

## Consideraciones técnicas en los procesos de georreferenciación dentro del Marco Geodésico Nacional CR-SIRGAS

Technical considerations in georeference processes within the CR-SIRGAS National Geodetic Frame

Considerações técnicas em processos de georreferenciamento no âmbito do Marco Geodésico Nacional CR-SIRGAS

*Jorge Moya Zamora*<sup>1</sup>

*Universidad Nacional, Costa Rica*

*Sara Bastos Gutiérrez*<sup>2</sup>

*Universidad Nacional, Costa Rica*









*Kenneth Ovares Sánchez*<sup>3</sup>

*Universidad Nacional, Costa Rica*

*Priscilla Murillo Arroyo*<sup>4</sup>

*Subdirección Catastral. Departamento Catastral Registral.*

*Registro Inmobiliario. Costa Rica*

- 1 Doctor en Ingeniería Geográfica. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional,  [jorge.moya.zamora@una.cr](mailto:jorge.moya.zamora@una.cr),  <https://orcid.org/0000-0001-6953-4885>
- 2 Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional,  [sara.bastos.gutierrez@una.cr](mailto:sara.bastos.gutierrez@una.cr),  <https://orcid.org/0000-0002-9167-7396>
- 3 Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional,  [kenneth.ovares.sanchez@una.cr](mailto:kenneth.ovares.sanchez@una.cr),  <https://orcid.org/0009-0005-7381-0594>
- 4 Licenciada en Ingeniería Topográfica y Catastral. Subdirección Catastral. Departamento Catastral Registral. Registro Inmobiliario. Costa Rica,  [priscillamurillo@hotmail.com](mailto:priscillamurillo@hotmail.com),  <https://orcid.org/0009-0007-2059-1775>

Efraín Menjivar Pérez<sup>5</sup>

*Subdirección Catastral. Departamento Catastral Registral.  
Registro Inmobiliario. Costa Rica*

Yohanna Céspedes Argüello<sup>6</sup>

*Subdirección Catastral. Departamento Catastral Registral.  
Registro Inmobiliario. Costa Rica*

Erick Ovares Sánchez<sup>7</sup>

*Gestión Ordenamiento Territorial. Proceso Geomática.  
Subproceso Geodesia. Municipalidad de Santa Ana. Costa Rica*



### Resumen




Se presentan una serie de consideraciones técnicas para los procesos metodológicos de levantamientos topográficos convencionales y satelitales aplicados en la captura de datos geoespaciales, los cuales son cada vez más rápidos y eficientes implicando altos niveles de producción con grandes volúmenes de puntos definidos inicialmente de manera tridimensional. Sin embargo, su correcta vinculación a una época específica del Marco Geodésico Nacional de Referencia de Costa Rica CR-SIRGAS requiere de un tratamiento particular, para cumplir con las actuales directrices y regulaciones de las autoridades nacionales cuando la finalidad sea la inscripción catastral. Por otro lado, están también los levantamientos cuyos objetivos no necesitan de un componente catastral, pero que igualmente deben apoyarse en procesos técnicos claros tanto en las etapas de captura de la información como en su procesamiento.

**Palabras clave:** Georreferenciación, Marco Geodésico Nacional de Referencia CR-SIRGAS, catastro, directrices, época de referencia, levantamiento topográfico



### Abstract

A series of technical considerations are presented for the methodological processes of conventional and satellite topographic surveys applied in the capture of geospatial data, which are increasingly faster and more efficient, involving high levels of production with large volumes of points initially defined in a three-dimensional way. However, its correct link to a specific period of the National Geodetic Reference Framework of Costa Rica CR-SIRGAS requires a particular treatment, to comply with the current guidelines and regulations of the national authorities when the purpose is the cadastral registration. On the other hand, there are also surveys whose objectives do not require a cadastral component, but which must also be supported by clear technical processes both in the information capture and processing stages.

- 5 Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Subdirección Catastral. Departamento. Catastral Registral. Registro Inmobiliario. Costa Rica y Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional, efrain.menjivar.perez@una.cr,  <https://orcid.org/0009-0000-2415-2285>
- 6 Licenciada en Ingeniería en Topografía y Geodesia. Subdirección Catastral. Departamento. Catastral Técnico. Registro Inmobiliario. Costa Rica. yoca2229@yahoo.es,  <https://orcid.org/0009-0000-1859-7763>
- 7 Máster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Gestión Ordenamiento Territorial. Proceso Geomática. Subproceso Geodesia. Municipalidad de Santa Ana. Costa Rica y Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia. Universidad Nacional, erick.ovares.sanchez@una.cr,  <https://orcid.org/0009-0000-5914-1113>

**Keywords:** Geo-reference, Nacional Geodetic Reference Frame CR-SIRGAS, cadastre, guidelines, reference epoch, surveying



### Resumo

Uma série de considerações técnicas são apresentadas para os processos metodológicos de levantamentos topográficos convencionais e por satélite aplicados na captura de dados geoespaciais, que estão cada vez mais rápidos e eficientes, envolvendo altos níveis de produção com grandes volumes de pontos inicialmente definidos de forma tridimensional. No entanto, sua correta vinculação a uma época específica do Quadro Nacional de Referência Geodésica da Costa Rica CR-SIRGAS requer um tratamento particular, para cumprir as diretrizes e regulamentos vigentes das autoridades nacionais quando o objetivo é o registro cadastral. Por outro lado, existem também levantamentos cujos objetivos não requerem um componente cadastral, mas que também devem ser apoiados por processos técnicos claros tanto nas etapas de captura das informações quanto em seu processamento.

**Palavras-chave:** Georreferenciamento, Quadro Nacional de Referência Geodésico CR-SIRGAS, cadastro, diretrizes, período de referência, levantamento topográfico

### Introducción

El Marco Geodésico Nacional de Referencia de Costa Rica (CR-SIRGAS) se definió inicialmente para la época de referencia  $t_0 = 2014,59$  y con vínculo al marco internacional IGB2008. En el aspecto catastral, actualmente, los profesionales nacionales que ejercen la agrimensura deben cumplir con las disposiciones de una serie de directrices que regulan, entre otros aspectos, la referencia temporal para las inscripciones de los polígonos que representan la forma y cabida de los bienes inmuebles dentro del territorio nacional a la época de referencia del anterior marco geodésico de referencia CR05. Se presentan una serie de conceptos generales de aplicación actual en las distintas etapas de los procesos de georreferenciación junto con algunos ejemplos numéricos. Además, se listan y categorizan los principales insumos catastrales disponibles que son usados por los profesionales. Finalmente, se exponen una serie de consideraciones técnicas derivadas de las principales metodologías de levantamientos topográficos de mayor uso actualmente en el país.

## Marco conceptual

### La necesidad de un marco referencia global

Según [UNOOSA \(2023\)](#), la geodesia moderna trabaja con una doble función, por un lado, mantiene y constantemente mejora sus técnicas de observación, procesamiento e instrumental para continuar cumpliendo con su tarea clásica de describir la forma, el campo de gravedad, la representación y la ubicación espacial del sistema Tierra, así como de sus variaciones temporales dentro de un sistema de referencia global. Sin embargo, [Rizos \(2012\)](#) señala que, actualmente, la geodesia se define también en términos de sus capacidades, por ejemplo, brindando información y parámetros para la determinación de posiciones globales tridimensionales de manera estática y cinemática, representación cartográfica de la geometría de la superficie terrestre, incluyendo sus cuerpos de agua líquida y capas congeladas, determinación espacio temporal del campo de gravedad y la medición dinámica de fenómenos naturales entre otras más. Toda la infraestructura geodésica global destinada a investigaciones científicas proporciona información sobre las propiedades elementales del planeta Tierra a medida que cambian con el tiempo. El mismo autor explica que la cuantificación de estos cambios es fundamental para lograr una identificación efectiva de las causas que los producen, poder anticiparlos y contar con una respuesta hacia los cambios futuros.

Estas y otras tareas requieren de un marco de referencia de alta exactitud, el cual, adicionalmente brinda una serie de beneficios a la sociedad mundial permitiendo entre otros realizar estudios geofísicos, atmosféricos, criosféricos, hidrológicos y biosféricos, así como también investigaciones sobre cambio climático, el ciclo del agua, el transporte de masas, los cambios del nivel del mar y el derretimiento de las capas polares. Además, contribuye significativamente en la prevención y mitigación de desastres naturales causados por vulcanismo, sismicidad, deslizamientos, tormentas y tsunamis. Para [Bock y Wdowinski \(2020\)](#) y el mismo [Rizos](#), el marco geodésico de referencia global es indispensable también en las labores modernas de la ingeniería vinculadas con la determinación y establecimiento de las referencias geodésicas nacionales, el posicionamiento y navegación en tiempo real de precisión, la captura de información geoespacial y la adecuada georreferenciación.

## El Marco Internacional Terrestre de Referencia

[Petit y Luzum \(2010\)](#) establecen que el Sistema Internacional Terrestre de Referencia (ITRS) describe idealmente un sistema de referencia global por medio de prescripciones y convenciones que conjuntamente permiten la definición del origen, la escala, la orientación y evolución en el tiempo de un Sistema de Referencia Convencional Terrestre (CTRS). El ITRS toma como centro el geocentro de la Tierra incluyendo la masa hidrósfera y la atmósfera, como dirección del eje Z el polo medio convencional, un plano ecuatorial medio sobre el cual están contenidos los ejes X e Y formando un sistema ortogonal de mano derecha junto con el eje Z y una evolución en el tiempo de la orientación mediante la aplicación de la condición No Net Rotation (NNR) respecto a los movimientos horizontales sobre toda la Tierra, además, señalan [Altamimi, Sillard y Boucher \(2003\)](#), es un sistema métrico que rota con la Tierra.

La IERS (2023) establece que la materialización del ITRS está dada por medio del Marco Internacional Terrestre de Referencia (ITRF) el cual es un conjunto de estaciones distribuidas mundialmente y sobre las cuales se realizan observaciones de las diferentes técnicas de la geodesia espacial según la resolución No. 2 de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG). Hasta el momento se han calculado las siguientes soluciones: ITRF89 y ITRF90 en [Boucher y Altamimi \(1991\)](#); ITRF91 en [Boucher, Altamimi y Duhem \(1992\)](#); ITRF93 en [Boucher, Altamimi y Duhem \(1994\)](#); ITRF94 en [Boucher, Altamimi, Feissel y Sillard \(1996\)](#); ITRF96 en [Boucher, Altamimi y Sillard \(1998\)](#); ITRF97 en [Boucher et al. \(1999\)](#); ITRF2000 en [Boucher, Altamimi, Sillard y Feissel-Vernier \(2004\)](#); ITRF2005 en [Altamimi, Collilieux, Legrand, Garayt y Boucher \(2007\)](#); ITRF2008 en [Altamimi et al. \(2011\)](#); ITRF2014 en [Altamimi, Rebischung, Métivier y Collilieux \(2016\)](#); y la más reciente, denominada ITRF2020 en [Altamimi, Rebischung, Collilieux, Métivier y Chanard \(2023\)](#).

La identificación de las diferentes soluciones sigue la nomenclatura ITRFyy donde yy representa el último año en que se usaron datos. Cada una de las soluciones brinda para cada una de las estaciones consideradas los valores de las coordenadas cartesianas geocéntricas (X, Y, Z), sus errores ( $s_x$ ,  $s_y$ ,  $s_z$ ), las variaciones temporales ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) y los errores de esas variaciones ( $s_{V_x}$ ,  $s_{V_y}$ ,  $s_{V_z}$ ) todos reducidos a una época de referencia específica ([IERS, 2023](#)).

El 15 de abril de 2022, [Altamimi et al. \(2023\)](#) publicaron la más reciente solución del ITRF denominada ITRF2020, época de referencia  $t_0 = 2015,0$  la cual ofrece una serie de mejoras respecto a la confirmación del centro de masas de la Tierra, la incorporación de variaciones estacionales, la determinación de la escala y cuantificaciones precisas de desplazamientos co-sísmicos y post-sísmicos. Como dato adicional en esta solución se incluyeron dos estaciones costarricenses, la 40610M001 SAGE y la 40611M001 ISCO. Complementariamente [ISOGR \(2023\)](#) estipula que actualmente, y de conformidad a las recomendaciones de Organización Internacional de Normalización, ([ISOGR, 2023](#)) la designación de un marco de referencia debe realizarse utilizando el símbolo arroba, por ejemplo, CR-SIRGAS@2019,24<sup>8</sup>.

### **Las soluciones de marco del Servicio Internacional de GNSS (IGS)**

El Servicio Internacional de GNSS (IGS) actualmente trabaja con más de 500 estaciones y 350 organizaciones distribuidas en 118 países con el objetivo de generar una serie de productos de calidad como órbitas rápidas, ultra rápidas, precisas, relojes, parámetros de rotación, parámetros troposféricos, coordenadas y velocidades entre otros. A partir de observaciones derivadas del Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS). El [IGS \(2023\)](#) explica que este ente contribuye con la ampliación y densificación del ITRF haciéndolo fácilmente accesible. Adicionalmente, el IGS calcula una solución de red global usando una serie de estaciones estables del ITRF cuyos resultados se denominan soluciones IGSyy. Las soluciones llamadas IGbyy que son el resultado de reprocesamientos en los cuales se utilizan como referencia las estaciones más estables posibles.

Los resultados semanales y multianuales que genera el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS) para el poliedro continental de Estaciones de Operación Continua, denominado como red SIRGAS-CON trabaja usando el marco del IGS. Lo anterior implica que los cambios dados en la red del IGS son incorporados inmediatamente por SIRGAS, algunos de los parámetros que se consideran en las actualizaciones de la red IGS son los modelos de calibraciones de antenas o

---

8 Consultar la ISO 19111:2007 en: <https://committee.iso.org/home/tc211> sobre la referencia espacial por coordenadas (ISOGR, 2023) e ISO 19127:2019 en el enlace: <https://www.iso.org/standard/67252.html> sobre el registro geodésico (ISOGR, 2023).

influencias de eventos físicos en las series temporales de las estaciones. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de las distintas soluciones del IGS y su época de referencia.

**Cuadro 1.** Cronología y época de referencia de las soluciones del Servicio Internacional de GNSS

Solución ITRF	Solución IGS	Vigencia	Semanas	Época $t_0$
ITRF92	ITRF92	02/01/1994 a 31/12/1994	0730 a 0781	1988,0
ITRF93	ITRF93	01/01/1995 a 29/06/1996	0782 a 0859	1993,0
ITRF94	ITRF94	30/06/1996 a 28/02/1998	0860 a 0946	1993,0
ITRF94	ITRF96	01/03/1998 a 31/07/1999	0947 a 1020	1997,0
ITRF94	ITRF97	01/08/1999 a 26/02/2000	1020 a 1050	1997,0
ITRF94	ITRF97	27/02/2000 a 03/06/2000	1051 a 1064	1997,0
ITRF97	IGS97	04/06/2000 a 01/12/2001	1065 a 1142	1997,0
ITRF2000	IGS00	02/12/2001 a 10/01/2004	1143 a 1252	1997,0
ITRF2000	IGb00	11/01/2004 a 04/11/2006	1253 a 1399	1997,0
ITRF2005	IGS05	05/11/2006 a 16/04/2011	1400 a 1631	2000,0
ITRF2008	IGS08	17/04/2011 a 06/10/2012	1632 a 1708	2005,0
ITRF2008	IGb08	07/10/2012 a 28/01/2017	1709 a 1933	2005,0
ITRF2014	IGS14	29/01/2017 a 16/05/2022	1934 a 2105	2010,0
ITRF2014	IGb14	17/05/2022 a 26/11/2022	2016 a 2237	2010,0
ITRF2020	IGS20	27/11/2022 a dd/mm/aaaa	2238 a ????	2015,0

Fuente: elaboración propia con base en <https://igs.org/wg/reference-frame/#documents>

### La importancia de la referencia temporal y espacial

Las observaciones derivadas de GNSS están altamente correlacionadas con el tiempo y la propagación de las señales de radio, por lo que cada sistema tiene su propia escala y de ahí que haya un exhaustivo control de este. Según Hoffmann *et al.* (2008), Leick (2015) y Torge, Müller y Pail. (2023), las mediciones requieren de una referencia temporal por medio de la cual se puede determinar la posición del receptor y otras tareas relacionadas. Cada uno de los actuales sistemas satelitales de navegación definen escalas de tiempo así, por ejemplo, en el sistema de tiempo GPS (GPST) la época estándar se estableció a las 00:00:00 horas Tiempo Universal Coordinado (UTC) del domingo 06 de enero de 1980. El sistema de tiempo BeiDou (BDT) inició el 01 de enero de 2006; mientras que el sistema de tiempo GALILEO (GST) inició el 22 de agosto de 1999. Por su parte,

Hoffmann *et al.* (2008); y Leick (2015) continúan diciendo que el sistema de tiempo GLONASS (GLONASSST) trabaja manteniendo una diferencia con el UTC menor a 1 ms por cada tres horas.

Es importante recordar también que los resultados de los procesamientos deben estar referidos a un instante específico, el cual se denomina época de observación  $t_1$  o época de referencia  $t_0$  según sea el caso. A continuación, se presentan algunos conceptos generales, los cuales, adicionalmente, ofrecen la nomenclatura básica que facilita la identificación de ciertos tipos de archivos relacionados con el procesamiento de observaciones GNSS, y en el ejemplo 1 se encuentra un ejercicio resuelto.

- Tiempo Universal Coordinado (UTC): es el estándar internacional obtenido por medio del Tiempo Atómico Internacional. Define la zona de tiempo cero y a partir de la cual se determinan las restantes zonas de tiempo del planeta, por ejemplo, en Costa Rica debido a su ubicación geográfica en longitud oeste se encuentra en la zona llamada UTC-6, es decir en Costa Rica las 18:00:00 horas equivalen a las 00:00:00 horas UTC.
- Semana GPS: es el número de semanas que han transcurrido desde la época estándar hasta la actual semana. El cálculo de la semana GPS se puede consultar en (Hoffmann *et al.*, 2008).
- Día GPS: es el día de la semana iniciando con un valor cero (0) para el domingo, uno (1) para el lunes, hasta el seis (6) que corresponde con el sábado.
- Día del año: se denomina DOY (Day Of Year) al número consecutivo del día del año, es decir el día 01 de enero corresponde con el día 001, el día 02 de enero será el 002 y así sucesivamente hasta que, al 31 de diciembre, que corresponde con día del año 365, 365,25 o 366 dependiendo del requerimiento. Esta cuenta se reinicia con cada nuevo año.
- Segundos de la semana GPS: es la cantidad de segundos que han transcurrido desde la época estándar GPS. En Internet se tienen gran variedad de sitios que permiten este cálculo<sup>9</sup>.
- Solución semanal final SIRGAS: es el conjunto de coordenadas cartesianas geocéntricas de la red SIRGAS-CON enlazadas al marco internacional. Su época de referencia se establece a las 12:00:00 UTC

9 Consultar los siguientes enlaces: <https://www.labsat.co.uk/index.php/en/gps-time-calculator>, <https://www.andrews.edu/~tzs/timeconv/timeconvert.php> y <https://gnsscalc.com/>.

de cada miércoles. El formato del archivo es siryypwww.crd, donde “sir” se refiere a la solución SIRGAS, “yy” son los dos dígitos del año, “p” corresponde a GPS, “www” es el número de la semana y “crd” indica archivos de coordenadas (SIRGAS, 2023). Por ejemplo, el archivo con solución final para la semana 2250 del año 2023 tendría por nombre sir23p2250.crd.

- Época de referencia  $t_0$ : es el instante de tiempo al cual se refieren los resultados de un procesamiento cuyas observaciones generalmente se realizaron en diferentes épocas de observación. Tal es el caso de la última solución multianual SIRGAS cuya época de referencia es  $t^0 = 2015,0$  y también las respectivas épocas de referencia de las soluciones del ITRF e IGS.
- Época de medición  $t_i$ : es el instante de tiempo al cual se refieren generalmente los resultados de un procesamiento de observaciones GNSS. Por ejemplo, el cálculo de la época de medición para un levantamiento GNSS que se efectuó el jueves 12 de mayo de 2022 es 2022,3616.
- Época de ajuste: es el instante de tiempo al cual se refieren los resultados de un procesamiento el cual generalmente tomará como referencia la época media de las observaciones.

### Ejemplo 1: Cálculo de épocas.

- A. Calcular la época de observación de un levantamiento topográfico realizado con metodología GNSS el jueves 12 de mayo de 2022. El procedimiento se describe a continuación:
1. Determinar el día consecutivo del año o DOY para la fecha indicada el cual se puede obtener consultando cualquier calendario GNSS. Para la fecha indicada el DOY es igual a 132, luego se debe calcular la fracción de año es decir  $(132 / 365) = 0,3616$ , resultado que finalmente se le suma al año  $(2022 + 0,3616)$  obteniendo una  $t_i = 2022,3616$ . El usuario no debe olvidar considerar en el cálculo los años bisiestos, así como también considerar eventualmente un denominador que contemple la longitud exacta de cada año. Aquí se usó un valor truncado de 365 días por año.
- B. La época de observación deberá considerar el año, el mes, el día y la hora de la medición. Por ejemplo, si el levantamiento anterior se

efectuó entre las 06:00:00 horas y 12:00:00 horas de tiempo local de Costa Rica, el cálculo de la época de observación tomado como las 09:00:00 horas como promedio de la medición se hace de la siguiente manera:

1. Determinar la fracción de día según la hora promedio del levantamiento, es decir las 09:00 horas de tiempo local en Costa Rica corresponden con las 15:00 horas UTC. La fracción de día para esta hora equivale a  $(15 \text{ horas} / 24 \text{ horas}) = 0,6250$  días, valor que le suma a los 132 días para un total de 132,6250 días.
2. El cálculo de la época de observación implica ahora determinar la fracción de año a la que corresponde la variable día, es decir  $(132,625 \text{ días} / 365 \text{ días}) = 0,3633$  años y finalmente este valor se le suma al año obteniendo un resultado una época de observación  $t_i = 2022,3633$  años. Generalmente para levantamientos GNSS con finalidades topográficas, catastrales, cartográficas es suficiente calcular la época de observación si considerar la hora de la observación.

Los conceptos anteriores son fundamentales cuando se trabaja con mediciones GNSS ya que, debido a la propia concepción del sistema, el tiempo es una variable indispensable para lograr una adecuada concordancia entre las observaciones y los resultados sobre todo a efectos de georreferenciar información. Además, existe una nomenclatura universal que contempla algunos de las definiciones anteriores en la asignación de los nombres de distintos productos como lo son los archivos de soluciones de coordenadas semanales y los archivos de órbitas satelitales finales entre otros.

Por ejemplo, la fecha jueves 12 de mayo de 2022 está dentro de la semana GPS 2209; el jueves será el Día de la semana GPS número 4 y el 12 de mayo será el día del año DOY = 132. Se acostumbra en ocasiones concatenar la semana GPS junto con el día GPS de esta manera, siendo para este caso 22094. Para esta fecha particular a las 00:00:00 UTC se tenía un total de 345600 segundos a las 00:00:00 UTC y 1336348800 GPST.

Además, las distintas labores profesionales requieren que se conozcan y apliquen correctamente la terminología técnica que representa la base teórica de muchas de las distintas metodologías de trabajo y de procesamiento de la información. A continuación, se hace un repaso general de una serie de conceptos que pueden ayudar a un entendimiento más claro

de las distintas situaciones que se puedan presentar cuando se requiere contemplar los diferentes tipos de coordenadas.

- **Coordenadas geocéntricas cartesianas:** son la terna de coordenadas ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) que es usada como el sistema de coordenadas globales las cuales se expresan en unidades métricas. Por ejemplo, los listados de las coordenadas de las soluciones ITRF e IGS se presentan en coordenadas geocéntricas. Además, es importante mencionar que, de acuerdo con la ubicación espacial de Costa Rica la coordenada  $Z$  no representa la elevación, altura o cota como normalmente suele utilizarse en topografía convencional. La posición vertical se aproxima por medio de la coordenada geocéntrica  $Y$ .
- **Coordenadas geodésicas elipsoídicas:** son la terna integrada por las coordenadas de latitud, longitud, junto con la altura ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) referidas a un elipsoide específico, por ejemplo, el WGS84 o GRS80. Las dos primeras se expresan en grados sexagesimales y la altura en metros. No se deben confundir con las coordenadas geográficas las cuales asumen un modelo esférico.
- **Coordenadas topocéntricas:** son la terna de coordenadas locales ( $n$ ,  $e$ ,  $u$ ) que obtienen de considerar como origen un punto sobre la superficie del elipsoide en el cual la dirección  $u$  coincide con la normal formando un plano tangente. Todo lo anterior estipulado por [Hoffmann et al. \(2008\)](#), [Leick \(2015\)](#) y [Torge Müller y Pail \(2023\)](#).
- **Coordenadas cartográficas:** son las proyecciones ( $N$ ,  $E$ ) de las coordenadas de latitud y longitud geodésicas obtenidas sobre un plano cartográfico específico; esto según [Moya y Cedeño \(2017\)](#). Estas coordenadas son planas y se expresan en metros y dependen de una referencia geodésica específica, por ejemplo, coordenadas en la proyección CRTM05 para el marco nacional de referencia CR-SIRGAS v2.
- **Velocidades:** es la terna de las componentes lineales del vector velocidad, se expresan para cada una de las coordenadas cartesianas geocéntricas ( $VX$ ,  $VY$ ,  $VZ$ ). Sus valores son válidos para una época específica y se expresan en metros por año (m/año) con su signo respectivo. El modelo de actualización determina la posición de una estación en una época de observación  $t_i$  como el producto de la velocidad por el tiempo en la época de referencia  $t_0$  para cada coordenada más los valores de las

coordenadas en la época de referencia ( $X(t_0)$ ,  $Y(t_0)$ ,  $Z(t_0)$ ). El cálculo inicial de la posición de una estación GNSS en una época de observación  $t_i$  a partir de su posición inicial en una época de referencia  $t_0$  y de las componentes de velocidad ( $VX$ ,  $VY$ ,  $VZ$ ) se realiza de acuerdo con la ecuación 1. Se descartan otros efectos cosísmicos y postsísmicos. Un ejercicio resuelto se presenta en el ejemplo 2.

$$\left. \begin{aligned} X(t_i) &= X(t_0) + VX (t_i - t_0) \\ Y(t_i) &= Y(t_0) + VY (t_i - t_0) \\ Z(t_i) &= Z(t_0) + VZ (t_i - t_0) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

**Ejemplo 2:** Cálculo de la posición.

A. La estación GNSS de operación continua de Costa Rica denominada 40610M001 SAGE está integrada dentro la reciente solución ITRF2020. Sus coordenadas cartesianas geocéntricas son respectivamente  $X = 690230,8235$  m,  $Y = -6256292,4083$  m,  $Z = 1032020,6336$  m, y sus componentes de velocidad son  $VX = +0,0215$  m/año,  $VY = +0,0067$  m/año,  $VZ = +0,0235$  m/año. Estos valores están reducidos a la época de referencia  $t_0 = 2015,00$ . A partir de la información calcular la posición de la estación SAGE a la época de observación  $t_i = 2019,24$ .

1. Primeramente, se debe calcular la diferencia entre las épocas de observación y referencia el denominado delta tiempo  $\Delta t = t_i - t_0 = (2019,24 - 2015,00) = 4,24$  años.
2. Ahora se multiplica este delta tiempo por cada una de las componentes de velocidad con su signo (positivos todos en este caso) y se le suman las coordenadas de referencia  $X(t_0)$ ,  $Y(t_0)$ ,  $Z(t_0)$ .
3. Finalmente, las coordenadas de la estación SAGE en la época 2019,24 son respectivamente:  $X(t_i) = 690230,9147$  m,  $Y(t_i) = -6256292,3800$  m,  $Z(t_i) = 1032020,7330$  m.

Los usuarios deberán también tener presente los conceptos de conversión de coordenadas y transformación de coordenadas los cuales no son sinónimos y no deben confundirse. La conversión de coordenadas da como resultado un conjunto de valores que pueden estar asociados a una superficie matemática distinta de la original, pero conservando su referencia

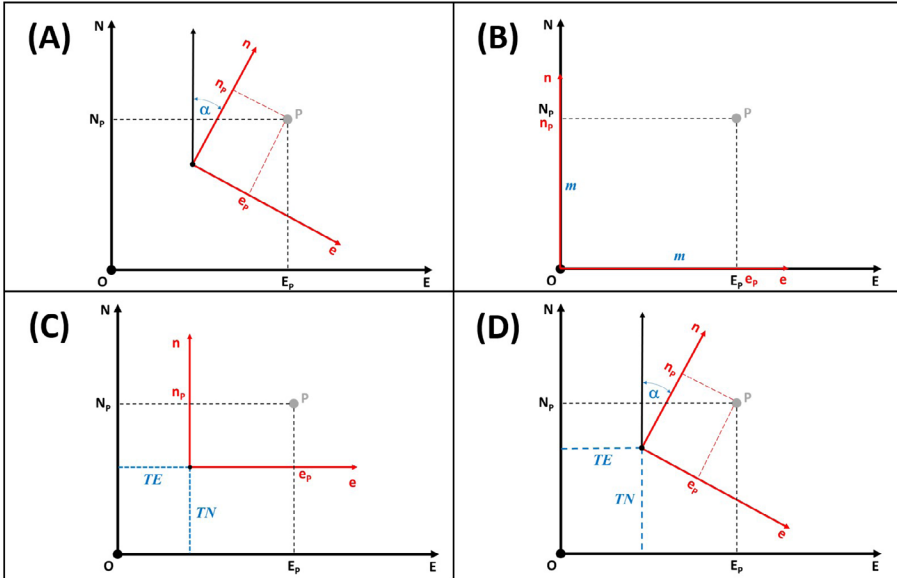
inicial. Un ejemplo clásico es la conversión de coordenadas cartesianas geocéntricas ( $X, Y, Z$ ) a sus correspondientes coordenadas geodésicas elipsoídicas ( $\phi, \lambda, h$ ) y viceversa o bien la conversión de coordenadas ( $\phi, \lambda$ ) a coordenadas cartográficas ( $N, E$ ) y viceversa. El desarrollo matemático de las relaciones que permiten dichas conversiones de coordenadas está descrito en (Hooijberg, 1998), (Hooijber, 2008), (Hoffmann *et al.*, 2008), (Leick, 2015) y (Torge *et al.*, 2023).

Por otro lado, la transformación de coordenadas implica adicionalmente el conocimiento de una referencia geodésica y la relación entre ambos sistemas se establece por medio de los parámetros de transformación los cuales se obtienen a partir de las coordenadas de una serie de puntos denominados idénticos u homólogos. Para Bursa (1962), Wolf (1963), Hoffmann *et al.* (2008) y Leick (2015), existen diferentes tipos de transformaciones de coordenadas, sin embargo, las de uso más común en aplicaciones topográficas, catastrales, cartográficas, geográficos, geodésicas y geomáticas son las bidimensionales y tridimensionales. Ambas son transformaciones de similitud lo que implica que las posiciones relativas de los conjuntos puntuales se mantienen luego del proceso de transformación. Lo ideal es contar con un campo de velocidades que permita relacionar ambos marcos en una época.

En la Figura 1 se presenta la situación general en el caso bidimensional separada en cuatro partes. Inicialmente en (A) se parte de dos sistemas de coordenadas planas uno llamado origen (ejes  $n, e$  en color rojo) y otro destino (ejes  $N, E$  en color negro) y se tiene un punto  $P$  del cual se conocen sus coordenadas en los dos sistemas. Inicialmente el sistema origen se encuentra rotado en un ángulo ( $\alpha$ ) respecto del sistema destino.

Las componentes respectivas se agrupan en una matriz de rotación (ver ecuación 2). Además, en (B) el sistema destino eventualmente puede ser más grande o pequeño que el sistema origen implicando un cambio de escala ( $m$ ) (ver ecuación 3) y finalmente en (C) el origen del sistema origen estará desplazado del sistema destino en la dirección norte ( $TN$ ) y en la dirección este ( $TE$ ) (ver ecuación 4). Las cuatro incógnitas anteriores se denomina parámetros de transformación y su efecto combinado se muestra en (D) (ver ecuación 5).

**Figura 1.** Representación de los cuatro parámetros que relacionan dos sistemas coordenados bidimensionales.



Fuente: elaboración propia.

$$\begin{bmatrix} N_p \\ E_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_p \\ e_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} N_p \\ E_p \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} n_p \\ e_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} N_p \\ E_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} TN \\ TE \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_p \\ e_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} N_p \\ E_p \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_p \\ e_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} TN \\ TE \end{bmatrix} \quad (5)$$

Por facilidad en la Ecuación 6 los términos *cosa* y *sina* de la matriz de rotación se cambian a las constantes *a* y *b* respectivamente. Finalmente,

para n-puntos idénticos se tendrán las respectivas ecuaciones de observación (ver ecuación 7).

$$\begin{bmatrix} N_p \\ E_p \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_p \\ e_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} TN \\ TE \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} N_1 = an_1 - be_1 + TN \\ E_1 = bn_1 + ae_1 + TE \\ N_2 = an_2 - be_2 + TN \\ E_2 = bn_2 + ae_2 + TE \\ \\ N_n = an_n - be_n + TN \\ E_n = bn_n + ae_n + TE \end{array} \right\} \quad (7)$$

Una solución sin redundancia se obtiene al considerar solamente dos puntos idénticos, pero cuando se tienen n-puntos idénticos se podrán determinar los parámetros de transformación por medio de mínimos cuadrados tal como se presenta en el conjunto de ecuaciones (ecuación 8).

$$\left. \begin{array}{l} v = A \hat{x} - L \\ \begin{matrix} 2n,1 & 2n,4 & 4,1 & 2n,1 \end{matrix} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \begin{bmatrix} v_{n_1} \\ v_{e_1} \\ v_{n_2} \\ v_{e_2} \\ \vdots \\ v_{n_i} \\ v_{e_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 & -e_1 & 1 & 0 \\ e_1 & n_1 & 0 & 1 \\ n_2 & -e_2 & 1 & 0 \\ e_2 & n_2 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_i & -e_i & 1 & 0 \\ e_i & n_i & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ TN \\ TE \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} N_1 \\ E_1 \\ N_2 \\ E_2 \\ \vdots \\ N_i \\ E_i \end{bmatrix} \\ \\ \hat{x} = (A^T P A)^{-1} (A^T P L) \end{array} \quad (8)$$

### Ejemplo 3: Transformación bidimensional de coordenadas.

A. Un conjunto de cuatro puntos cuyas coordenadas cartográficas se conocen en la semana 2167, marco de referencia CR-SIRGAS v2 y en la semana 1803, marco de referencia CR-SIRGAS v1 (Moya, 2022). Se requiere calcular los cuatro parámetros de transformación considerando como origen la semana 1803 y como destino la semana 2167. El procedimiento se describe a continuación:

1. Coordenadas cartográficas originales de los puntos idénticos:

Punto	Origen semana 1803		Destino semana 2167	
	N [m]	E [m]	N [m]	E [m]
1	1121745,630	328149,860	1121745,762	328149,947
2	1132359,060	352806,110	1132359,194	352806,197
3	1108009,230	351810,996	1108009,369	351811,030
4	1091142,180	335230,900	1091142,331	335231,001

2. Cálculo de los coeficientes de la matriz A y el vector de observaciones L:

$$A = \begin{bmatrix} 1121745,630 & -328149,860 & 1 & 0 \\ 328149,860 & 1121745,630 & 0 & 1 \\ 1132359,060 & -352806,110 & 1 & 0 \\ 352806,110 & 1132359,060 & 0 & 1 \\ 1108009,230 & -351810,996 & 1 & 0 \\ 351810,996 & 1108009,230 & 0 & 1 \\ 1091142,180 & -335230,900 & 1 & 0 \\ 335230,900 & 1091142,180 & 0 & 1 \end{bmatrix} ; L = \begin{bmatrix} 1121745,762 \\ 328149,947 \\ 1132359,194 \\ 352806,197 \\ 1108009,369 \\ 351811,030 \\ 1091142,331 \\ 335231,001 \end{bmatrix}$$

3. Cálculo de los parámetros de transformación por medio de la última relación del conjunto de ecuaciones 8, en la cual las traslaciones se obtienen directamente, mientras que la rotación y el factor de escala se calculan a partir del conjunto de ecuaciones 9:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \operatorname{atan}(b/a) \\ m &= \sqrt{a^2 + b^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Parámetro	Traslación Norte	Traslación Este	Escala	Rotación
Valor	+0,962 m	+0,322 m	-0,737 ppm	+0,001”

4. Se calculan los residuales que se obtienen por diferencias de las coordenadas transformadas (ecuación 7) y las originales.

Punto	Originales		Transformadas		Residuos	
	N [m]	E [m]	N [m]	E [m]	u [cm]	v [cm]
1	1121745,762	328149,947	1121745,7629	328149,9475	+0,09	+0,05
2	1132359,194	352806,197	1132359,1849	352806,1794	-0,91	-1,76
3	1108009,369	351811,030	1108009,3728	351811,0660	+0,38	+3,60
4	1091142,331	335231,001	1091142,3354	335230,9821	+0,44	-1,89

5. Finalmente, se calcula el error del proceso de ajuste  $s_0$  y el error medio  $m_p$  del punto transformado:

$$\left. \begin{aligned}
 s_0 &= \pm \sqrt{\frac{\sum (u^2 + v^2)}{2n - 4}} \\
 m_p &= \pm s_0 \sqrt{2}
 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$s_0$	$\pm 1,44$ cm	$m_p$	$\pm 2,04$ cm
-------	---------------	-------	---------------

### Reducción de observaciones convencionales

La combinación de observaciones topográficas convencionales y GNSS requiere necesariamente que el profesional realice para las primeras una serie de reducciones para garantizar la compatibilidad de ambos conjuntos de datos, debido a que generalmente las mediciones satelitales serán llevadas al plano cartográfico como parte del procesamiento. Las reducciones en el caso de observaciones angulares convencionales son generalmente pequeñas cuando se trabaja en el ámbito de poligonales y las relaciones matemáticas correspondientes están descritas entre otros en [Anderson y Mikahail \(1998\)](#) y [Chueca et al. \(1996\)](#).

Hay que recordar que las mediciones topográficas convencionales se realizan en el espacio topográfico físico y éstas deben ser primeramente corregidas por factores atmosféricos como temperatura y presión fundamentalmente. En este aspecto se asume que el profesional configura adecuadamente sus equipos y que los instrumentos realizan directamente estas

correcciones. Luego las observaciones corregidas deberán ser reducidas correctamente las cuales implican, en el caso de las observaciones lineales, pasar de una distancia curva (arco) a una distancia inclinada, después a la horizontal y a su valor a nivel medio del mar. Las reducciones geométricas anteriores dependerán básicamente de los valores de alturas conocidas como ortométricas de los puntos extremos de las líneas medidas y de los valores de las alturas instrumentales (estación total y prisma). Después estas distancias se pasan al elipsoide de referencia y, finalmente, a la distancia proyectada; esto según [Anderson y Mikahail \(1998\)](#) y [Chueca et al. \(1996\)](#). Este último paso se deberá aplicar dependiendo de la zona de trabajo, y en el caso de la proyección CRTM05 de Costa Rica, es función de la distancia respecto al meridiano central de la proyección.

Partiendo de una distancia medida con estación total entre los puntos  $i$  y  $j$  la cual fue inicialmente corregida por factores atmosféricos de temperatura y presión, el resultado es una distancia inclinada medida  $D_1$ . Se recomienda revisar los manuales de los equipos para confirmar las fórmulas de las correcciones atmosféricas que varían dependiendo de las marcas y modelos. La reducción de distancias medidas hasta el plano cartográfico se describe a continuación y un ejercicio resuelto se presenta en el ejemplo 4.

**Ejemplo 4.** Reducción de distancias medidas hasta el plano cartográfico.

1. La distancia medida  $D_1$  se lleva a la horizontal con la ecuación (11) obteniendo la distancia  $D_2$ . Aunque estos equipos brindan también la distancia horizontal, este horizonte puede estar a una altura considerable respecto al nivel del mar.

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= \frac{-(H_j - H_i)^2}{2D_1} \\ D_2 &= D_1 + k_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

2. La distancia horizontal  $D_2$  debe llevarse a nivel medio con la ecuación (12) donde  $R$  es el radio medio de la Tierra y se obtiene la distancia  $D_3$ :

$$\left. \begin{aligned} k_3 &= \frac{-(H_i + H_j) D_2}{2R} \\ D_3 &= D_2 + k_3 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

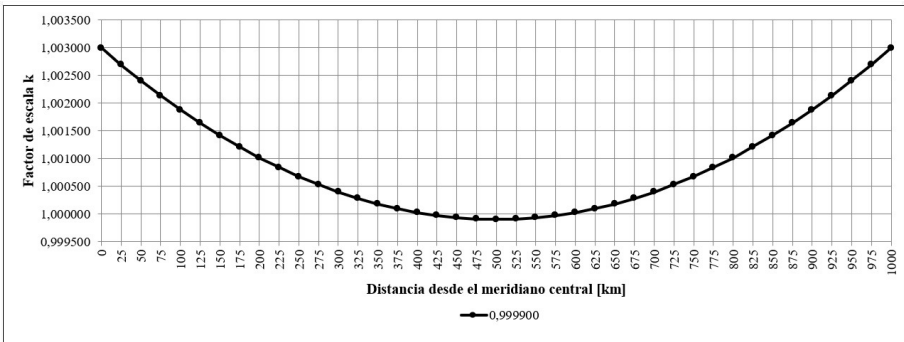
3. La distancia  $D_3$  se debe pasar al elipsoide por medio de la ecuación (13) obteniendo la distancia  $D_4$ :

$$\left. \begin{aligned} k_4 &= \frac{D_3^3}{24R^2} \\ D_4 &= D_3 + k_4 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

4. La distancia  $D_4$  debe proyectarse al plano cartográfico respectivo, en el caso de Costa Rica será el de la proyección CRTM05 cuyo factor de escala  $k_0$  en el meridiano central vale 0,999900. Para diferentes regiones el factor de escala  $k$  se puede calcular con la ecuación (14) donde  $E_m$  es la coordenada Este medio de la zona de interés. En la Figura 2 se representa el comportamiento del factor de escala cada 25 km para la proyección cartográfica nacional CRTM05.

$$k = k_0 \left( 1 + 0,012374 \times 10^{-12} [(E_m \cdot 1000) - 500000]^2 \right) \quad (14)$$

**Figura 2.** Comportamiento del factor de escala en la proyección oficial de Costa Rica CRTM05.



Fuente: elaboración propia

#### Ejemplo 4. Reducción de distancias.

A. Calcular las reducciones hasta obtener distancia en el elipsoide para una línea de 100 m y 1000 m entre dos puntos cuya diferencia de altura se asume de 5 m y 15 m, además considerar que los puntos están a una elevación de 0 m y de 1500 m. Usando las ecuaciones de la (10) a la (12) los resultados se presentan en el siguiente Cuadro.

**Cuadro 2.** Resultados de las ecuaciones de la (10) a la (12).

Altura Media [m]	Delta H [m]	D <sub>1</sub> [m]	k <sub>2</sub> [m]	D <sub>2</sub> [m]	k <sub>3</sub> [m]	D <sub>3</sub> [m]	k <sub>4</sub> [m]	D <sub>4</sub> [m]	Diferencia [m]
0	0	100,000	0,0000	100,0000	0,0000	100,0000	1,0E-09	100,0000	0,000
0	0	1000,000	0,0000	1000,0000	0,0000	1000,0000	1,0E-06	1000,0000	0,000
0	5	100,000	-0,1250	99,8750	0,0000	99,8750	1,0E-09	99,8750	0,125
0	5	1000,000	-0,0125	999,9875	-0,0004	999,9871	1,0E-06	999,9871	0,013
0	15	100,000	-1,1250	98,8750	-0,0001	98,8749	9,9E-10	98,8749	1,125
0	15	1000,000	-0,1125	999,8875	-0,0012	999,8863	1,0E-06	999,8863	0,114
1500	0	100,000	0,0000	100,0000	-0,0235	99,9765	1,0E-09	99,9765	0,024
1500	0	1000,000	0,0000	1000,0000	-0,2355	999,7645	1,0E-06	999,7645	0,235
1500	5	100,000	-0,1250	99,8750	-0,0236	99,8514	1,0E-09	99,8514	0,149
1500	5	1000,000	-0,0125	999,9875	-0,2359	999,7516	1,0E-06	999,7516	0,248
1500	15	100,000	-1,1250	98,8750	-0,0234	98,8516	9,9E-10	98,8516	1,148
1500	15	1000,000	-0,1125	999,8875	-0,2366	999,6509	1,0E-06	999,6509	0,349

Fuente: elaboración propia

### Los enlaces nacionales al Marco Internacional Terrestre de Referencia

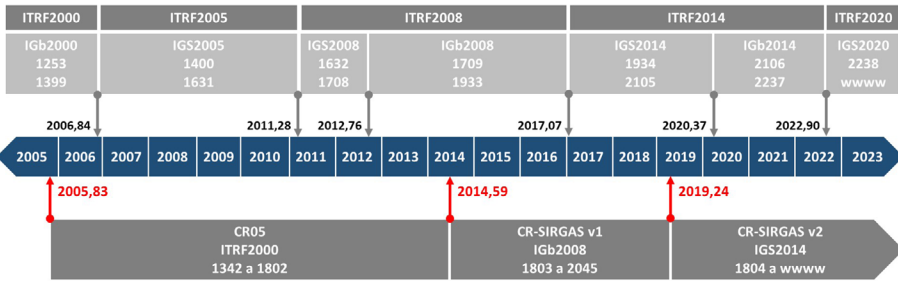
Costa Rica inició en la primera mitad de la década de 1990 con mediciones GPS por medio de la medición de redes nacionales para finalidades catastrales, como en [Moya y Cedeño \(2017\)](#); y de estudios de deformación, como en [Niemeier et al. \(1993\)](#). Aunque ya en ese tiempo contaba con soluciones del ITRF y acceso a las mismas, en estos proyectos no se hizo ningún enlace, lo cual generó discrepancias considerables en los valores de las coordenadas de los puntos, según [Dörries y Roldán \(2004\)](#). En la actualidad enlazar resultados de mediciones GNSS al marco internacional es una tarea relativamente sencilla, en Costa Rica se pueden distinguir tres proyectos, que, por sus objetivos y características marcaron momentos claves en la geodesia nacional:

- a. Según [Dörries y Roldán \(2004\)](#), a finales de la década 1990 en el denominado proyecto CR98 desarrollado por la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG) de la Universidad Nacional, se realizó el primer enlace de una red nacional al ITRF por medio de la combinación de diferentes campañas GPS realizadas en los años 1990, 1991, 1993 y 1998. Las coordenadas cartesianas geocéntricas resultantes se enlazaron a la solución ITRF94 a la época de referencia  $t_0 = 1998,35$ . Siguiendo con [Dörries y Roldán \(2004\)](#), y [Moya, Bastos y Álvarez \(2021\)](#), este proyecto permitió cuantificar las diferencias entre la antigua referencia convencional de Costa Rica, el datum Ocotepeque y CR98, así como la determinación de un conjunto de parámetros de transformación.
- b. [Moya y Cedeño \(2017\)](#) destacan que, en el año 2005, y como parte de un proyecto nacional de catastro, funcionarios del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGNCR) y del antiguo Catastro Nacional junto con una asesoría privada en el marco del Proyecto de Regularización de Catastro y Registro midieron con GPS una red geodésica pasiva de 33 vértices denominada como CR05. Las coordenadas cartesianas geocéntricas resultantes se enlazaron a la solución ITRF2000, época de referencia  $t_0 = 2005,83$ , oficializadas mediante el [Decreto Ejecutivo Número 33979-MJ-MOPT en el año 2007](#). Esta red de puntos, según [Moya et al. \(2021\)](#), constituyó la referencia geodésica nacional por casi una década.
- c. A mediados del año 2014 el Registro Inmobiliario y el Instituto Geográfico Nacional adoptaron como nuevo marco de referencia nacional la solución de coordenadas finales de la semana 1803. De acuerdo con [Moya et al. \(2021\)](#), esta solución se alineó al marco IGB08 a la época de referencia  $t_0 = 2014,59$ . Este marco se oficializó y denominó CR-SIRGAS por el IGNCR ([Decreto Ejecutivo 40962-MJP](#)) y actualmente el país trabaja con su segunda versión, la cual consta de una red de 34 vértices entre estaciones activas y puntos pasivos cuyas coordenadas se enlazaron al IGS14 a la época de referencia  $t_0 = 2019,24$ .

En la Figura 3 se hace un resumen de las referencias del marco geodésico nacional CR-SIRGAS distinguiendo con v1 para versión 1 ya superada y v2 para la versión 2 que es la oficial actualmente. Al momento de la preparación de este artículo se está a la espera de la siguiente resolución del

IGNCR que actualizará CR-SIRGAS a la solución ITRF2020/IGS2020, la cual será la v3 del marco nacional.

**Figura 3.** Vigencia y épocas de referencia de los marcos geodésicos nacionales CR05, CR-SIRGAS v1 y CR-SIRGAS v2 respecto a las soluciones ITRF e IGS.



Fuente: elaboración propia.

El actual Marco Geodésico Nacional de Referencia CR-SIRGAS se sustenta fundamentalmente en 12 estaciones activas GNSS, 8 de las cuales fueron la base inicial en la semana 1803. Debido a las influencias naturales de la corteza terrestre de Costa Rica, las estaciones sufren variaciones diarias, las cuales son posibles de cuantificar gracias a la observación continua y al procesamiento estricto empleado por el IGNCR como Centro de Procesamiento SIRGAS. Para dar una idea inicial del cambio en las estaciones debido solamente a la cinemática del marco se presenta en el Cuadro 3 el rango de variación de las coordenadas geocéntricas para las ocho estaciones GNSS del marco nacional CR-SIRGAS entre las semanas 1803 y 2238 intervalo equivalente a 8,4 años. Los resultados se calcularon con base en [Sánchez et al. \(2022\)](#).

**Cuadro 3.** Rangos de variación en las coordenadas geocéntricas de las estaciones GNSS del Marco Geodésico de Referencia Nacional de CR-SIRGAS entre las semanas 1803 y 2238

Rango	CIQE	LIBE	LIMN	NEIL	NYCO	PUNT	RIDC	SAGE
X [mm]	81,6	91,0	146,2	175,6	87,9	102,5	83,4	174,4
Y [mm]	39,0	46,5	68,3	63,9	110,0	48,9	40,6	61,4
Z [mm]	87,8	260,2	85,6	180,0	147,7	121,1	130,4	190,1

Fuente: elaboración propia a partir de [Sánchez et al. \(2022\)](#).

## Georreferenciación

Para Hill (2006), la georreferenciación es la asignación de una localización geográfica específica a la información. Es decir, la georreferenciación implica relacionar los puntos de un conjunto de datos, de un mapa, de una fotografía aérea o una imagen con un sistema de coordenadas geográfico en el terreno. Hastings y Hill (2009) establecen que esta relación permitirá posteriormente a los usuarios, definir el lugar donde cada una de estas fuentes se encuentra en él. La georreferenciación es el proceso que vincula los elementos en diferentes fuentes de datos o capturados de manera remota con sus homólogos en el mundo real y, de acuerdo con Bill, Nash, Grenzdörffer y Wiebensohn (2022), una de las principales características que hace que la información geoespacial sea única es la georreferenciación debido a que, por medio de esta es que los datos se relacionan espacial y temporalmente.

ISO (2008) explica que la georreferenciación contempla el geoposicionamiento de un objeto usando un modelo de correspondencia derivado de un grupo de puntos tanto en el objeto como en el terreno son conocidas. En Olaya (2020) se menciona que el proceso de georreferenciación es de vital importancia debido a que, sin él, no se aprovecha el resultado de la captura de la información.

## Georreferenciación dentro del marco geodésico nacional CR-SIRGAS

La georreferenciación deberá, por lo tanto, ser aquel conjunto de procesos principalmente de índole topográfico, matemáticos y cartográfico que permitan relacionar de una manera adecuada y biunívoca la información levantada en el campo con referencia al marco geodésico nacional CR-SIRGAS. Lo anterior implica que la información tomada en el espacio físico se proyectará a un plano cartográfico particular a una época específica.

La captura de los datos geoespaciales estará dividida actualmente según las posibilidades de equipamiento, de ahí que se podrá establecer un grupo que encierra aquellas metodologías que hacen uso de los sistemas de posicionamiento en sus distintas variantes, los vehículos aéreos no tripulados, los sensores remotos, los escáneres y las combinaciones posibles de ellos y que involucren observaciones satelitales. El segundo grupo estará integrado por aquellas metodologías de observación convencional que realizan la captura por medio de equipos topográficos y que son apoyadas

por diferentes tipos de información geoespacial. Adicionalmente, en este trabajo se quiere remarcar el hecho de que la forma de captura de la información no es el principal parámetro, sino que el enfoque que se quiere transmitir es la georreferenciación de dicha información, la cual parte principalmente de las siguientes dos variantes.

### **Georreferenciación para fines no catastrales**

En muchas ocasiones se requiere productos que deben estar dentro del marco de referencia nacional CR-SIRGAS pero que no surtan ningún efecto catastral, no obstante, es fundamental que la información esté ubicada correctamente. Por ejemplo, la determinación de elementos para distintos proyectos cartográficos, topográficos, geodésicos, municipales, empresariales, de navegación, y de recreación entre otros. En este sentido se pueden citar como algunos de los casos más frecuentes los relacionados con el establecimiento de redes topográficas y geodésicas de apoyo o control para distintos objetivos mediante observaciones GNSS con postproceso. En este tipo de trabajos, [Moya \(2022\)](#) explica que el aseguramiento de la exactitud en las coordenadas de los vértices es fundamental, la cual está totalmente correlacionada con la época de observación y el vínculo al marco de referencia. En este apartado no se considerarán levantamientos GNSS en las variantes de tiempo real.

El aseguramiento de la exactitud en los resultados estará condicionado primeramente por observaciones de calidad realizadas en lugares adecuados con un instrumental acorde a las necesidades y que respondan a una planificación efectiva. Luego, en la etapa de procesamiento de las mediciones es indispensable contemplar las órbitas finales respectivas de las constelaciones satelitales, parámetros de calibración para las antenas y las coordenadas finales de las estaciones de vínculo. Del proceso de ajuste, indica [Moya \(2022\)](#), se obtienen una serie de parámetros que le permiten a los profesionales evaluar y analizar los resultados finales, los cuales estarán dados a la época de observación  $t_i$  y dentro del marco de referencia dado por las órbitas satelitales, el cual actualmente es el ITRF2020/IGS2020 para proyectos realizados desde diciembre de 2022 (ver Figura 2). El mismo autor propone que una eventual transformación de los resultados al marco nacional CR-SIRGAS traerá una pérdida de exactitud en los resultados que deberá ser analizada por el profesional.

## Georreferenciación para fines catastrales

De acuerdo con los artículos 24, 35 y 94 del Reglamento a [Ley del Catastro Nacional \(N° 6545\) \(1981\)](#) es imprescindible que los levantamientos de agrimensura se encuentren debidamente georreferenciados, a efecto de poder ubicar dichos levantamientos dentro del territorio nacional en forma inequívoca con precisión y exactitud, estipulado en el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#).

La información geoespacial requiere necesariamente de una georreferenciación para surtir efectos catastrales y jurídicos para la cual se deben cumplir con las disposiciones legales vigentes y aplicar procesos que garanticen que los productos de los levantamientos topográficos estarán adecuadamente relacionados con el marco de referencia nacional CR-SIRGAS en la época especificada, como es el caso de los levantamientos para planos de agrimensura. Se podría adelantar que uno de los parámetros fundamentales a considerar es el traslado de la época de observación o levantamiento  $t_1$  a la época de referencia del marco nacional  $t_0$ .

## Sobre el componente legal

El ordenamiento jurídico de Costa Rica establece que la ejecución y mantenimiento del Catastro es función del Estado y su realización es potestad exclusiva del Registro Inmobiliario. Además, los procesos de georreferenciación en planos de agrimensura serán responsabilidad de los profesionales debido a su fe pública que aplica a los datos del derrotero, área y ubicación geográfica o espacial de los inmuebles y que son contenidos en dichos planos, según la [Ley N° 4294 \(1968\)](#) y el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#). De ahí que es importante considerar adicionalmente los siguientes aspectos:

- a. La [Ley del Catastro Nacional N° 6545 \(1981\)](#) especifica en su artículo 2 que el Catastro consiste en la representación y descripción gráfica, numérica, literal y estadística de todas las tierras comprendidas en el territorio nacional. Su funcionamiento es de interés público y sirve a los fines jurídicos, económicos, fiscales, administrativos y a todos aquellos que determinen las leyes y sus reglamentos.
- b. Los responsables de los trabajos de agrimensura tienen la obligación de ejecutar y presentar sus levantamientos respetando el ordenamiento

jurídico establecido, conforme a lo dispuesto en los artículos 18 y 24 del Reglamento a [Ley de Catastro Nacional \(1981\)](#), cumpliendo con los procedimientos establecidos en el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#).

- c. El artículo 94 del Reglamento a [Ley de Catastro Nacional \(1981\)](#) establece que todo plano que se presente para su inscripción debe estar debidamente georreferenciado con el objetivo de ubicar los levantamientos de forma exacta e inequívoca dentro del territorio nacional estipulado en el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#).
- d. La metodología de georreferenciación de los planos de agrimensura es responsabilidad del profesional, será el agrimensor quien defina la metodología del levantamiento para sus trabajos catastrales cumpliendo con las especificaciones técnicas de georreferenciación, de medida, comprobación, precisión, exactitud y enlace a la proyección cartográfica oficial, así también con el cumplimiento de las directrices emitidas por el Registro Inmobiliario.

Desde la implementación del marco geodésico nacional CR-SIRGAS se han emitido una serie de directrices que tienen como objetivo el establecimiento de procedimientos, brindar, informar y regular sobre el proceso de georreferenciación para aquellos levantamientos que requieran ser catastrados. En el Cuadro 4 se resumen los contenidos principales de estos documentos y se dispone del enlace correspondiente en internet.

Los distintos procesos de georreferenciación que se realicen a la información geoespacial a efectos catastrales deberán cumplir con una serie de parámetros previamente establecidos que variarán dependiendo de la zona de trabajo. En el Capítulo IV del Reglamento a la Ley de Catastro habla que la exactitud relativa y absoluta para las coordenadas finales de los polígonos derivados de levantamientos urbanos y rurales deberán ser acorde con los insumos facilitados por el Instituto Geográfico Nacional y el Catastro, según el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#). Sin embargo, en la Directriz RIM-001-2012 (Registro Inmobiliario, 2012) (ver Cuadro 4) se detallan las tolerancias permitidas para los levantamientos de agrimensura localizados en el territorio nacional. Y, por otro lado, se cuenta también con un criterio numérico referente a la diferencia lineal entre un

### Cuadro 4. Resumen de los principales aspectos derivados de las directrices publicadas por la Subdirección Catastral del Registro Inmobiliario de Costa Rica a efectos de georreferenciación de levantamientos de agrimensura

Documento	Asunto	Objetivo
<u>Directriz RIM-001-2012</u> 17 de abril de 2012	Definición de la georreferenciación y de las tolerancias permitidas que deben cumplir los levantamientos de agrimensura dentro del territorio nacional.	Definición de las tolerancias permitidas para levantamientos de agrimensura en los inmuebles localizados en el territorio nacional.
<u>Circular RIM-012-2012</u> 28 de junio de 2012	Calificación de planos de agrimensura sobre la cartografía catastral en zona catastrada.	Definición del procedimiento a los funcionarios catastrales para la calificación de los planos de agrimensura en zonas catastradas.
<u>Directriz DRI-001-2020</u> 30 setiembre de 2020	Sobre el formato y enlace al Marco Geodésico para la georreferenciación de levantamientos con fines catastrales.	A partir del 01 de febrero de 2021, los planos de agrimensura deberán estar vinculados al IGB08, época 2014,59, proyección CRIM05.
<u>Directriz DRI-001-2021</u> 05 de enero de 2021	Sobre actualización y uso de ortofotos y cartografía para la calificación catastral.	Se oficializa para efectos catastrales el uso de cartografía escala 1:1000 para centros urbanos y escala 1:5000 para todo el territorio nacional, además, se informará cuando haya actualizaciones y correcciones a estos insumos.
<u>Directriz DRI-002-2021</u> 21 de enero de 2021	Sobre el formato y enlace al Marco Geodésico para la georreferenciación de levantamientos con fines catastrales.	Se suspende la entrada en vigencia de la Directriz DRI-001-2020 y establece el 01 de julio de 2021 como nueva fecha.
<u>Directriz DRI-003-2021</u> 02 de julio de 2021	Sobre el formato y enlace al Marco Geodésico para la georreferenciación de levantamientos con fines catastrales.	Se deja sin efecto la DRI-001-2020 del 30 de setiembre de 2020 y la DRI-002-2021 del 24 de junio de 2021 a partir de su entrada en vigencia. Los planos presentados a calificación deberán corresponder con levantamientos enlazados a ITRF2000, datum CR05, época 2005,83 en proyección CRIM05 en concordancia con los insumos del SIRI. Y que a partir del 01 de marzo de 2022 adicionalmente: Los planos de agrimensura deberán ser presentados junto con su correspondiente archivo shp georreferenciado a la época 2014,59, ITRF2008 (IGB08), proyección CTRM05.
<u>Directriz DRI-001-2022</u> 15 de febrero de 2022	Sobre el formato y enlace al Marco Geodésico para la georreferenciación de levantamientos con fines catastrales.	Se deja sin efecto la fecha en la que se solicitará obligatoriamente la presentación de planos de agrimensura georreferenciados en CR-SIRGAS. Además, se indica que la fecha para de la entrada en vigencia del requisito anteriormente citado se dará por medio de directriz.

Fuente: elaboración propia.

lado del plano de agrimensura y el mapa catastral. Todos estos parámetros se resumen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Resumen de las exactitudes permitidas en las coordenadas de los vértices y diferencia de líneas entre planos y mapa catastral

Criterio	Área de mapeo catastral	
	1:1000	1:5000
Exactitud relativa al 95% de probabilidad en coordenadas de vértices para levantamientos de agrimensura de aplicación catastral usando métodos convencionales	± 6,0 cm	± 20,0 cm
Exactitud absoluta al 95% de probabilidad en coordenadas de puntos de apoyo para enlace a la red oficial de coordenadas obtenidas de puntos plenamente identificables en la cartografía u ortofoto disponible.	± 40,0 cm	± 200,0 cm
Diferencia lineal entre el lado en el plano de agrimensura y el mapa catastral	±85,0 cm	± 425,0 cm

Fuente: elaboración propia a partir del [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#) y [Registro Inmobiliario \(2012\)](#).

### Sobre las zonas y los insumos catastrales

Los documentos constitutivos del Catastro están integrados por los mapas catastrales que muestra la ubicación y linderos de las tierras y aguas del dominio público propiedad del Estado e inmuebles de propiedad privada, los mapas que muestran los recursos naturales, los mapas que muestran las fronteras del país y la división territorial, demarcaciones de las áreas bajo algún régimen especial administradas por las diferentes Instituciones del Estado, demarcaciones del Patrimonio Natural del Estado y los planos catastrados inscritos en el Catastro en la [Ley N° 6545 \(1981\)](#). Mediante el [Decreto Ejecutivo N°30106-J del 28 de enero de 2002](#) se declara Zona Catastral a todo el territorio nacional iniciando con ello el levantamiento catastral por distritos por medio de proyectos específicos. A efectos catastrales el país se subdivide de la siguiente manera según la [Ley N° 6545 \(1981\)](#) y el [Decreto Ejecutivo N° 34763-J \(2008\)](#):

- a. Zona catastrada: es aquella en la cual el proceso de levantamiento catastral se ha concluido y existe una declaratoria oficial. Al momento de

la redacción de este artículo existen 184 distritos declarados como zona catastrada para un 37,6%<sup>10</sup>.

- b. Zona catastral: es aquella en donde el proceso de levantamiento catastral se encuentra en desarrollo. Al momento de la redacción de este artículo existe un total 306 distritos bajo esta denominación para un 62,4%<sup>11</sup>.

El Registro Nacional publicita las zonas catastrales del país que cuentan con Levantamiento Catastral y proporciona mantenimiento de las estas zonas con énfasis en la zona catastrada, tales como:

- a. Zona 1 (Z1): es la zona en la cual los distritos se encuentran actualizados y debidamente oficializados mediante decreto.
- b. Zona 2 (Z2): es la zona en la cual los distritos ubicados en esta se encuentran actualizados, pero les falta alguna etapa como la exposición pública o la declaratoria por Decreto Ejecutivo de Zona Oficializada.
- c. Zona 3 (Z3): es la zona en la cual los distritos ubicados en esta se encuentran en un proceso preliminar de actualización para pasar primero a Zona 2 y posteriormente a Zona 1.

Cada una de estas zonas contará con una serie de insumos técnicos que pueden ser consultados por los profesionales como apoyo necesario para la georreferenciación de los levantamientos topográficos que requieran ser catastrados. Estos insumos técnicos provenientes de distintas fuentes permiten validar los levantamientos de campo. En la práctica profesional se podrá utilizar los distintos insumos dependiendo de la zona donde se realice el levantamiento topográfico. En el cuadro 6 se presentan una lista de los principales insumos catastrales disponibles actualmente sin ninguna priorización particular y una clasificación por zonas considerando sí las mismas son áreas urbanas y rurales y marcando con un color gris oscuro su disponibilidad.

---

10 Un registro actualizado de los distritos declarados como zonas catastradas se puede consultar en la página web del Registro Inmobiliario.

11 Un registro actualizado de los distritos declarados como zonas catastradas se puede consultar en la página web del Registro Inmobiliario.

**Cuadro 6.** Principales insumos catastrales disponibles para los profesionales y su aplicación dentro de las áreas urbanas y rurales de las zonas catastradas y catastrales.

Insumo catastral	Zona Catastrada		Zona Catastral No oficial			
	Z1 1:1000	Z1 1:5000	Z2 1:1000	Z2 1:5000	Z3 1:1000	Z3 1:5000
Imágenes de planos catastrados						
Mosaico catastral						
Mapa catastral						
Delimitación digital de la Zona Marítimo Terrestre						
Mapa catastral oficial CRTM05 a escala 1:1000						
Mapa catastral no oficial CRTM05 a escala 1:1000						
Mapa catastral oficial CRTM05 a escala 1:5000						
Mapa catastral no oficial CRTM05 a escala 1:5000						
Ortofoto a escala 1:1000 para 2015-2018						
Ortofoto a escala 1:5000 para 2014-2017						
Ortofoto a escala 1:1000 y 1:5000 para 2005-2007						
Hojas cartográficas en proyección LCRN y LCRS reproyectadas a CRTM05, datum CR05						
Cartografía digital (vectorización en líneas, puntos y polígonos a escala 1:1000)						
Cartografía digital (vectorización en líneas, puntos y polígonos a escala 1:5000)						

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se cuenta con otros potenciales insumos que pueden ser usados para la georreferenciación por ejemplo, la información vectorial disponible de vías públicas que ha sido oficializada por algunas municipalidades, las imágenes de los planos catastrados que están disponibles en el Sistema de Información del Registro Inmobiliario (SIRI), las distintas capas y cartografía a diferentes escalas disponibles en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT)<sup>12</sup>, las herramientas de transformación

12 Disponibles en el enlace: <https://www.snit.go.cr>

de coordenadas oficiales del IGNCR, el servicio de procesamiento en línea Spiderweb<sup>13</sup> y el recientemente implementado servicio de corrección diferencial (Network Transport of RTCM via Internet Protocol NTRIP). También se cuenta con estaciones base que ofrecen datos rinex como la Municipalidad de Escazú, algunas empresas privadas, así como el Servicio de Corrección Diferencial en Tiempo Real de pago que emplea la metodología de Estaciones de Referencia Virtuales (Virtual Reference Stations VRS); esto según Landau, Vollath y Chen (2002) y Wanninger (2003); que ofrece el Grupo Topografía y Auscultación del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

## Resultados

Los apartados presentados en el marco teórico permiten generar una base técnica y legal primaria que el profesional, dentro de su ejercicio debe consultar y seguir, pero sobre todo saber aplicar a efectos de obtener los mejores resultados posibles tanto en la exactitud de las coordenadas de sus objetos de levantamiento como en la georreferenciación de estos en caso de requerir un efecto catastral.

Uno de los principales objetivos de esta investigación es brindar elementos técnicos en su mayoría, pero también legales que ayuden a un mejor entendimiento de la situación actual en materia de georreferenciación con efectos catastrales. De ahí que una de las consultas más comunes y que mayormente se repiten dentro de los profesionales en topografía son: ¿Cómo llevar el levantamiento a la referencia solicitada por las autoridades? Y ¿Cuál es la diferencia después del traslado? La respuesta obviamente no es sencilla pues involucra, como ya se ha visto, una serie de elementos no solamente técnicos relacionados con el ejercicio profesional, sino que además conlleva aspectos legales en cuanto a la reglamentación general que regula toda la actividad profesional nacional así como también los lineamientos y obligaciones que se describen en cada una de las directrices (ver cuadro 5) y no menos importante el conocimiento para la utilización correcta de todos los insumos que se tienen a disposición.

En el cuadro 7, y considerando la alta demanda en la utilización de las técnicas satelitales GNSS, se presentan algunas de las principales técnicas

13 Disponible en el enlace: <https://gnss.rnp.go.cr/SBC/spider-business-center>

modernas que se aplican con mayor frecuencia en los levantamientos topográficos de inmuebles para su inscripción catastral. Es probable que algunos profesionales, instituciones y empresas apliquen otras técnicas o combinaciones de estas, por lo cual la información presentada aquí deberá considerarse como general a efectos prácticos. Se parte del hecho que se conoce la forma adecuada de aplicación, configuración y utilización de la metodologías e instrumentales y que los errores obtenidos estarán en concordancia únicamente con la aleatoriedad del proceso de medición, del instrumental y de las condiciones físicas de la zona de trabajo.

**Cuadro 7.** Consideraciones técnicas para la georreferenciación de información capturada por medio de técnicas satelitales y convencionales aplicadas en levantamientos topográficos.

Tipo de levantamiento	Configuración y tipo coordenadas	Consideraciones en la georreferenciación al Marco Nacional CR-SIRGAS
Medición GNSS en la modalidad RTK con la base sobre un punto pasivo nuevo y sin vínculo directo a estaciones conocidas.	<p>Se determinan coordenadas cartográficas (N, E) del punto en la época de observación <math>t_r</math>. El marco de referencia será el ITRF respectivo por ser el marco de las órbitas satelitales. Este es un aspecto que no podrá controlar el usuario, sin embargo, los ITRF son altamente consistentes. Luego se enviarán las correcciones respectivas por medio de radio al receptor rover. Se obtendrán coordenadas cartográficas (N, E) del levantamiento en la época de observación <math>t_r</math>.</p> <p>Si se dispone de conexión a internet alternativamente se puede procesar previamente el archivo de la con la herramienta Spiderweb del IGNCR para obtener coordenadas cartográficas (N, E) de la base en la época de referencia <math>t_0 = 2019,24</math>, marco nacional CR-SIRGAS. Luego se enviarán las correcciones respectivas por medio de radio al receptor rover y las coordenadas del polígono igualmente estarán en el marco nacional CR-SIRGAS, época de referencia 2019,24.</p>	<p>El punto base y el polígono levantado deberán ser contrastados con los insumos catastrales oficiales si el trabajo fue en Z1 o Z2. Probablemente exista una traslación y una leve rotación respecto al insumo debido a la diferencia de marcos y épocas de referencia y un eventual cambio de escala dependiendo de la zona de trabajo, los cuales deberán ser verificadas respecto a las tolerancias permitidas. Luego de la adecuación, el levantamiento estará en el marco y época del insumo catastral oficial. En el caso de Z3 no se tendrá posibilidad de un contraste oficial.</p>
Medición GNSS en la modalidad RTK con la base sobre un punto conocido pasivo y sin vínculo directo a estaciones conocidas.	Se introducen las coordenadas cartográficas (N, E) del punto como parte de la configuración instrumental del receptor base y luego de iniciado el levantamiento se transmiten las respectivas correcciones por medio de radio al receptor rover. Tener especial cuidado con la época de referencia de las coordenadas del punto base ya que todo el levantamiento estará referido a esa época.	<p>Si el punto base pertenece a la red nacional de coordenadas del IGNCR, época de referencia sea <math>t_0 = 2019,24</math>. Se deberá hacer la correspondiente adecuación con los insumos catastrales oficial dependiendo de la zona de trabajo. Luego de la adecuación, el levantamiento estará en el marco y época del insumo catastral oficial.</p>

Tipo de levantamiento	Configuración y tipo coordenadas	Consideraciones en la georreferenciación al Marco Nacional CR-SIRGAS
Medición GNSS en la modalidad exclusiva de NTRIP sobre un punto pasivo nuevo.	Se puede hacer el vínculo a cualquiera de las estaciones GNSS activas del IGNCR cuyas correcciones se transmiten vía internet, obteniendo coordenadas del levantamiento en la época de referencia $t_0 = 2019,24$ del marco nacional CR-SIRGAS v2.	El levantamiento deberá contrastarse con los insumos catastrales oficiales dependiendo de la zona de trabajo. Probablemente exista una traslación y una leve rotación respecto al insumo debido a la diferencia de marcos y épocas de referencia y un eventual cambio de escala dependiendo de la zona de trabajo, los cuales deberán ser verificadas respecto a las tolerancias permitidas. Luego de la adecuación, el levantamiento estará en el marco y época del insumo catastral oficial.
	Se puede hacer el vínculo a otras estaciones GNSS activas que ofrezcan el servicio de corrección NTRIP, sin embargo, se debe prestar especial atención a la época de referencia y marco al cual se refieren las coordenadas de dichas estaciones base.	Los resultados dependerán de las coordenadas de las estaciones de vínculo para lo cual el profesional deberá consultarlo con el proveedor. Si las coordenadas de las estaciones base no están enlazadas al marco nacional CR-SIRGAS, poner especial atención a la época de referencia y marco usado por estas bases. Lo anterior implicará un proceso adicional de correspondencia entre ese sistema y el marco nacional. En tal caso igualmente se deberá hacer el contraste con los diferentes insumos catastrales oficiales que existan según la zona de trabajo.
Combinación de mediciones GNSS en las modalidades RTK y NTRIP junto con levantamiento convencional.	Mínimo colocar dos puntos de apoyo sobre los cuales se hacen mediciones GNSS en alguna de las variantes descritas anteriormente. Se obtienen coordenadas cartográficas (N, E). Luego se hace el resto del levantamiento utilizando estación total. Lo ideal sería trabajar en el sistema de coordenadas dado por los puntos de apoyo. Se debe tener especial cuidado con la reducción de las mediciones para ser consistentes.	El levantamiento quedará vinculado al sistema de coordenadas de los puntos de apoyo el cual a su vez dependerá de la modalidad de vínculo. Se hará el contraste del levantamiento con los insumos catastrales respectivos dependiendo si es Z1 o Z2. Luego de la adecuación, el levantamiento estará en el marco y época del insumo catastral oficial.
Medición convencional.	Identificar puntos conocidos en la ortofoto y realizar el levantamiento convencional en un sistema local de coordenadas tanto de los puntos identificados como los del polígono de interés. Se obtienen coordenadas locales (n, e) del levantamiento.	Se cuenta con una serie de puntos idénticos conocidos como homólogos con los cuales se pueden determinar parámetros de transformación locales entre la zona de trabajo y el sector de insumo catastral. El resultado de la transformación permitirá conocer el error medio del proceso y el error medio de punto, parámetros que permitirán hacer una comparación con las tolerancias oficiales.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los diferentes tipos de levantamientos topográficos satelitales que no requieran de una inscripción catastral quizás son los más sencillos de realizar desde el punto de vista del procesamiento, debido a que lo ideal sería trabajar siempre a la época de observación dentro del marco nacional CR-SIRGAS, sin embargo, existe también la opción de vincular los resultados obtenidos en la época de observación a otra distinta,

por ejemplo, la 2019,24. Independientemente se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- a. Si se utilizó medición satelital en alguna de las modalidades descritas anteriormente los resultados obtenidos estarán ligados a la referencia de las estaciones bases. De ahí que es fundamental conocer no solo el valor numérico de las coordenadas de las bases, sino que además la época de referencia y el marco. En el caso de estaciones GNSS de operación continua administradas por el IGNCR los datos son claros y no tienden a confusión, sin embargo, en caso de usar otras referencias deben conocerse bien estos metadatos.
- b. El estacionamiento y orientación de las antenas, así como la medición de sus alturas, el conocimiento de las marcas y modelos son indispensables a la hora de hacer el levantamiento sobre todo en las modalidades RTK y NTRIP y en el caso de observaciones para postproceso revisar adecuadamente la configuración de los programas comerciales de procesamiento de manera que se empleen las calibraciones respectivas.
- c. Si el levantamiento requiere de una exactitud subcentimétrica es recomendable utilizar las órbitas finales las cuales brindan las posiciones reales de los satélites cada 15 minutos. Los programas comerciales de procesamiento permiten trabajar con estos archivos. Además, se deben contemplar los archivos de coordenadas finales con marco de las estaciones GNSS de operación continua.

## Conclusiones

Costa Rica cuenta con una referencia geodésica moderna y actualizada definida por medio del marco CR-SIRGAS, el cual está basado en una red nacional de estaciones GNSS de operación continua que proporcionan datos diariamente, los cuales son procesados y analizados con altos estándares internacionales de calidad junto con una redundancia internacional que asegura a los usuarios conjuntos de coordenadas semanales con una alta exactitud. Este marco operativo es la base fundamental sobre la que sustenta toda la información geoespacial del país, por lo cual deberá tenerse una correspondencia entre la forma de capturar la información de campo, su procesamiento y georreferenciación.

El incremento en el uso de las metodologías de medición GNSS con fines topográficos es una realidad indiscutible, sobre todo las variantes que permiten correcciones diferenciales en tiempo real. Sin embargo, los profesionales deberán ser críticos y sobre todo cuidadosos en la forma de realizar tantas variantes de medición en aras de obtener realmente la información dentro de la referencia y marco correspondiente. En el caso convencional las correcciones y reducciones a las observaciones son una tarea que no debe dejarse de lado, debido a que por medio de ellas es que se tiene compatibilización entre las superficies de referencia, es decir, no se pueden comparar mediciones en el espacio físico con los datos ya proyectados en un mapa. A efectos de georreferenciación estas diferencias son considerables.

Actualmente, las directrices y regulaciones estipuladas por el Registro Inmobiliario de Costa Rica que regulan los levantamientos topográficos que requieran surtir efecto catastral deberán estar georreferenciados al anterior marco geodésico CR05, época de referencia 2005,83 (ver DRI-001-2022 en el Cuadro 4). Este hecho responde a una serie de consideraciones técnicas y operativas tomadas por la administración correspondiente las cuales son de acatamiento obligatorio, sin embargo, los profesionales pueden ver este aspecto como un reto dirigido a incrementar el nivel de su práctica por medio de la realización de capturas de información utilizando equipos y metodologías apropiadas y adicionalmente efectuando procedimientos de cálculo, de ajuste y de georreferenciación adecuados. Desde ese punto de vista, existe mucho material puesto a disposición, así como talleres y cursos cortos que brindan capacitaciones, las cuales ofrecen a los profesionales una fuente de consulta constante.

Cada levantamiento topográfico con fines catastrales es particular, depende de muchas variables y un aspecto primordial es conocer indiscutiblemente la referencia de ese levantamiento y la referencia a la que se debe georreferenciar, tal como se presentan algunos de ellos según el Cuadro 7. Actualmente se disponen de una serie de insumos de diferentes tipos y exactitudes que les permiten a los profesionales realizar un proceso de georreferenciación adecuado (ver Cuadro 6), sin embargo, también es necesario en diferentes casos, la aplicación de herramientas y procedimientos matemáticos y cartográficos que ayuden a “llevar” los polígonos a la referencia solicitada por ley. Hay que considerar que cada tipo de insumo provee una cierta clase de información para el proceso de georreferenciación,

sin embargo, dependerá del profesional y su criterio técnico la aplicación de uno u otro inclusive a diferentes niveles jerárquicos, debido a que, todos los insumos tienen limitantes.

El uso de las tolerancias establecidas por la administración catastral (ver Cuadro 5) deben considerarse como un parámetro que permita generar levantamientos topográficos que contribuyan a la conformación y constante actualización de la información geoespacial nacional, debido a que, un polígono georreferenciado está proyectado al plano cartográfico nacional, lo que implicará a su vez que la información geométrica de los inmuebles estará proyectada.

La legislación nacional establece que la responsabilidad recae sobre los profesionales, de ahí que una recomendación es la consignación de notas técnicas complementarias en los planos de agrimensura. Estas notas brindarán información adicional en cuanto a época de observación, época de referencia, tipo de levantamiento, tiempos de medición, procesamiento de la información de campo y el tipo de insumos catastrales utilizados entre otros, ofreciendo datos muy valiosos a la administración durante el proceso de calificación.

### Referencias bibliográficas

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., & Boucher, C. (2007). ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters. *Journal of Geophysical Research*, 112(B9). <https://doi.org/10.1029/2007JB004949>
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Collilieux, X., Métivier, L. y Chanard, K. (2023). ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *Journal of Geodesy*, 97(5), 47. <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L. y Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(8), 6109–6131. <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>

- Altamimi, Z., Collilieux, X. y Métivier, L. (2011). ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. *Journal of Geodesy* 85, 457–473. <https://doi.org/10.1007/s00190-011-0444-4>
- Altamimi, Z., Sillard, P. y Boucher, C. (2003). The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000. *Geophysical Research Letters*, 30(2), 36-1-36-4. <https://doi.org/10.1029/2002GL016279>
- Anderson, J. y Mikhail, E. (1998). *Surveying: theory and practice* (7th ed). McGraw Hill. Estados Unidos de América.
- Bill, R., Nash, E., Grenzdörffer, G. y Wiebensohn, J. (2022). *Geographic Information Systems in Agriculture*. Springer Natures. Suiza. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53125-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53125-6_24)
- Bock, Y. y Wdowinski, S. (2020). GNSS Geodesy in Geophysics, Natural Hazards, Climate, and the Environment. *Position, Navigation, and Timing Technologies*, 21, 741-820. <https://doi.org/10.1002/9781119458449.ch28>
- Boucher, C. y Altamimi, Z. (1991). ITRF 89 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1989. *IERS Technical Note*, 6, 1–136.
- Boucher, C., Altamimi, Z. y Duhem, L. (1992). ITRF 91 and its associated velocity field. *IERS Technical Note*, 12, 1-142.
- Boucher, C., Altamimi, Z. y Duhem, L. (1994). Results and analysis of the ITRF93. *IERS Technical Note*, 18, 1-313.
- Boucher, C., Altamimi, Z., Feissel, M. y Sillard, P. (1996). Results and analysis of the ITRF94. *IERS Technical Note*, 20(1).
- Boucher, C., Altamimi, Z. y Sillard, P. (1998). Results and analysis of the ITRF96. *IERS Technical Note*, 24, 1-166.
- Boucher, C., Altamimi, Z. y Sillard P. (1999). The International Terrestrial Reference Frame (ITRF97). *IERS Technical Note*, 27, 1-192 p.
- Boucher, C., Altamimi, Z., Sillard, P. y Feissel-Vernier, M. (2004). The ITRF2000. *IERS Technical Note*, 31(1).
- Bursa, M. (1962). The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the earth, and the planes of the initial astronomic and geodetic meridians from observations of artificial earth satellites, *Stud. Geophys. Geod.*, (6), 209-214.

- Chueca, M., Herráez, J. y Berné, J. L. (1996). *Teoría de errores e instrumentación*. Paraninfo. ISBN 9788428323086. España.
- Decreto Ejecutivo N°30106-J. (2002). Se Declara Zona Catastral la Totalidad de los Cantones del Territorio Nacional. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47858&nValor3=50849&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=47858&nValor3=50849&strTipM=TC)
- Decreto Ejecutivo Número 33979-MJ-MOPT. (2007). Declara como datum horizontal oficial para Costa Rica el CR05, La Gaceta N° 108 del 06 de junio de 2007.
- Decreto Ejecutivo N° 34763-J. (2008). Reglamento a la Ley del Catastro Nacional. La Gaceta N° 186 del 26 de setiembre de 2008. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=64028&nValor3=74025&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=64028&nValor3=74025&strTipM=FN)
- Decreto Ejecutivo Número 40962-MJP. (2018). Actualización del Sistema Geodésico de Referencia Horizontal Oficial para Costa Rica. La Gaceta N° 66 del 17 de abril de 2018.
- Dörries, E. y Roldán, J. (2004). El Datum Geodésico de Ocotepaque y el Datum Satelitario del Sistema WGS84. *Revista UNICIENCIA*, 21(1 y 2), 117-125.
- Hastings, J. y Hill, L. (2009). Georeferencing en L. LIU y M. ÖZSU (Eds.), *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 1246–1249). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9\\_181](https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_181)
- Hill, L. (2006). *Georeferencing: The Geographic Associations of Information*. The MIT Press. Estados Unidos.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. (2008). *GNSS-Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and More*. Wein/New York: Springer. ISBN 978-3-211-73012-6
- Hooijberg, M. (1998). *Practical Geodesy Using Computer*. Springer-Verlag Berlin. Alemania.
- Hooijberg, M. (2008). *Geometrical Geodesy Using Information and Computer Technology*. Springer-Verlag Berlin. Alemania.
- International Earth Rotation Service. (2023). International Terrestrial Reference Frame. *IERS*. <http://www.iers.org>

- International GNSS Service. (2023). International GNSS Service (IGS). <https://igs.org/>
- International Organization for Standardization. (2008). Geographic information — Imagery sensor models for geopositioning — Part 1: Fundamentals. *ISO*. <https://www.iso.org/standard/66847.html>
- International Standard Organization Geodetic Registry. (2023). Geodetic Registry. *ISOGR*. <https://geodetic.isotc211.org/>
- Landau, H., Vollath, U. y Chen, X. (2002). Virtual Reference Station Systems. *Journal of Global Positioning Systems*, 1(2), 137–143. <https://doi.org/10.5081/jgps.1.2.137>
- Leick, A. (2015). *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos
- Ley N° 4294. (1968). Ley para el Ejercicio de la Topografía y Agrimensura. La Gaceta N° 296 del 27 de diciembre de 1968. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=5849&nValor3=6205&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=5849&nValor3=6205&strTipM=TC)
- Ley N° 6545. (1981). Ley del Catastro Nacional. Colección de Leyes y Decretos Año: 1981, Semestre: 1, Tomo: 1, Página: 32. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=38469&nValor3=75775&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=38469&nValor3=75775&strTipM=FN)
- Moya, J. (2022). Procesamiento GNSS en el Marco Geodésico CR-SIRGAS: influencia de las épocas de observación y referencia. *Revista Ingeniería*, 32(2), 48–85. <https://doi.org/10.15517/ri.v32i2.50181>
- Moya, J., Bastos, S. y Álvarez, A. (2021). Parámetros de transformación entre los marcos geodésicos CR05 y CR-SIRGAS contemplando diferentes soluciones ITRF. *Revista Ingeniería*, 31(1), 21–50. <https://doi.org/10.15517/ri.v31i1.43854>
- Moya, J. y Cedeño, B. (2017). Los diferentes datum y proyecciones cartográficas de Costa Rica: generalidades y relaciones. *Revista Geográfica de América Central*, 3(59), 39-61. <https://doi.org/10.15359/rgac.3-59.2>
- Niemeier, W. W., Roldan, J., Aguilar, L., Pelzer, H., Bagge, A., Augath, W. y Seifert, W. (1993). The Project Corbas — Determination of Recent Crustal Movements in Costa Rica. *International Association of Geodesy Symposia*, 111, 146–156. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-88055-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-88055-1_12)

- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Creative Common Atribución. España
- Petit, G. y Luzum, B. (2010). IERS conventions. *Tech. Rep. DTIC Document*, 36, 180.
- Registro Inmobiliario. (2012). Directriz RIM-001-2012. Definición de la georreferenciación y de las tolerancias permitidas que deben cumplir los levantamientos de agrimensura dentro del territorio nacional. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72509](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72509)
- Rizos, C. (2012). *The Role of Geodesy-GGOS & Future Trends*. Technical Seminar. Rome. [https://www.google.com/url?sa=t&ct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiI9uHV8dKAAxUTgoQIHUzsCBkQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.unoosa.org%2Fpdf%2Ficg%2F2012%2F2.pdf&usq=AOvVaw2e3iU1Q17pmw\\_pKL4xVRcX&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&ct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiI9uHV8dKAAxUTgoQIHUzsCBkQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.unoosa.org%2Fpdf%2Ficg%2F2012%2F2.pdf&usq=AOvVaw2e3iU1Q17pmw_pKL4xVRcX&opi=89978449)
- Sánchez, L., Drewes, H., Kehm, A. y Seitz, M. (2022). SIRGAS reference frame analysis at DGFI-TUM. *Journal of Geodetic Science*, 12(1), 92-119. <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0138>
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. (2023). Weekly positions generated by DGFI-TUM for the SIRGAS stations. *SIRGAS*. <https://www.sirgas.org/en/weekly-solutions/>
- Torge, W., Müller, J. y Pail, R. (2023). *Geodesy*. De Gruyter. Alemania. <https://doi.org/10.1515/9783110723304>
- United Nations Office for Outer Space Affairs. (2023). Internacional Association of Geodesy (IAG). *UNOOSA*. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/members/associate-members/iag.html>
- Wolf, H. (1963). Geometric connection and re-orientation of three-dimensional triangulation net. *Bull. Géodésique*, 68(1), 165-169.
- Wanninger, L. (2003). Virtual reference stations (VRS). *GPS Solutions*, 7(2), 143–144. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0060-8>
- Reference Frame – International GNSS Service (igs.org).