mar con el cual se definió la altura de referencia de cero metros. Esta referencia altimétrica, se llevó al resto del país mediante técnicas topográficas de precisión utilizando la nivelación geométrica sobre líneas de nivelación realizadas entre las décadas de 1940 y 1960 a través de la infraestructura de la red vertical materializada con placas y pines sobre rocas o bases de concreto. En la actualidad se mantiene como sistema de oficial de alturas de acuerdo con el artículo 4 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP.

4.2.2 Sistema y marco de referencia horizontal

El sistema geodésico horizontal de Costa Rica, denominado CR-SIRGAS se define en el artículo 1 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP. Este aplica los estándares y convenciones del Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) regidos por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS). El ITRS, está materializado por el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) el cual provee las referencias globales para la Geodesia, la Geofísica y la Astronomía. En la región de América, el ITRF se encuentra densificado por el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) y de ahí se define el sistema geodésico nacional CR-SIRGAS. Este sistema, adopta el elipsoide de referencia Geodetic Reference System (GRS80) que es aplicado en las soluciones del ITRF y el cual su semieje mayor es

idéntico al WGS84 y su achatamiento ligeramente diferente causando una pequeña diferencia en el semieje menor en el orden de décimas de milímetro. CR-SIRGAS está materializado en Costa Rica a través de las estaciones GNSS de la red continental SIRGAS-CON y la denominada Red Geodésica Nacional (RGN) donde ambas definen el Marco Geodésico Dinámico Nacional (Margedin). Este Marco permite referenciar todos los levantamientos que sirven a los fines geodésicos, topográficos, cartográficos y catastrales en el Territorio Nacional de conformidad con el artículo 10 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP.

CR-SIRGAS es un sistema geodésico dinámico que incorpora el tiempo como coordenada adicional o época, la cual debe ser considerada en la generación de productos topográficos, geodésicos, cartográficos y catastrales para contar con mayor exactitud y llevar datos de una referencia temporal a otra particular u oficial. Su primera definición está alineada a la solución IGB08 del ITRF08 en la época 2014.59 y con esto se aplican las normas y convenciones internacionales relacionadas con los marcos geodésicos modernos. Las nuevas definiciones del ITRF, la geodinámica del territorio nacional y los movimientos registrados en las series temporales de estaciones GNSS evidencian cambios que deben ser consideradas en nuevas soluciones del sistema geodésico nacional.

La adopción del sistema CR-SIRGAS como sistema geodésico oficial se define en el artículo 11 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP el cual establece la actualización del sistema geodésico anterior CR05 al CR-SIRGAS mediante parámetros de transformación publicados en el Diario Oficial La Gaceta N°114 del 20 de junio de 2022 bajo la Directriz N°DIG-001-2022 *Parámetros de transformación para pasar del datum CR05 a CR-SIRGAS* del 25 de abril del 2022. En esta se brindan tres sets de parámetros para el paso del sistema CR05/ITRF00 época 2005,83 al CR-SIRGAS/ITRF08 época 2014,59. De igual manera el artículo 10 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP habilita al Instituto Geográfico Nacional para la publicación de parámetros de actualización de nuevas definiciones del sistema de referencia CR-SIRGAS según se considere; el primero de estos fue publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°223 del 04 de setiembre de 2020 bajo la Directriz N°DIG-001-2020 *Parámetros de transformación para pasar de las épocas 2014.59 a la 2019.24 en el ITRF14 correspondiente con CR-SIRGAS* del 21 de agosto del 2020, y se brindan dos sets de parámetros de transformación para llevar datos de una época más reciente CR-SIRGAS/ITRF14 época 2019.24 al sistema de referencia CR-SIRGAS/ITRF08 época 2014.59, este mecanismo se seguirá empleando a futuro.

4.2.3 Sistema de referencia gravimétrico

El sistema de referencia gravimétrico de Costa Rica se basa en la Red de Gravedad Absoluta medida en el año 2019 (RGA19) la cual forma parte de la red AGrav del Bureau Gravimétrico Internacional (BGI) y el Bureau de Cartografía y Geodesia de Alemania (BKG). Esta red se constituye como el insumo básico para la determinación de alturas ortométricas y normales mediante la definición de un modelo de geoide y cuasigeoide en el país.

4.3 Proyección cartográfica

La proyección cartográfica para la representación del país es la Proyección Transversal de Mercator que sustituyó a la proyección Cónica de Conforme de Lambert desde el año 2007 de conformidad con el artículo 2 del Decreto Ejecutivo N°33797-MJ-MOPT.

La Proyección Transversal de Mercator para Costa Rica con el acrónimo CRTM05 es una proyección Conforme Cilíndrica Transversal que tiene por parámetros: meridiano central 84° Oeste, paralelo central 0°, coordenada norte del origen 0 metros, coordenada este del origen 500 000 metros, y se proyectada con un factor de escala de 0,9999 en el meridiano central.

De conformidad con artículo 2 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP: *El sistema de proyección cartográfica CRTM05 seguirá siendo el oficial para la representación cartográfica del territorio nacional continental, extendido para efectos de aplicación de esta proyección cartográfica, hasta la línea de base del mar territorial en el océano Pacífico y el mar Caribe, definida esta línea conforme a los artículos 5, 6 y 7 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, como punto de partida para el cómputo de la anchura máxima de todas las áreas marinas jurisdiccionales del Estado costarricense.*

El artículo 3 del Decreto Ejecutivo N°40962-MJP amplía en el uso de la proyección Transversal de Mercator para otras zonas como se describe a continuación: *Se adopta el uso de la proyección cartográfica "Universal Transversal de Mercator" (UTM), zonas 16 y 17 para la representación cartográfica de las áreas marinas e insulares jurisdiccionales en el océano Pacífico y el mar Caribe a partir de la línea de base del mar territorial, donde el Estado costarricense ejerce dominio soberano de acuerdo con los parámetros establecidos por el artículo 6 de la Constitución Política dentro del marco de los principios de Derecho Internacional que establece la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Ley N° 7291, de 23 de marzo de 1992), ratificada el 21 de setiembre de 1992; correspondiendo la zona 16 UTM para el océano Pacífico, y la zona 17 UTM para el mar Caribe. No obstante, lo anterior, por motivos de oportunidad y conveniencia, el Instituto Geográfico Nacional podrá utilizar la proyección cartográfica CRTM05 para la representación cartográfica del espacio marino correspondiente a las aguas interiores y mar territorial, localizados en las proximidades de los litorales Pacífico y Caribe del territorio continental.*

La Proyección Universal Transversal de Mercator zonas 16 y 17 es una proyección Conforme Cilíndrica Transversal que tiene por parámetros: meridiano central 87° Oeste y 81° Oeste respectivamente, paralelo central 0°, coordenada norte del origen 0 metros, coordenada este del origen 500 000 metros, y se proyectada con un factor de escala de 0,9996 en el meridiano central.

4.4 Metadatos sistema de referencia

La descripción del sistema de referencia geodésico de forma espacial y temporal utiliza un conjunto de datos está compuesta por:

Título: Se refiere al nombre del sistema de la proyección de referencia del dato.

Fecha: Se refiere a la época en que se genera el elemento. Esta aplica para datos con escalas mayores a 1:1000, por ejemplo, escalas utilizadas en levantamientos topográficos y procesos que resultan de observaciones de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).

Tipo de fecha: Para el caso específico de Costa Rica es la fecha de creación o levantamiento en sitio del elemento, por lo que se debe de seleccionar esta opción de la lista controlada presente en la plantilla de metadatos geográficos.

Otros aspectos de la mención: Este apartado incluye información adicional sobre:

- **Datum:** Se refiere a la materialización del elipsoide de referencia en un territorio para tener acceso a coordenadas, latitud (Φ), longitud (λ) y altura (h). En Costa Rica se han utilizado de manera oficial:
 - Ocotepeque que considera su punto fundamental de manera local en Honduras en las cercanías fronterizas con Guatemala y el Salvador. Costa Rica se vinculó a este datum a partir de la técnica de triangulación mediante una red geodésica diseñada, medida y calculada por el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS) la cual se desarrolló para brindar referencia geodésica a la cartografía básica de escala 1:50.000 y se le denomina red geodésica clásica. El datum de Ocotepeque consideró como elipsoide de referencia Clark 1866.
 - CR05 que considera la Red Geodésica Nacional medida en el 2005 por el Catastro Nacional (hoy día Registro Inmobiliario) y el Instituto Geográfico Nacional constituida por vértices geodésicos de la red clásica y otros vértices de las densificaciones cantonales realizadas por el Catastro Nacional. Esta red materializa el elipsoide WGS84 y se vinculó al ITRF2000 en la época 2005,83.

- o CR-SIRGAS que considera las estaciones GNSS que forman parte de la red SIRGAS-CON y la Red Geodésica Nacional del 2005 que ha sido remedida en otras épocas y materializa en el país la densificación del Marco Internacional de Referencia Terrestre con coordenadas en elipsoide GRS80. Este datum es dinámico por lo cual se realizan reajustes para llevar los datos de épocas más actuales a su definición en el año 2014. Está vinculado al ITRF08 específicamente a la definición IGB08 en la época 2014,59.
- Elipsoide de referencia: Es un elipsoide que se utiliza como superficie matemática de referencia posicional en cálculos geodésicos, para Costa Rica: Clark 1866, WGS84 y GRS80.
- ITRF: Es un conjunto de puntos con sus coordenadas cartesianas en 3 dimensiones distribuidos en todo el mundo y que sirven como un sistema de referencia ideal, según lo definido por la Resolución N°2 UIGG adoptada en Viena, 1991.
- Época: Se refiere a la época en la cual se realiza una medición que tiene vínculo directo con la realización más actual del ITRF y que es necesario incorporar a efectos de considerar la variación de su posición en el tiempo por variaciones debidas a la tectónica de placas y deformaciones locales. Por ejemplo, la época para el dato CR05 equivale a 2005,83, que corresponde al 29 de octubre del año 2005, ésta se calcula de la siguiente manera:

Se suma la cantidad de días acumulados de cada mes del año 2005 hasta setiembre, más los 29 días del mes de octubre, esto corresponde a 302 días que es el día del año. Esta sumatoria o número de día anual se dividen por el total de días del año, o sea 365 y el resultado redondeado es 0,83.

$$\text{Día del año} = \text{ene} + \text{feb} + \text{mar} + \text{abr} + \text{may} + \text{jun} + \text{jul} + \text{ago} + \text{set} \\ + 29 \text{ días de octubre}$$

$$\text{Día del año} = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 30 + 29 = 302$$

$$\text{Época} = \text{año} + \frac{\text{Días del año}}{\text{Total de días del año}} = 2005 + \frac{302}{365} = 2005,83$$

Código: Corresponde con la identificación del Código **EPSG** que se asigna al sistema de coordenadas de referencia en el conjunto de parámetros geodésicos del *European Petroleum Survey Group* (EPSG) organismo que en 1985 conglomeró el primer conjunto de parámetros geodésicos para transformaciones de coordenadas de diferentes países y que pasó a ser el

Comité de Topografía y Posicionamiento de la Asociación Internacional de Productores de Aceite y Gas (OGP de sus siglas en inglés).

Cuadro N°1. Códigos EPSG para Costa Rica

Nombre	Código EPSG	Tipo	Descripción
Clark 1866	7008	Elipsoide	Elipsoide de referencia utilizado para aproximar la figura de la tierra en el Datum de Ocotepeque.
Ocotepeque 1935	1070	Datum Geodésico	Datum de Ocotepeque al cual está referida la cartografía en el sistema de proyección cónica conforme de Lambert.
Ocotepeque 1935	5451	Geográfico 2D	Coordenadas geográficas en latitud y longitud.
Ocotepeque 1935 / Costa Rica Norte	5456	Proyectado	Planas en la proyección cónica conforme de Lambert Norte vinculadas al datum de Ocotepeque.
Ocotepeque 1935 / Costa Rica Sur	5457	Proyectado	Planas en la proyección cónica conforme de Lambert Sur vinculadas al datum de Ocotepeque.
Ocotepeque 1935 a CR05	6890	Transformación de coordenadas	Transformación de coordenadas de Molodensky de 3 parámetros para el paso de Ocotepeque 1935 a CR05.
WGS84	7030	Elipsoide	Elipsoide de referencia utilizado para aproximar la figura de la tierra en el Datum CR05.
CR05	1065	Datum Geodésico	CR05 (ITRF2000 época 2005,83)
CR05	5363	Geocéntrico	Coordenadas Geocéntricas en X, Y, Z
CR05	5364	Geográfico 2D	Coordenadas geográficas en latitud y longitud.
CR05	5365	Geográfico 3D	Coordenadas geográficas en latitud, longitud y altura.
CR05/CRTM05	5367	Proyectadas	Planas en CRTM05 vinculadas al datum CR05 (ITRF2000-época 2005.83)
GRS80	7019	Elipsoide	Elipsoide de referencia utilizado para aproximar la figura de la tierra adoptado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en 1979 y utilizado en el Marco Internacional de Referencia Terrestre.
CR-SIRGAS	1225	Datum Geodésico	CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014,59) También tiene el alias de CR14.
CR-SIRGAS	8905	Geocéntrico	Coordenadas Geocéntricas en X, Y, Z
CR-SIRGAS	8906	Geográfico 2D	Coordenadas geográficas en latitud y longitud.
CR-SIRGAS	8907	Geográfico 3D	Coordenadas geográficas en latitud, longitud y altura.
CR-SIRGAS / CRTM05	8908	Proyectadas	Planas en CRTM05 vinculadas al datum CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014.59)

Nombre	Código EPSG	Tipo	Descripción
CR-SIRGAS / CRTM05 + DACR52	8912	Compuestas	Sistema de Referencia de Coordenadas Compuesto por el datum CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014.59) Proyectado a CRTM05 referido verticalmente al Datum Altimétrico de Costa Rica de 1952 establecido en el mareógrafo de Puntarenas
CR-SIRGAS / UTM zone 16N	8909	Proyectadas	Planas en UTM16 vinculadas al datum CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014.59)
CR-SIRGAS / UTM zone 17N	8910	Proyectadas	Planas en UTM17 vinculadas al datum CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014.59)
CR05 a CR-SIRGAS (1)	9751	Transformación de coordenadas	Transformación de coordenadas de Helmert de 7 parámetros modelo de Bursa-Wolf que considera la convención Coordinate Frame Rotation para el paso de CR05 (ITRF00-época 2005.83 a CR-SIRGAS (ITRF2008/IGb08-época 2014.59). También tiene el Alias de transformación de CR05 a CR14.
CR05 a WGS84 (2)	9752	Transformación de coordenadas	Transformación de coordenadas de Helmert de 7 parámetros modelo de Bursa-Wolf que considera la convención Coordinate Frame Rotation para el paso de CR05 (ITRF00-época 2005.83) a WGS84 (ITRF2008/IGb08-época 2014.59) asumiendo que CR-SIRGAS es equivalente a WGS84.

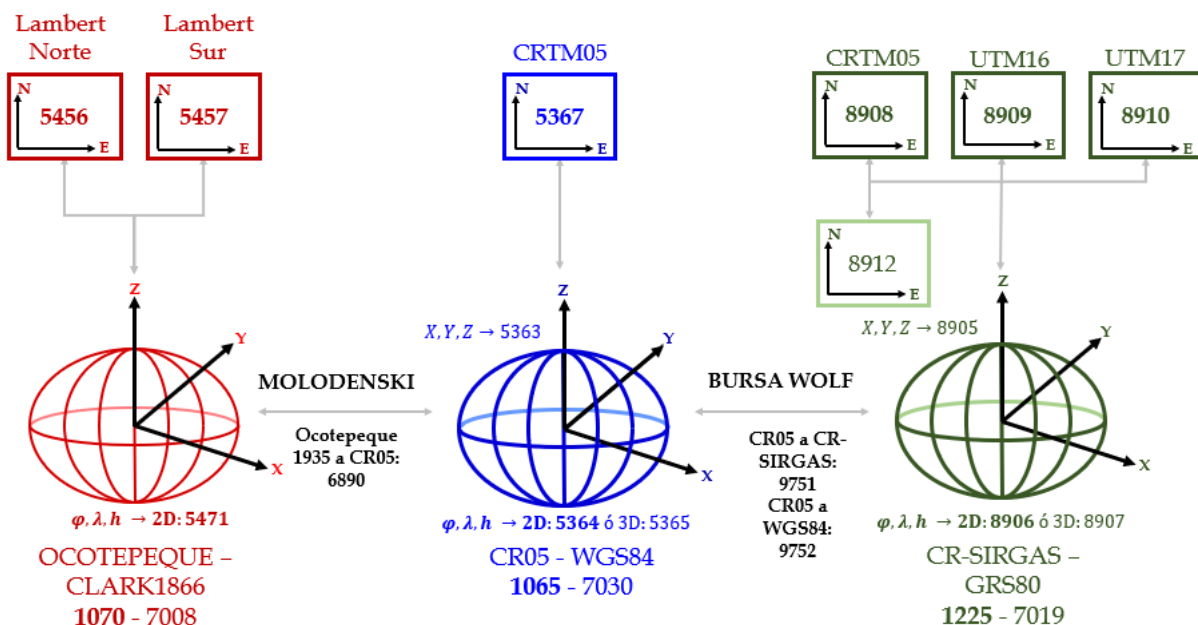


Figura N°1. Relación entre Sistemas de Coordenadas de Referencia para Costa Rica

Los códigos presentados en el cuadro N°1 define la clasificación de tipos de coordenadas para los sistemas de referencia oficiales antiguos y vigentes de Costa Rica. Esta clasificación puede verse de forma de diagrama en la figura N°1. Las transformaciones de coordenadas se realizan entre sistemas geodésicos, si se pasa de coordenadas proyectadas de Ocotepeque/Lambert Norte a CR05/CRTM05 el flujo considera la conversión de planas en Lambert Norte a geográficas 2D en Ocotepeque, una transformación de Molodensky para llegar a coordenadas geográficas 2D en CR05 y luego la proyección a planas en CRTM05. El ejemplo anterior es lo mismo que pasar del sistema EPSG:5456 al EPSG:5367. Si se pasa de coordenadas Ocotepeque/Lambert Norte a CR-SIRGAS/CRTM05 se utilizaría la transformación de EPSG:5456 a EPSG:8908; internamente en los softwares que utilizan las definiciones EPSG realizarían las dos transformaciones de Ocotepeque a CR05 y de este a CR-SIRGAS.

El sistema CR-SIRGAS / CRTM05 + DACR52 con el código EPSG:8912 es un sistema compuesto el cual tiene la misma definición del código EPSG:8908 de sistema geodésico y proyección cartográfica e integra el sistema altimétrico de la red vertical, es decir, referencias al nivel medio del mar si éstas fueron obtenidas mediante técnicas de nivelación.

5. Especificaciones técnicas geodésicas

Las especificaciones técnicas para ser aplicadas en procesos geodésicos y topográficos se brindan bajo un criterio de condiciones mínimas de referencia que deben de ser alcanzadas en el desarrollo de insumos de información.

5.2 Exactitud planimétrica

Cuadro N°2. Exactitud Planimétrica para control y densificaciones

Orden de exactitud	Error Tolerable	Aplicaciones
*S/C	<< 1 cm.	Estudios de deformación local, geodinámicos, tectónicos, vulcanológicos, estaciones de medición continua, etc.
1	< 3 cm.	Red Geodésica de Primer Orden
2	< 5 cm.	Red Geodésica de Segundo Orden.
3	< 10 cm.	Red Geodésica de Tercer Orden.

Orden de exactitud	Error Tolerable	Aplicaciones
4	< 10 cm.	Densificación nacional de vértices geodésicos para proyectos catastrales municipales, proyectos de obras civiles y otros.

* S/C: Sin Clasificación. Esto se refiere al orden de exactitud.

Las clasificaciones de 1°, 2° y 3° orden se refiere a técnicas donde se utilizan equipos receptores GNSS de doble frecuencia en las cuales el vínculo debe hacerse al menos a dos referencias fijas para obtener una solución por mínimos cuadrados considerando un nivel de confianza del 95% de probabilidad o dos sigmas. Para trabajos geodésicos con equipos y técnicas convencionales en áreas menores a 10 km se pueden aplicar los mismos criterios y debe considerarse una mayor redundancia de observaciones.

La clasificación de 4° orden es una clasificación que actualmente se le está brindando a todas las nuevas densificaciones geodésicas en el país, debido a que de manera estricta la medición en red considera la superabundancia de observaciones, una geometría rigurosa y el vínculo a distintos puntos de una red. Las nuevas densificaciones aplican una medición nodal en la cual el nuevo vértice densificado se vincula a las estaciones GNSS de la red SIRGAS-CON de forma independiente. Por lo anterior, esta clasificación no desmerita la exactitud y por el contrario integra soluciones con exactitudes mayores que pueden ser consideradas según un requerimiento particular.

Cada solución de coordenadas tiene una época para la cual es válida y con el paso del tiempo sus valores van cambiando por la deriva continental y deformaciones locales que se presentan, de ahí que sea de suma importancia definir bien su referencia temporal.

Cuadro N°3. Exactitud Planimétrica para otras finalidades

Orden de exactitud	Error Tolerable	Aplicaciones
S/C	< 10 cm.	Apoyo topográfico de obras de ingeniería de alta precisión. Amojonamiento de fronteras internacionales, fronteras nacionales y delimitaciones oficiales en zonas de alta plusvalía. Apoyo para sensores de teledetección aerotransportados según requerimiento. Puntos de control fotogramétrico para vuelos cuya escala sea de hasta 1:5 000. Determinación de posiciones derivadas de mapas de escala 1:500 en el 90% de los casos. Levantamientos GNSS en la modalidad RTK para 99% de los casos.
S/C	< 20 cm.	Densificación para proyectos catastrales y determinación de puntos identificables en la cartografía y ortofotos escala 1:1 000 en el 90% de los casos. Proyectos de carreteras, puntos de control fotogramétrico para vuelos de escala 1:5 000 a 1:15 000. Trabajos en Zona Marítimo Terrestre, puntos de control en aeropuertos y aeródromos. Apoyo para sensores de teledetección aerotransportados según requerimiento. Levantamientos topográficos en zonas boscosas, cañones de ríos y zonas de alta plusvalía. Levantamientos GNSS en la modalidad RTK para 66% de los casos.
S/C	< 50 cm.	Apoyo fotogramétrico para vuelos de escala 1:15 000 a 1:20 000. Apoyo para rectificación de imágenes satelitales que requieran esta exactitud. Determinación de posiciones derivadas de mapas de escala 1:2 500 en el 90% de los casos.
S/C	< 1 m.	Determinación de posiciones derivadas de mapas de escala 1:5 000 en el 90% de los casos. Apoyo fotogramétrico para vuelos de escala 1:20 000 a 1:50 000. Apoyo para rectificación de imágenes satelitales que requieran esta exactitud. Linderos de Parques Nacionales, Reservas, etc.
S/C	< 2 m.	Apoyo fotogramétrico para vuelos de escala 1:50 000 a 1:75 000. Apoyo para rectificación de imágenes satelitales que requieran esta exactitud. Determinación de posiciones derivadas de mapas de escala 1:10 000 en el 90% de los casos.

Orden de exactitud	Error Tolerable	Aplicaciones
S/C	< 5 m.	Levantamientos topográficos en zonas boscosas, cañones de ríos y zonas de baja plusvalía. Apoyo para rectificación de imágenes satelitales que requieran esta exactitud. Determinación de posiciones derivadas de mapas de escala 1:25 000 en el 90% de los casos.

* S/C: Sin Clasificación. Esto se refiere al orden de exactitud.

Para los fines de aplicaciones enunciadas en cuadro N°3 debe considerarse también la época de referencia, principalmente en los tres primeros rangos de exactitud.

5.3 Exactitud altimétrica

Cuadro N°4. Exactitud altimétrica para control y densificaciones

Orden	Clase	Error de cierre entre secciones	Error de cierre de la línea	Separación entre líneas (km)	Aplicaciones
1	I	$3mm\sqrt{D_{km}}$	$4mm\sqrt{D_{km}}$	100-300	Red vertical primer orden
1	II	$4mm\sqrt{D_{km}}$	$5mm\sqrt{D_{km}}$	50-100	
2	I	$6mm\sqrt{D_{km}}$	$8mm\sqrt{D_{km}}$	25-50	Red vertical segundo orden
2	II	$8mm\sqrt{D_{km}}$	$12mm\sqrt{D_{km}}$	10-25	
3	s/c	$12mm\sqrt{D_{km}}$	$12mm\sqrt{D_{km}}$	0-10	Red vertical tercer orden

Cuadro N°5. Exactitud altimétrica para otras aplicaciones

Orden	Clase	Error de cierre entre secciones	Error de cierre de la línea	Separación entre líneas (km)	Aplicaciones
s/c	s/c	$8mm\sqrt{D_{km}}$	$12mm\sqrt{D_{km}}$	10-25	Proyectos de ingeniería, levantamientos locales, poligonación de apoyo en levantamiento de curvas de nivel.

s/c	s/c	$12mm\sqrt{D_{km}}$	$12mm\sqrt{D_{km}}$	0-10	Proyectos de ingeniería pequeños, cartografía de gran escala, estudios de drenajes.
-----	-----	---------------------	---------------------	------	---

Nota: para todas las clasificaciones en el cuadro N°4 y N°5 se considera la nivelación diferencial como método idóneo aplicable las exactitudes también a trabajos menores a 10 km. En el tercer orden se puede utilizar nivelación trigonométrica.

6. Validación de vértices geodésicos

Los trabajos geodésicos o topográficos deberán estar vinculados al control geodésico existente, por lo cual, se debe de verificar el acceso de información al Marco Geodésico Dinámico Nacional en el sector a trabajar, o bien, establecer nuevas referencias utilizando las especificaciones de exactitud recomendadas en esta normativa.

La validación de nuevos vértices geodésicos corresponde a un proceso en el cual los usuarios que desarrollan proyectos en los que pueden establecer referencias físicas en el terreno que deben contar con el vínculo a los sistemas oficiales y pueden ser sometidos al Instituto Geográfico Nacional para su validación.

6.1 Enlace horizontal

El vínculo a las estaciones GNSS de la Red SIRGAS-CON existentes en el país o la Red Geodésica Nacional, se puede realizar mediante procedimientos de medición satelital o técnicas convencionales de topografía.

El marco legal está definido en el Decreto Ejecutivo N°40962-MJP en los artículos:

Artículo 1° -El sistema geodésico de referencia horizontal oficial para Costa Rica, denominado como CR05 y su materialización mediante la Red Geodésica Nacional, cambia en sus siglas a CRSIRGAS, como sistema de referencia horizontal oficial para la República de Costa Rica,

enlazado al Marco Internacional de Referencia Terrestre ITRF2008 (IGb08), para la época de medición 2014.59, y en adelante, los cambios y su actualización, se registrarán de acuerdo a las nuevas definiciones del ITRF que se implementen en la red continental del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) denominada SIRGAS-CON.

Artículo 7º-Forman parte de la Red Geodésica Nacional de referencia horizontal de Primer Orden y sus densificaciones, las estaciones GNSS activas materializadas en Costa Rica mediante la red de estaciones GNSS del Registro Nacional administrada por el Instituto Geográfico Nacional que integran el Marco Geodésico Dinámico Nacional.

Artículo 8º-Podrán formar parte del Marco Geodésico Dinámico Nacional las estaciones GNSS de instituciones académicas de educación superior y organizaciones públicas del Estado Costarricense que, conforme a su correcta instalación, estabilidad, trayectoria y respaldo institucional, cumplan con la normativa para ser parte del Marco Geodésico Dinámico Nacional, conforme los lineamientos técnicos y procedimientos que defina y oficialice el Instituto Geográfico Nacional, mediante resolución administrativa debidamente razonada y motivada, oficializada a través de su publicación en el Diario Oficial La Gaceta y el geoportal del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

Artículo 9º-Los datos geodésicos que generen las estaciones GNSS de las instituciones académicas de educación superior y las organizaciones públicas del Estado Costarricense, previo cumplimiento de lo normado en el artículo 8º anterior, podrán ser utilizados por el Instituto Geográfico Nacional, para su oficialización y uso, contribución y actualización periódica del sistema de referencia horizontal CR-SIRGAS, y para el desarrollo de actividades geodésicas, geofísicas, topográficas, cartográficas y catastrales.

Esta información puede ser consultada en:

- Red de estaciones GNSS del Registro Nacional:
<https://gnss.rnp.go.cr/SBC/Account/Index?returnUrl=%2FSBC>
- Red Geodésica Nacional: <https://www.snitcr.go.cr/>
- Coordenadas de las estaciones GNSS: <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/>

6.1 Enlace vertical

El vínculo a la Red Vertical Nacional mediante técnicas de nivelación geométrica o trigonométrica según sea la finalidad se realiza a partir de los bancos de nivel existentes en el país.

El marco legal está definido en el Decreto Ejecutivo N°40962-MJP en el artículo:

Artículo 4º-Mientras no se disponga de una red de referencia vertical actualizada, modelo de geoide, red gravimétrica y series de mediciones de datos mareográficos contemporáneas oficiales para Costa Rica asociado al "datum" geodésico horizontal CR-SIRGAS, el "datum" o nivel de referencia vertical o red de nivelación, seguirá siendo el tradicional, determinado por técnicas de topografía convencionales y las observaciones mareográficas tomadas para las épocas entre 1940 y 1960 correspondientes a la determinación del nivel de referencia con base en el nivel medio del mar.

Esta información puede ser consultada en:

- Red Geodésica Nacional: <https://www.snitcr.go.cr/>

6.3 Ficha de información geodésica

De manera anexa a esta norma se cuenta con una ficha actualizada para el registro de la información geodésica generada por la institución y por terceros en procesos de validación. La ficha en su segunda versión será el recurso que conglomerará las coordenadas, época de medición, ubicación administrativa y otros metadatos de información.

La ficha de información geodésica puede ser consultada en el SNIT como uno de los geoservicios y para los procesos de validación mediante los gestores.

7. Consideraciones finales

- Esta segunda versión de la Norma Técnica *Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica* espera solventar las necesidades que se han presentado en el pasado y se espera constituya en una herramienta de uso generalizado para todos los usuarios que la requieran para realizar sus proyectos en el país.
- La norma técnica brinda fundamento y sustento al Marco Geodésico Dinámico Nacional, al mantenimiento y densificación de la Red Geodésica Nacional Pasiva y Activa, la Red Vertical Nacional para la integración de datos geodésicos al Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).
- Se espera que, con esta Norma Técnica, se establezca el marco normativo esencial e indispensable, que permitan a un levantamiento geodésico determinado, cualquiera que sea su origen, objetivo y metodología empleada, inventariarse e integrarse al Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) según corresponda.

8. Bibliografía

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., and Collilieux, X. (2016), *ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions*, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 6109–6131, doi:[10.1002/2016JB013098](https://doi.org/10.1002/2016JB013098).
- Aguilera Ureña M., Meroño de Lariva J. Gómez Molina A. (2002). *Trabajos Geodésicos con GPS para el Apoyo de Ortofotografías Digitales 1:5.000 y 1:10.000 en los departamentos de Chiquimula y Zacapa (Guatemala)*. XIV Congreso de Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España.
- Chaverri Roig Martin. (1994). *El surgimiento del Instituto Geográfico: Una nota histórica*. Volumen 4, número 2. Revista Ingeniería, de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.
- Comité de Geodesia del IPGH. (1986). *Manual de Normas y Especificaciones para Levantamientos Geodésicos de Alta Precisión en Áreas Pequeñas*. Distrito Federal, México. Editora e Impresora Internacional, S.A. de C.V. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- Decreto Ejecutivo N°33797-MJ-MOPT de 2007. *Declara como datum horizontal oficial para Costa Rica, el CR05, enlazado al Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF2000) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para la época de medición 2005,83 del 30 de marzo del 2007*. Publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°108 del 06 de junio del 2007.
- Decreto Ejecutivo N°40962 MJP de 2018. *Actualización del Sistema Geodésico de Referencia Horizontal Oficial para Costa Rica del 24 de enero del 2018*. Publicado en el Diario Oficial La Gaceta N°66 del 17 de abril de 2018.
- Escuela Politécnica Superior, Departamento ICGF. *Grupo de Trabajo de los Estándares Geodésicos (CNUGGI)*. (1996). *Estándares geodésicos (GPS)*, República de Argentina, Primera Edición.
- IGM-Ecuador. (2006). *Especificaciones Técnicas Generales para la Realización de Cartografía Topográfica a Cualquier Escala*. (Primer Borrador).
- IGN-RN (2016). *NTIG_CR01_01.2023: Sistema de Referencia Geodésico de Costa Rica*, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional
- INEGI. (2006). *Norma Técnica NTG-014 - 2006 Ortofotos Digitales*. México
- INEGI (2019). *Marco de referencia ITRF en México y su relación con WGS84 y NAD27*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México

- Martin Asin F. (1990). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Madrid, España. Tercera Edición.
- Moya Zamora J., Cedeño Montoya B. (2016) *Conceptos básicos en geodesia como insumo para un tratamiento adecuado de la información geoespacial*. Costa Rica, Revista Geografía de América Central, vol. 1, núm. 58, pp. 51-78, 2017
- Note, G. G. (2018). 7, Part 2: *Coordinate Conversions & Transformations including Formulas*. International Association of Oil & Gas Producers, Report 373-7-2
- Note, G. G. (2019). *Geomatic guidance note 25 dynamic versus static CRSs and use of the ITRF*, International Association of Oil & Gas Producers, Report 373-25
- ONU. (05 de 10 de 2019). SEI.org. Obtenido de <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2018/10/metodolog%C3%ADa-completa-taller-interacciones-ods-bogot%C3%A1-7-8-marzo.pdf>
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2002). *Manual del sistema geodésico mundial 1984 (WGS84)*. Segunda Edición.
- Rappleye H.S. (1948) *Manual of leveling computation and adjustment*, Coast and Geodetic Survey, U.S. Department of Commerce.
- Zakatov P.S. (1981). *Curso de Geodesia Superior*. Editorial Mir

Anexo 1