

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**ESCUELA DE TOPOGRAFÍA, CATASTRO Y GEODESIA**

INGENIERÍA EN TOPOGRAFÍA Y GEODESIA, CÓDIGO TGC507  
PROGRAMA DEL CURSO  
**GEODESIA SATELITAL (Grupo 01)**

Nombre del curso	<b>GEODESIA SATELITAL</b>
Tipo de Curso	Regular
Código del curso	<b>TGF501</b>
Nivel y Grado Académico	V, Licenciatura
Periodo lectivo	II ciclo, 2022
Modalidad	16 semanas (en formato presencial)
Naturaleza	teórico – práctico
Créditos	4
Horas totales semanales	11
Horas del curso	3 (lunes, 18:00-21:00)
Horas docentes	3
Horas de atención al estudiante	1 (lunes, 17:00-18:00)
Requisitos	Geodesia Física
Correquisitos	Ninguno
Docente:	Jose Francisco Valverde Calderón <a href="mailto:jose.valverde.valderon@una.cr">jose.valverde.valderon@una.cr</a>

**En esta Universidad nos comprometemos a prevenir, investigar y sancionar el hostigamiento sexual entendido como toda conducta o comportamiento físico, verbal, no verbal escrito, expreso o implícito, de connotación sexual, no deseado o molesto para quien o quienes lo reciben, reiterado o aislado. Si usted está siendo víctima de hostigamiento diríjase a la Fiscalía de Hostigamiento Sexual de la UNA o llame al teléfono: 2277-3961.**

### **PLAN DE TRABAJO**

#### **I. Descripción del curso:**

La Geodesia Satelital es una rama de la Geodesia que trata principalmente con satélites artificiales, cuya utilización resulta más cómoda y precisa que los métodos tradicionales, para el posicionamiento, aplica técnicas tridimensionales y contribuye a la solución de problemas de la Geodesia: de la Geodesia Geométrica y la Geodesia Física

Este curso es de carácter teórico-práctico y comprende la explicación general de los procesos de la mecánica orbital involucrados en el movimiento de los satélites en sus órbitas, el conocimiento de las fuerzas que afectan ese movimiento, tanto a órbitas reales como a teóricas. Se describen los métodos de observación utilizados por la geodesia moderna para el establecimiento y mantenimiento del marco de referencia terrestre y celeste, así como el marco internacional de alturas y el de gravedad.

En el componente práctico del curso se realizan sesiones prácticas de gabinete en las cuales se utilizan herramientas de software especializadas para el cálculo de los parámetros de la órbita de los satélites, transformación entre sistemas de coordenadas celestes y sistemas de tiempo.

El curso pretende que el estudiantado adquiera la fundamentación matemática rigurosa que le permita entender la importancia de los sistemas de posicionamiento satelital, las tecnologías GNSS, el potencial gravitacional y la geodesia física como elementos fundamentales de los datos espaciales, de tal manera que pueda liderar proyectos geodésicos de investigación, ingenieriles o aplicados, en las entidades públicas y privadas.

## II. Objetivos

### Objetivo General:

Desarrollar los fundamentos teóricos para el estudio de las órbitas de los satélites artificiales utilizados en Geodesia para el posicionamiento global y navegación, además de su relación con el establecimiento y mantenimiento del marco de referencia terrestre y celeste.

### Objetivos específicos:

Al finalizar el curso el estudiante será capaz de:

1. Realizar los procesos de cálculo, corrección y predicción de las órbitas de los satélites artificiales, de forma tal que sea posible conocer la posición exacta del satélite en todo momento, aspecto fundamental para el posicionamiento global y navegación.
2. Comprender la física del movimiento de los satélites artificiales utilizados en geodesia, mediante su relación con los conceptos físicos como lo son fuerza, aceleración y velocidad angular, para aplicaciones prácticas en casos requeridos.
3. Aplicar la tecnología GNSS y las diferentes técnicas utilizadas en ella, con el fin de lograr altas exactitudes en la ejecución de proyectos de ingeniería y de investigación, mediante la identificación de las variables fundamentales que intervienen en su desarrollo.
4. Utilizar modelos matemáticos que permitan realizar las correcciones de los datos geodésicos satelitales para obtener resultados más exactos en el posicionamiento estático y en la navegación.
5. Utilizar observaciones satelitales, para el desarrollo de proyectos de ingeniería e investigación, mediante la aplicación de las tecnologías modernas como VLBI, LLR, SLR y DORIS que permitan la captura de datos y productos para la comunidad científica relacionados con el Sistema Internacional

de Referencia Terrestre (ITRS), Sistema Internacional de Referencia Celeste (ICRS), y los Parámetros de Rotación de la Tierra (EOP).

### III. Contenido temático:

#### 1. Sistemas y marcos geodésicos de referencia

- 1.1. Antecedentes históricos: Astronomía Geodésica
- 1.2. Sistemas geodésicos clásicos de referencia
- 1.3. Concepto moderno de sistema de referencia, marco de referencia y datum geodésico
- 1.4. Importancia y aplicación de los marcos de referencia geodésicos en otras ciencias
- 1.5. Sistema de referencia celeste (ICRS) y el marco de referencia celeste (ICRF)
- 1.6. Sistema de referencia terrestre (ITRS) y el marco de referencia terrestre (ITRF)
- 1.7. Sistema internacional de alturas (IHRF) y el marco de referencia de alturas (IHRF)
- 1.8. Marco de referencia de gravedad (IGRF)
- 1.9. Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP)
  - 1.9.1. Precesión
  - 1.9.2. Nutación
  - 1.9.3. Movimiento de Polo
- 1.10. Convenciones del IERS
- 1.11. Servicios científicos de la Asociación Internacional de Geodesia para el establecimiento y mantenimiento del ITRF y el ICRF
  - 1.11.1. International GNSS Service (IGS)
  - 1.11.2. International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS)
  - 1.11.3. International Laser Ranging Service (ILRS)
  - 1.11.4. International DORIS Service
- 1.12. Densificación del ITRF en el continente americano (SIRGAS) y en Costa Rica
- 1.13. Sistemas de tiempo
  - 1.13.1. Importancia del tiempo en los métodos geodésicos
  - 1.13.2. Tiempo sidéreo y tiempo universal
  - 1.13.3. Tiempo atómico: TAI, UTC, Tiempo GPS, Tiempo de GLONASS
  - 1.13.4. Leap seconds
- 1.14. Transformación del ICRF al ITRF y viceversa
  - 1.14.1. Aplicación en el procesamiento de datos GNSS

#### 2. Órbitas normales

- 2.1. Fundamentos de mecánica celeste
  - 2.1.1. Ley de conservación del momento angular
  - 2.1.2. Problema de dos cuerpos
  - 2.1.3. Leyes de Kepler
  - 2.1.4. Ley de la caída de los cuerpos y la ley de atracción gravitacional
- 2.2. Geometría de la órbita elíptica.
  - 2.2.1. Secciones cónicas
  - 2.2.2. Ecuación de movimiento
  - 2.2.3. Ecuación de Kepler
  - 2.2.4. Elementos keplerianos
  - 2.2.5. El vector de estado

- 2.3. La órbita en el espacio.
- 2.4. Predicción de las órbitas.
  - 2.4.1. Efemérides transmitidas
  - 2.4.2. Conversión del vector de estado a elementos keplerianos
  - 2.4.3. Conversión de elementos keplerianos al vector de estado
  - 2.4.4. Clasificación de las orbitas
  - 2.4.5. Trayectorias terrestres (*Ground tracks*)

### 3. Órbitas perturbadas

- 3.1. Ecuación del movimiento.
- 3.2. La elipse osculante
  - 3.2.1. Representación de la órbita perturbada
  - 3.2.2. Teoría General de Perturbación
  - 3.2.3. Ecuaciones de perturbación de Lagrange
  - 3.2.4. Ecuaciones de perturbación de Gauss
- 3.3. Perturbaciones gravitacionales y no gravitacionales
  - 3.3.1. Perturbaciones provocadas por el campo de gravedad de la Tierra
    - 3.3.1.1. Efecto de la perturbación gravitacional en la órbita
    - 3.3.1.2. Perturbación causada por los coeficientes zonales  $J_n$
  - 3.3.2. Perturbación provocada por el Sol y la Luna
  - 3.3.3. Perturbación provocada por mareas terrestres y oceánicas
  - 3.3.4. Perturbación provocada por la atmosfera (Drag Atmosférico)
  - 3.3.5. Perturbación provocada por la radiación solar (directa e indirecta)
- 3.4. Efemérides precisas
  - 3.4.1. Cálculo por parte del IGS
  - 3.4.2. Necesidad de la integración de las órbitas (procesamiento GNSS)
  - 3.4.3. Métodos analíticos para la integración de órbitas
  - 3.4.4. Métodos numéricos para la integración de órbitas
  - 3.4.5. Aplicaciones

### 4. Observaciones satelitales

- 4.1. Conceptos fundamentales
  - 4.1.1. La importancia del ajuste geodésico para la Geodesia Satelital
- 4.2. Técnica Doppler
- 4.3. Interferometría de Líneas Base Muy Largas (VLBI)
  - 4.3.1. Fundamentos
  - 4.3.2. Instrumental
  - 4.3.3. Aplicaciones
- 4.4. Mediciones Láser a Satélites (SLR) y a la Luna (LLR)
  - 4.4.1. Fundamentos
  - 4.4.2. Instrumental
  - 4.4.3. Aplicaciones
- 4.5. Sistema DORIS
  - 4.5.1. Fundamentos
  - 4.5.2. Instrumental
  - 4.5.3. Aplicaciones
- 4.6. Altimetría satelital

- 4.6.1. Fundamentos
- 4.6.2. Instrumental
- 4.6.3. Misiones Topex/Poseidon y Jason
- 4.6.4. Aplicaciones

#### IV. Estrategia metodológica:

El presente curso es de naturaleza teórico - práctico. Basado en esta perspectiva, el curso se desarrollará con una mezcla de actividades teóricas para brindar al estudiantado los conceptos del tema desarrollado, mismos que, de acuerdo con la temática, serán complementados con actividades prácticas que el estudiantado deberá realizar ya sea en la clase o en las horas de estudio independiente asignadas al curso. De esta manera, el docente brindará el material de referencia con los fundamentos teóricos y conceptuales del tema que se está analizando, mismos que serán desarrollados y ampliados por el docente en las clases presenciales.

En la parte práctica del curso, como se indicó, se desarrollarán actividades de cálculo y análisis que tendrán como objetivo reforzar lo explicado en clase, ya sea mediante trabajo en clase o por medio de tareas, que tendrán que ser resueltas por el estudiantado usando las horas de estudio independiente. Estas tareas buscan que el estudiantado analice el problema planteado y le plantee una solución aplicando no solo los conceptos vistos en clase, sino también los conceptos que ha adquirido a lo largo de la carrera en el área de Geodesia y su aplicación en áreas como la Topografía y la Geomática. Estas asignaciones las deberá resolver en el programa de cálculo de su preferencia.

En cuanto a la forma como se impartirá el curso, en base a lo establecido en UNA-R-CIRC-028-2022, UNA-VD-CIRC-024-2022, **el curso se impartirá en modalidad presencial**

#### V. Estrategia evaluativa:

Detalle	Cantidad	Porcentaje	Fecha tentativa de entrega por parte del estudiantado
Tareas	2	30% (15% cada una)	Tarea 1: 17 de octubre de 2022 Tarea 2: 14 de noviembre de 2022
Bitácora del capítulo 1	2	25% (12.5% cada una)	Bitácora 1: 12 de septiembre de 2022 Bitácora 2: 24 de octubre de 2022
Poster	1	25%	03 de octubre de 2022
Examen final	1	20%	21 de noviembre de 2022
<b>TOTAL</b>		<b>100%</b>	

**Todas las actividades evaluativas tienen carácter obligatorio**

A continuación, el detalle de cada actividad:

1. **Tareas:** éstas consisten en la solución de problemas de cálculo, mediante el uso del programa de preferencia por parte del estudiantado y el uso de herramientas en línea o actividades de investigación orientadas a complementar lo visto en el curso. Durante el desarrollo del curso se **asignarán dos tareas**

**Forma de evaluación:** para cada una de las tareas, cada de una de las preguntas tendrá un valor determinado, en función de su grado de complejidad y análisis requerido. Luego de la comparación de la solución del docente con la del estudiantado, así como el análisis de los resultados obtenidos, el docente asignará el puntaje a la respuesta y sumará el puntaje total, para luego obtener la calificación total y el porcentaje obtenido por parte del estudiantado. Al momento de presentar y explicar al estudiantado la formulación de la tarea, el docente también dará las pautas para la presentación, incluyendo la plantilla donde el estudiantado deberá resolver y presentar la tarea

2. **Bitácora del capítulo 1:** Considerando que el capítulo 1 del curso trata sobre marcos y sistema de referencia, estos contenidos son teóricos. Por ende, con el fin de analizar el grado de asimilación conceptual por parte del estudiantado, este deberá responder y analizar una serie de preguntas sobre esta temática, cuyas respuestas debe plasmar en la bitácora. Así, la bitácora del capítulo 1 consiste en que luego de cada clase, el docente elaborará a lo sumo cuatro preguntas relacionadas con la materia vista ese día y / o información que complementa lo visto, mismas que el estudiantado deberá responder en la plantilla asignada para este fin.

Estas respuestas las debe realizar en base a lo explicado en la clase y lo que el estudiantado investigue (en caso de que aplique). Luego, en las fechas indicadas, debe enviar el documento con las respectivas respuestas para su revisión y calificación. La fecha final de entrega de cada bitácora se confirmará una semana antes, ya que se depende del avance en los contenidos según el cronograma planteado. Se espera que el estudiantado responda la preguntas según el grado de comprensión que este ha adquirido tras la explicación por parte del docente y el desarrollo de las prácticas de clase

Como cada semana se darán las respectivas preguntas asociadas con la materia vista, el estudiantado podrá avanzar en dar respuesta a las mismas. Con el fin de estandarizar la entrega, el docente facilitará el documento base en el cual el estudiantado debe responder las preguntas, mismo que luego será usado para la respectiva evaluación.

**Forma de evaluación:** cada de una de las preguntas tiene un valor de un punto. En función de la calidad de la respuesta (pertinencia, calidad técnica, vocabulario, ortografía, gramática) el docente asignará el puntaje a la respuesta.

3. **Poster:** El objetivo de este trabajo es que el estudiantado realice una investigación sobre un tema complementario a los contenidos del curso y sistematice los resultados de esta investigación en un poster. El formato del poster (dimensiones, tipo de letra, estructura, entre otros detalles) es el siguiente:

- **Características generales de un póster**

- Combina los atributos de las exhibiciones y de la presentación oral
- Se transmite mejor el mensaje al hacer una imagen visual, brindando mayor flexibilidad para las explicaciones (el poster da énfasis a la parte visual, sin dejar de lado la rigurosidad técnico – científica)
- Un poster es un equilibrio entre poco texto e ilustraciones claras que le permiten al lector comprender el mensaje

- **Estructura del poster:**

- **El poster será realizado en grupos de dos personas**
- Dimensiones: el tamaño de la hoja debe ser una hoja A0
- Se debe dejar un margen de 2.5 cm a cada lado de la hoja. A esta distancia, se debe colocar un marco con un grosor de 3 puntos
- La orientación del texto puede ser horizontal o vertical
- El tamaño de la letra del título debe ser de 3.0 cm
- El tamaño de la letra con el autor debe ser de 2.5 cm
- El tamaño de la letra con la institucion debe ser de 1.0 cm
- Título debe ser breve, con no más de 15 palabras
- Letra para utilizar: las personas que elaboren del poster la deben seleccionar
- Tamaño de letra para utilizar en el cuerpo del poster: las personas que elabores el poster lo debes seleccionar
- El apartado de introducción describe que se va a presentar en el poster
- Se sugiere ordenar el tema por columnas, pero a la vez se debe considerar que las imágenes tengan un tamaño y resolución adecuadas
- Se recomienda buscar en internet ejemplos de poster, de forma que el estudiantado se dé una idea de la estructura y formato de estos

**El tema asignado a cada estudiante para el poster se comunicará al estudiantado el 22 de agosto de 2022. A lo sumo al 15 de agosto de 2022, el estudiantado debe comunicar al docente los nombres de las personas que conformaran el grupo.**

La forma como se calificará el poster será la siguiendo la siguiente rubrica:

Ítem	Valor	Porcentaje obtenido:
Cumplimiento de las pautas dadas para el formato del poster	3.0%	.
Pertinencia y calidad de la información presentada en el poster acerca del tema asignado	12.5%	
Ortografía y gramática	2.0%	
Uso adecuado de imágenes y cuadros	3.0%	
Referencias bibliográficas (pertinencia y actualidad)	2.0%	
Aspecto visual del poster	2.5%	
Total:		

4. **Examen final:** El examen final se realizará el 21 de noviembre de 2022 en el horario de la clase y en el laboratorio 2. Este consistirá en una serie de preguntas teóricas que buscan evaluar el grado de asimilación conceptual de los contenidos del curso por parte del estudiantado.

**Forma de evaluación:** cada de una de las preguntas tendrá un puntaje definido en función de la complejidad de la pregunta. Considerando de la calidad de la respuesta dada por el estudiantado (pertinencia, calidad técnica, vocabulario, ortografía, gramática) el docente asignará el puntaje a la respuesta.

**Se aclara que el examen es final, lo que implica que se evalúa todo el curso.** Sin embargo, se dará énfasis a los contenidos de los capítulos 2, 3 y 4, sin que esto implique que para responder estas preguntas, no se deba recurrir a conceptos del capítulo 1.

**Observaciones adicionales sobre el desarrollo del curso:**

1. Cada actividad tiene una fecha de entrega, la cual se le ratificará al estudiantado al menos una semana antes de la fecha final de entrega o al momento de la formulación de la actividad evaluativa
2. En caso de tener dudas o problemas, se puede coordinar con el docente para tener una reunión virtual aclaratoria, aunque se solicita primero usar para este fin la hora de consulta establecida para el curso
3. La hora de consulta será los **lunes de 17 a 18 horas en el laboratorio de cómputo #2** de la ETCG

4. No se recibirá ningún documento para evaluar fuera de la **fecha final** de entrega definida por el docente y comunicada al estudiantado. Sin embargo, de manera extraordinaria, cuando las circunstancias lo ameriten y justifiquen (por ejemplo, el impacto de algún fenómeno natural), las fechas podrán ser modificadas buscando no generar perjuicios al estudiantado
5. Las clases se impartirán en el laboratorio de cómputo #2 de la ETCG
6. La asistencia a las clases presenciales **NO** es obligatoria. Sin embargo, considerando la Estrategia para Seguimiento de la Repitencia y la Deserción de la ETCG, el docente tomara lista de asistencia. Esta lista será levantada antes del receso a mitad de la clase.
7. Las actividades del curso están estructuradas para realizarse de manera individual, salvo que la formulación de la actividad indique otro modo de trabajo
8. Tiene derecho a realizar un examen extraordinario el estudiante con una nota final (ya redondeada) superior o igual a 6.0 pero inferior a 7.0
9. Todas las actividades evaluativas son de carácter obligatorio
10. El material del curso, así como las asignaciones, se le compartirán al estudiante usando la aplicación Google Classroom. La invitación para que estudiantado se una al espacio en Classroom, será enviada por el docente por correo electrónico
11. Todo documento de la evaluación debe ser remitido por el estudiantado en la plataforma Google Classroom, en el espacio asignado para tal fin
12. **El medio oficial de comunicación entre el estudiantado y el docente es a través del correo [jose.valverde.calderon@una.ac.cr](mailto:jose.valverde.calderon@una.ac.cr)**

## VI. Cronograma Tentativo de actividades:

# sesión	Fecha	Tipo de sesión	Contenido	Actividades	Recursos didácticos requeridos
1	08 de agosto	Presencial	Revisión con el estudiantado del programa del curso 1.1 Antecedentes históricos: Astronomía Geodésica	Presentación programa curso Clase magistral	Internet Computadora
2	15 de agosto		Feriado, Día de la Madre		
3	22 de agosto	Presencial	1.2 Sistemas geodésicos clásicos de referencia 1.3 Concepto moderno de sistema de referencia, marco de referencia y datum geodésico 1.4 Importancia y aplicación de los marcos de referencia geodésicos en otras ciencias 1.5 Sistema de referencia celeste (ICRS) y el marco de referencia celeste (ICRF)	Clase magistral	Internet Computadora
4	29 de agosto	Presencial	1.6 Sistema de referencia terrestre (ITRS) y el marco de referencia terrestre (ITRF)	Clase magistral <b>Práctica 1: Actualización de coordenadas y cambio de marco de referencia</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave
5	05 de septiembre	Presencial	1.6 Sistema de referencia terrestre (ITRS) y el marco de referencia terrestre (ITRF)	Clase magistral	Internet Computadora
6	12 de septiembre	Presencial	1.7 Sistema internacional de alturas (IHRF) y el marco de referencia de alturas (IHRF) 1.8 Marco de referencia de gravedad (IGRF) 1.9 Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP)	Clase magistral	Internet Computadora
7	19 de septiembre		Feriado, Día de la Independencia		
8	26 de septiembre	Presencial	1.10 Convenciones del IERS 1.11 Servicios científicos de la Asociación Internacional de Geodesia para el establecimiento y mantenimiento del ITRF y el ICRF	Clase magistral <b>Práctica 2: Boletines del IERS y su uso para fines geodésicos</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave

# sesión	Fecha	Tipo de sesión	Contenido	Actividades	Recursos didácticos requeridos
9	03 de octubre	Presencial	1.12 Densificación del ITRF en el continente americano (SIRGAS) y en Costa Rica 1.13 Sistemas de tiempo	Clase magistral  <b>Práctica 3: El ITRF en Costa Rica</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave
10	10 de octubre	Presencial	1.13 Sistemas de tiempo 1.14 Transformación del ICRF al ITRF y viceversa	Clase magistral	Internet Computadora
11	17 de octubre	Presencial	2.1 Fundamentos de mecánica celeste 2.2 Geometría de la órbita elíptica 2.3 La órbita en el espacio	Clase magistral  <b>Práctica 4: Fundamentos de mecánica celeste y leyes de Kepler</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave
12	24 de octubre	Presencial	2.4 Predicción de las órbitas 3.1 Ecuación del movimiento	Clase magistral	Internet Computadora
13	31 de octubre	Presencial	3.2 La elipse osculante 3.3 Perturbaciones gravitacionales y no gravitacionales 3.4 Efemérides precisas	Clase magistral  <b>Práctica 5: Diferencia entre efemérides transmitidas y efeméride precisas</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave
14	07 de noviembre	Presencial	4.1 Conceptos fundamentales 4.2 Técnica Doppler 4.3 Interferometría de Líneas Base Muy Largas (VLBI) 4.4 Mediciones Láser a Satélites (SLR) y a la Luna (LLR)	Clase magistral	Internet Computadora
15	14 de noviembre	Presencial	4.5 Sistema DORIS 4.6 Altimetría Satelital	Clase magistral  <b>Práctica 6: Series de tiempo derivadas de altimetría satelital</b>	Internet Computadora Hoja de cálculo / Matlab / Octave
16	21 de noviembre	Presencial	<b>Evaluación final (Examen final)</b>		

**Resumen de la fecha de entrega de las evaluaciones:**

# sesión	Fecha	Actividades Docente	Actividad estudiantado
3	22 de agosto	Entrega de los temas para el poster	
6	12 de septiembre		Entrega de la bitácora 1, capítulo 1
8	26 de septiembre	Entrega de la formulación de la tarea 1	
9	03 de octubre		Entrega del poster
11	17 de octubre		Entrega de la tarea 1
12	24 de octubre		Entrega de la bitácora 2, capítulo 1
12	24 de octubre	Entrega de la formulación de la tarea 2	
15	14 de noviembre		Entrega de la tarea 2
16	21 de noviembre		Examen Final

**VII. Bibliografía:**

7.1. *Bibliografía:*

Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & 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.

Campos-Arias, P., Esquivel-Hernández, G., Valverde-Calderón, J. F., Rodríguez-Rosales, S., Moya-Zamora, J., Sánchez-Murillo, R., & Boll, J. (2019). **GPS Precipitable Water Vapor Estimations over Costa Rica: A Comparison against Atmospheric Sounding and Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS).** *Climate*, 7(5), 63. <https://doi.org/10.3390/cli7050063>

Charlot, P., Jacobs, C. S., Gordon, D., Lambert, S., de Witt, A., Böhm, J., ... & Gaume, R. (2020). **The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry.** *Astronomy & Astrophysics*, 644, A159.

Dach, R., & Walser, P. (2015). **Bernese GNSS Software Version 5.2.**

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008). **GNSS: Global Navigation Satellite Systems: GPS, Glonass, Galileo and More**, 1° Edition, Springer Wien New York, Austria, 517 p

Kaula, William M. **Theory of Satellite Geodesy, Applications of Satellites to Geodesy**. New York, Dover Publications, Inc.

Leick, A. (2004). **GPS Satellite Surveying**. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, United States of America

Lowrie, W. (2011). **A student's guide to Geophysical Equations**. Cambridge University Press. New York, United States of America

Meyer, T. (2010). **Introduction to geometrical and physical geodesy: foundations of geomatics**. Redland, Calif. : ESRI Press

Petit, G., & Luzum, B. (Eds.) (2010). **IERS Conventions**. Frankfurt am Main, Germany: Verlag des Bundesamtes für kartographie und Geodäsie.

Seeber, Günter (2003) **Satellite Geodesy**. 2nd Edition. Berlin, New York: De Gruyter. 589 pgs.

Seitz, M. (2014). **Comparison of different combination strategies applied for the computation of terrestrial reference frames and geodetic parameter series**. In: Kutterer

Paniagua-Jiménez, D., & Valverde-Calderón, J. (2018). **Análisis de la influencia de las señales del sistema GLONASS en el procesamiento de una red geodésica regional**. Uniciencia, 32(1), 1-17. <https://doi.org/10.15359/ru.32-1.1>

Sánchez, L., Ágren, J., Huang, J., Wang, Y. M., Mäkinen, J., Pail, R., ... & Liu, Q. (2021). **Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHR)**. Journal of Geodesy, 95(3), 1-33.

Wziontek, H., Bonvalot, S., Falk, R., Gabalda, G., Mäkinen, J., Pálinkás, V., ... & Vitushkin, L. (2021). **Status of the international gravity reference system and frame**. Journal of Geodesy, 95(1), 1-9.

### Sitios de interés en Internet

Sitio Web de la Universidad Nacional

<http://www.una.ac.cr/>

Sitio Web de la ETCG

[www.etcg.una.ac.cr](http://www.etcg.una.ac.cr)

Sitio Web del Departamento de Registro

<https://www.registro.una.ac.cr/>

Repositorio Académico Institucional (RAI) de la Universidad Nacional:

<http://www.repositorio.una.ac.cr/>

Portal de journal y libros Springer Link

<https://link.springer.com/>

Portal ScienceDirect

<https://www.sciencedirect.com/>

Portal electrónico de Revistas Académicas de la Universidad Nacional:

<http://www.revistas.una.ac.cr/>

Defensoría de los Estudiantes

<http://www.defensoria.una.ac.cr/>

Fiscalía contra el Hostigamiento Sexual

<http://www.fiscalia.una.ac.cr/>

- Enlaces a sitios de interés relacionados con la temática del curso

ITRF

<https://itrf.ign.fr/>

Global Geodetic Reference Frame

<https://www.unggrf.org/>

SIRGAS

<http://www.sirgas.org/es/>

Global Geodetic Observing System

<https://ggos.org/>

International GNSS Service

<https://www.igs.org/>

International VLBI Service for Geodesy and Astrometry  
<https://ivscc.gsfc.nasa.gov/>

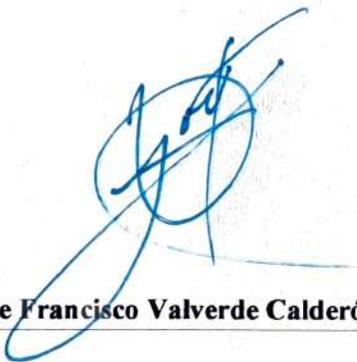
International Laser Ranging Service  
<https://ilrs.gsfc.nasa.gov/>

International DORIS Service  
<https://ids-doris.org/>

Programa Copernicus  
<https://www.copernicus.eu/en>

Aviso+  
<https://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>

Sea Level Research Group, Colorado University  
<https://sealevel.colorado.edu/>

<i>Firma del docente</i>	<i>Firma de la Dirección y Sello de la ETCG</i>
 <p><b>Jose Francisco Valverde Calderón</b></p>	 <p><b>Directora a.i Sara Bastos Gutiérrez</b></p>