

## 42. INCORPORACIÓN DEL OBJETIVO 13 (ACCIÓN POR EL CLIMA) DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN LA ASIGNATURA DE POSICIONAMIENTO DEL MÁSTER EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y GEOINFORMACIÓN DE LA ETSIGCT DE LA UPV

A. B. ANQUELA JULIAN

[anquela@upv.es](mailto:anquela@upv.es)

A. MARTÍN FURONES

[aemartin@upvnet.upv.es](mailto:aemartin@upvnet.upv.es)

E. COLL ALIAGA

[ecoll@upv.es](mailto:ecoll@upv.es)

M. J. PORRES DE LA HAZA

[mporres@upv.es](mailto:mporres@upv.es)

ETSIGCT de la Universitat Politècnica de València

**Resumen:** En este artículo se pretende describir la metodología empleada para incorporar el objetivo de desarrollo sostenible número 13, acción por el clima, en el programa de la asignatura posicionamiento, perteneciente al plan de estudios del máster de ingeniería Geomática y Geoinformación que se imparte en la ETSI Geodésica, Cartográfica y Topográfica de la Universitat Politècnica de València. Las Universidades tenemos un papel determinante en la modificación de conductas sociales hacia la búsqueda de un modelo de desarrollo económico y social mundial que sea sostenible, tanto para la vida humana como para los ecosistemas en su conjunto, objetivo base de los ODS, y en concreto desde la Universidades Politécnicas gozamos de una situación privilegiada en el entramado social, que permite acercar la tecnología a los ODS. Desde esta perspectiva ambiciosa, este artículo trabaja el caso particular de una asignatura, acercando a los estudiantes los ODS, y aplicando metodologías de aprendizaje orientadas a la evaluación

de las consecuencias del cambio climático, mediante la aplicación de técnicas de posicionamiento y geodesia espacial. En este artículo se describe la práctica que deben hacer nuestros estudiantes en el marco de los ODS.

**Abstract:** This article aims to describe the methodology used to incorporate sustainable development objective number 13, climate action, in the positioning program, belonging to the study plan of the master's degree in Geomatics and Geoinformation engineering taught at ETSI Geodesic, Cartographic and Topographic of the Polytechnic University of Valencia. Universities have a decisive role in modifying social behaviors towards the search for a model of global economic and social development that is sustainable, both for human life and for ecosystems as a whole, the basic objective of the SDGs. Polytechnic Universities have a privileged situation in the social network, which allows us to bring technology closer to the SDGs. From this ambitious perspective, this article works on the particular case of a subject, bringing the SDGs closer to students, and applying learning methodologies aimed at evaluating the consequences of climate change, through the application of positioning techniques and spatial geodesy. This article describes the practice that our students should do within the framework of the SDGs.

**Palabras clave:** PIAE, estudiante de nuevo ingreso, PATU,

**Key words:** SDG, climate change, GNSS, teaching innovation

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible se ha definido como el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. El desarrollo sostenible exige esfuerzos concentrados en construir un futuro inclusivo, sostenible y resiliente para las personas y el planeta. Para alcanzar el desarrollo sostenible, es fundamental armonizar tres elementos básicos: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente. Estos elementos están interrelacionados y son todos esenciales para el bienestar de las personas y las sociedades (Naciones Unidas. Objetivos del desarrollo sostenible. 2020).

La aplicación de los Objetivos de desarrollo sostenible se establece en la agenda de acción Addis Abeba, resultado de la tercera conferencia internacional sobre financiación para el desarrollo, donde se espera que todas las partes interesadas (gobiernos, sector privado, ciudadanía, etc.), contribuyan a la

consecución de los objetivos. Paralelamente y medida que los mercados globales entran en la Cuarta Revolución Industrial, la geomática se encuentra alineada con el mercado, agregando dimensión espacial y contexto de ubicación a la infraestructura digital, sistemas interconectados y procesos de negocio. La geomática se está volviendo indispensable en todas las esferas de la vida. Se está convirtiendo en un sinónimo de conectar personas para obtener mayores beneficios. Es necesaria para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible o proporcionar el tejido sobre el cual se pueden construir soluciones inteligentes.

Este escenario propicia la bondad que supone relacionar la tecnología y la consecución de los ODS (García y Astigarraga 2020). Son muchas las universidades que ya trabajan bajo esta premisa, sin embargo, queda mucho margen para avanzar en este sentido, y la Geomática y la Cartografía son fuente de infraestructura básica de evaluación de problemas y propuesta de soluciones en los objetivos de Desarrollo sostenible.

La asignatura de Posicionamiento forma parte del plan de Estudios del máster de Ingeniería Geomática y Geoinformación, que se imparte en la Escuela Técnica superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica de la Universitat Politècnica de València. Como resultados de aprendizaje se contempla el conocimiento de los sistemas globales de posicionamiento y saber diseñar soluciones basadas en ellos para problemas de ingeniería. Uno de los sistemas de posicionamiento más empleado por la ciudadanía es aquel basado en técnicas de posicionamiento global a partir de satélite. Existen muchas técnicas que trabajan con la señal de los sistemas de posicionamiento global (GNSS), obteniéndose diferentes precisiones. Una de las técnicas que devuelven una mayor precisión es el método del posicionamiento empleando series de observaciones de larga duración, a través de estaciones GNSS permanentes. Nuestros estudiantes, aprenderán a emplear este método trabajando con datos GNSS para analizar el posible efecto causado por el deshielo en los polos sobre las placas tectónicas. Teóricamente, al desaparecer la masa helada, el peso de ésta debe ser compensado por movimientos isostáticos de las placas tectónicas en las zonas polares, haciendo que las placas asciendan en estas zonas (Sella 2007).

Esta experiencia permite a nuestros estudiantes a través de una de las prácticas propuestas, conocer cómo está afectando el derretimiento del Polo Norte a las distintas estaciones permanentes GNSS cercanas a él en los últimos años a través de técnicas de geodesia espacial y de posicionamiento. Mediante este estudio se podrá ver la tendencia de cada una de las

coordenadas de las estaciones permanentes, tomando especial interés en las variaciones en altura, así como la velocidad de cambio de dichas coordenadas, es decir, se podrá comprobar si en los últimos años se ha acelerado el proceso de pérdida de hielo sobre el área de estudio, como consecuencia del cambio climático. (Monfort 2011).

El cambio climático afecta de manera global a todo el planeta y tiene un impacto negativo sobre la economía y la ciudadanía en general. El objetivo 13 exige medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus consecuencias.

Esta experiencia permite a nuestros estudiantes valorar de forma objetiva, empleando variables geodésicas, consecuencias medibles del cambio climático, y cuantificar el proceso de aceleración que se está produciendo.

## PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Según Mehdi (2018) la isostasia es la condición de equilibrio que presenta la superficie terrestre debido a la diferencia de densidad de sus partes. Se resuelve en movimientos verticales y está fundamentada en el principio de Arquímedes. El equilibrio isostático puede romperse por un movimiento tectónico o el deshielo de una capa de hielo. Este es el efecto que se desea cuantificar a través de los datos obtenidos de las series temporales de observaciones GNSS de estaciones permanentes, de ubicación cercana al polo norte.

El International GNSS Service (IGS) es un servicio civil que forma parte de la Asociación Internacional de Geodesia. Este servicio está formado por más de doscientas organizaciones de todo el mundo que colaboran cediendo datos de sus estaciones de referencia GNSS con el objetivo de generar productos GNSS de alta precisión. Estos productos tienen la finalidad de ser una utilidad para apoyar los estudios científicos relacionados con el conocimiento de la Tierra y desarrollo de todo tipo de aplicaciones multidisciplinares que requieran productos GNSS de alta calidad. Para ello el International GNSS Service emplea datos de observaciones de estaciones de referencia GNSS de múltiples organismos o instituciones de todo el mundo, formado de este modo una red mundial de estaciones de referencia GNSS a partir de la cual realiza un seguimiento continuo de los satélites de las constelaciones GNSS. (IGS 2020).

La figura 1 muestra la red mundial de estaciones de referencia GNSS del International GNSS Service (IGS).

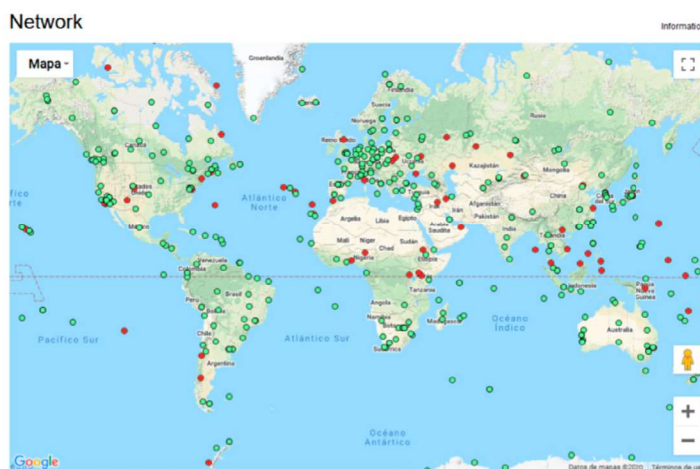


Figura 1: Red de estaciones IGS.

Para el estudio se consideró conveniente emplear únicamente datos de las estaciones permanentes GNSS cuya latitud fuera mayor o igual a 40°N, ya que el trabajo se centra en evaluar el efecto del Polo Norte sobre las estaciones cercanas a éste. Así, el primer paso para realizar el estudio fue hacer una recopilación de estaciones que superasen esta latitud, y así mismo, de los datos disponibles de éstas. (CDDIS NASA's Archive of Space Geodesy Data 2020). Es necesario también tomar la precaución de agrupar las estaciones por placas tectónicas.

En la figura 2 se presenta un esquema con las distintas estaciones permanentes empleadas en el estudio.



Figura 2: Vista de las estaciones empleadas.

Posteriormente es necesario realizar la transformación de coordenadas cartesianas geocéntricas a geodésicas para posteriormente valorar la variación de las coordenadas en altura. (Hoffman-Wellenhof & Lichtenegger, 2001).

En la tabla 1 se muestra, para la estación permanente GNSS Fair, la variación temporal de la posición de esta.

TABLA 1: INCREMENTOS ESTACIÓN FAIR			
Semana GPS	Incre. N	Incre. E	Incre. H
999	0,000000000	0,000000000	0,000000000
1000	0,001040679	-0,000651787	0,004639551
1001	-0,005060288	-0,003796818	0,010591215
1002	-0,007553284	-0,002936416	0,015986588
1003	-0,007897109	-0,001367218	0,014848886
1004	-0,008142162	0,000328876	0,015109153
1005	-0,008350069	0,000247542	0,016348939
1006	-0,007760107	-0,000210064	0,014327902
1007	-0,008094100	0,000796125	0,013985085
1008	-0,007757435	-0,00055161	0,012109362

La primera solución de las coordenadas es 0 para sus tres componentes, ya que es la que se toma como instante inicial para el cálculo de los desplazamientos. El procedimiento se repite para todas las estaciones.

Es importante conocer qué ha pasado en cada una de las estaciones durante los años en los que se está realizando el estudio. Esto nos justificará el porqué de algunos de los saltos que aparecerán en los gráficos (no de todos), pudiendo hacer un mejor análisis de los resultados obtenidos. Para ello, se emplean los ficheros log de cada una de las estaciones.

Se consideran relevantes cambios de receptor y antena (tanto modelo como número de serie), firmware, elevation cutoff, punto de referencia de la antena, posición up, north, easth de la antena, así como el random type y, por supuesto, el sistema de referencia a los que están referidos los datos.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran los saltos producidos por estas causas para la estación Fair, y en la tabla 2 la tipología de estos.

Se estudian las discontinuidades de los gráficos para cada una de las componentes de las coordenadas (N, E, h)

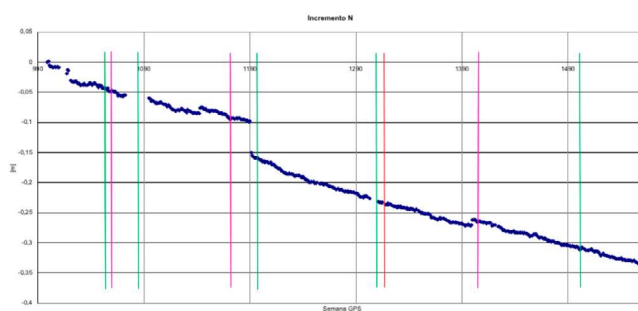


Figura 3.

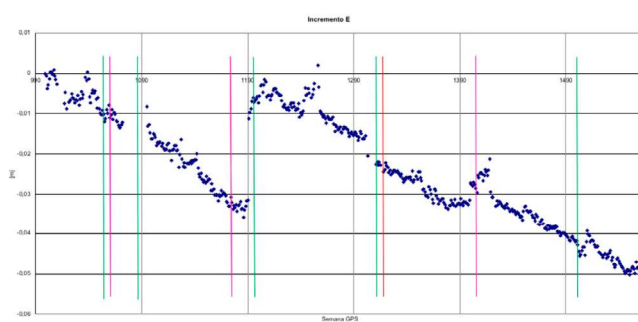


Figura 4.

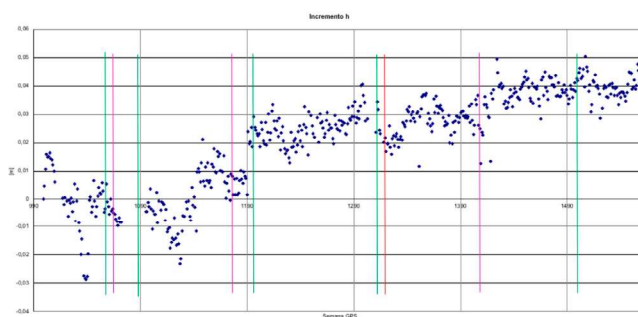


Figura 5.

Gráfico 1: FAIR.

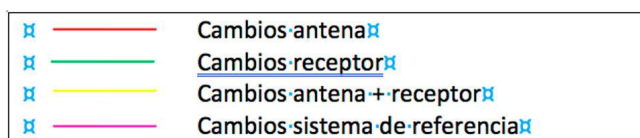


TABLA 2: LEYENDA SALTOS	
	Cambios antena
	Cambios receptor
	Cambios antena + receptor
	Cambios sistema de referencia

Se reducen también, todas las observaciones a un marco de referencia común para todas las estaciones en el periodo de estudio.

El estudio se realizará valorando exclusivamente el incremento de altura elipsoidal *Incremento h*.

Para finalizar, los estudiantes deberán realizar un análisis de la tendencia ajustando la nube de puntos a un polinomio de grado 3 eliminando así los efectos de mareas terrestres y cambios estacionales.

La figura 6 muestra el ajuste del polinomio de grado 3 sobre la estación permanente GNSS Kely.

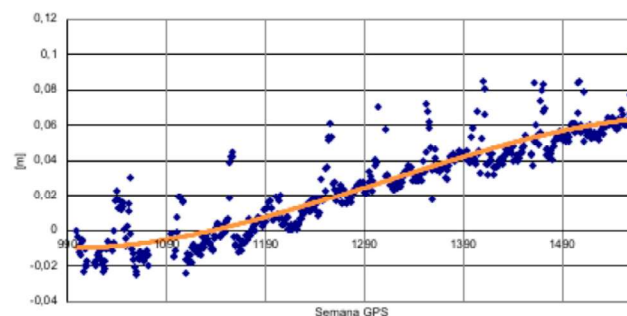


Figura 6: Ajuste de KELY.

Cada estudiante, de manera individual realiza el proceso descrito anteriormente sobre una de las estaciones seleccionadas. Alguna de las estaciones se repite por varios estudiantes como elemento de control. Posteriormente los alumnos se reúnen agrupándose por puntos pertenecientes a la misma placa tectónica con el objetivo de evaluar conjuntamente el desplazamiento de la placa en esa zona.



## RESULTADOS

En la figura 7 se muestra la puesta en común de todas las estaciones para la placa americana.

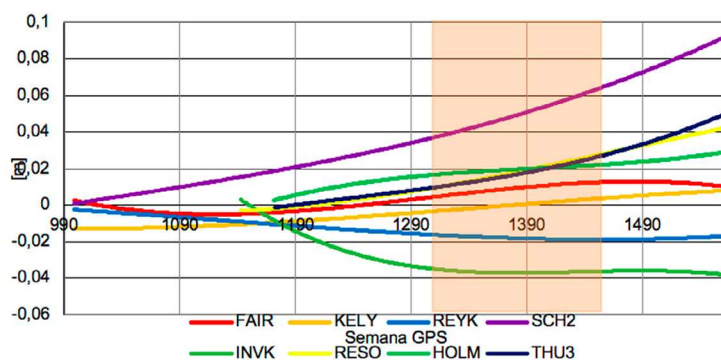


Figura 7: Variación en altura de estaciones en placa americana.

La figura 8 muestra para la placa americana, la variación temporal de las estaciones en función de la latitud a la que se encuentran.

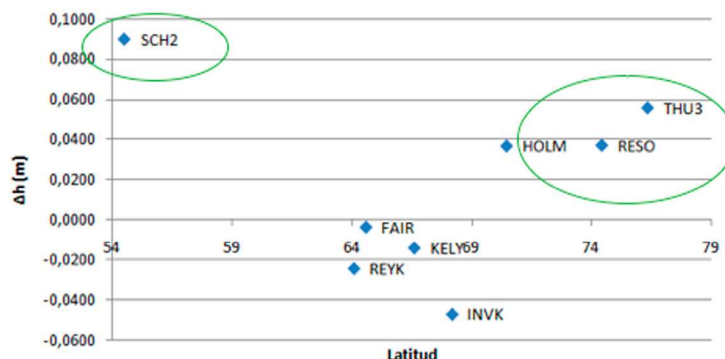


Figura 8: Variación en altura en la placa americana/latitud de los puntos.

Consideramos importante que los estudiantes valoren, además de los desplazamientos en altura de las estaciones, la velocidad a la que se producen estos desplazamientos. En la figura 9 se muestra la velocidad de desplazamiento de la placa americana en función de la latitud de las estaciones.

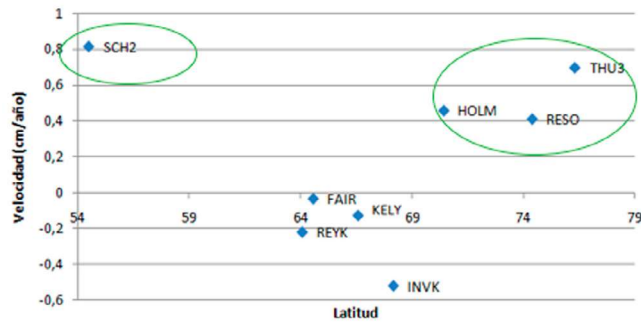


Figura 9: Velocidad de estaciones en placa americana.

En la figura 10 se muestra la puesta en común de todas las estaciones para la placa euroasiática.

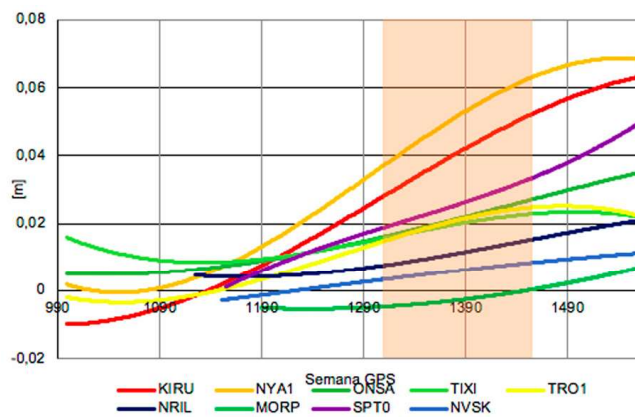


Figura 10: Variación en altura de estaciones en placa euroasiática.

La figura 11 muestra para la placa euroasiática, la variación temporal de las estaciones en función de la latitud a la que se encuentran.

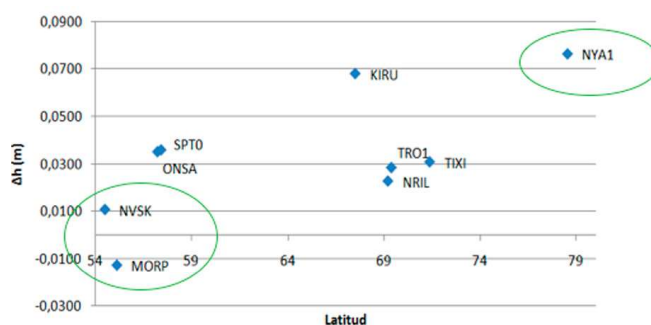


Figura 11: Variación en altura de estaciones en placa euroasiática/latitud de los puntos.

En la figura 12 se muestra la velocidad de desplazamiento de la placa euroasiática en función de la latitud de las estaciones.

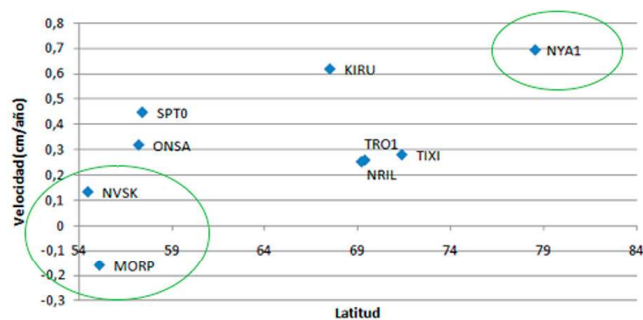


Figura 12: Velocidad de estaciones en placa euroasiática.

A partir de las figuras 8 y 9 para la placa americana y, 11 y 12 para la placa euroasiática, los alumnos aprecian como existe una clara correlación entre la latitud de los puntos estudiados y la cantidad de masa de hielo perdido, dándose una mayor pérdida en puntos de mayor latitud, y por tanto más próximos al polo. Paralelamente, a partir del estudio de las figuras 7 y 10 puede observarse como el proceso de pérdida de hielo se acelera en los últimos años para el periodo estudiado, esto se evidencia a través de las pendientes de las curvas.

Añadir que, en esta práctica cada estudiante trabaja y obtiene la serie de uno de los puntos seleccionados, posteriormente se agrupan por placa tectónica y analizan los resultados en su conjunto. De esta forma también se trabaja la competencia transversal trabajo en equipo y liderazgo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La cuarta revolución industrial es una realidad y las tecnologías digitales presentan grandes potencialidades. Satélites de observación de la tierra y de posicionamiento cubren nuestro planeta permitiendo monitorizar todos los cambios, y la geomática es un facilitador clave para el estudio del cambio climático.

En este trabajo se emplea la solución semanal de varias de las estaciones permanentes pertenecientes a la red IGS. Estas soluciones se han reprocesado través de dos campañas, la primera desde el año 1994 a 2007 en la llamada repro1, y desde 1994 a 2013 en repro2. Este proceso garantiza soluciones completamente consistentes empleándose los modelos matemáticos más recientes e idénticas estrategias de procesamiento (Steingebner 2006)

Mediante esta actividad, conseguimos trabajar las competencias específicas y transversales asignadas en la memoria de verificación del máster de ingeniería geomática y geoinformación para la asignatura de posicionamiento, y de forma paralela estudiar la evaluación de la pérdida de la masa de hielo sobre zonas cercanas al polo norte, como queda evidenciado a través de los resultados que se muestran en las figuras 7, 8 y 9 para la placa americana, y 10, 11 y 12 para la placa euroasiática.

Es importante resaltar la necesidad de completar el estudio incorporando soluciones de la variación del nivel medio del mar para ese periodo, a partir de los datos que nos proporcionan los mareógrafos y los modernos satélites altimétricos, y de gravedad a partir de observaciones satélite y terrestres (Holger, Gitlein, Denker, Müller, y Timmen, (2009).; Vestol (2006).

Emplear el talento de nuestros estudiantes, y la infraestructura tecnológica que disponen las universidades politécnicas al servicio de los objetivos de desarrollo sostenible, es una obligación. Simultanear procesos de aprendizaje en el área del posicionamiento por satélite, en el ámbito del objetivo 13 de los ODS, es gratificante para nuestros estudiantes y supone un complemento formativo de enorme riqueza.

## REFERENCIAS

- CDDIS NASA's Archive of Space Geodesy Data (2020). Recuperado de [https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/GNSS/station\\_position\\_products.html](https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/station_position_products.html).
- GARCÍA y ASTIGARRAGA (2020) Los objetivos del desarrollo sostenible en la formación universitaria. Recuperado de <https://www.universidadsi.es/objetivos-de-desarrollo-sostenible-universidad/>.
- HOFFMAN-WELLENHOF, J. C., & LICHTENEGGER, H. (2001). *GPS Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag.
- HOLGER, S., GITLEIN, O., DENKER, H., MÜLLER, J., & TIMMEN, L. (2009). Present rate of uplift in Fennoscandia from GRACE and absolute gravimetry. 474.
- IGS. International Geodesy Service (2020) Recuperado de <http://www.igs.org/>.
- Mehdi S. (2018). Contributions of satellite geodesy to post-glacial rebound research. Doctoral thesis. KTH, Royal Institute of Technology. School of Architecture and the Built Environment (ABE), Urban Planning and Environment, Geodesy and Satellite Positioning. Stockholm.
- MONFORT L. (2011). Estudio de la evolución temporal de las estaciones cercanas al Polo Norte. Proyecto final de carrera. ETSI Geodésica, Catográfica y Topográfica. Universitat Politècnica de València.
- Naciones Unidas. Objetivos del desarrollo sostenible. (2020). Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.
- SELLA, G. F., STEIN, S., DIXON, T. H., CRAYMER, M., JAMES, T. S., MAZZOTTI, S., y otros. (2007). Observation of glacial isostatic adjustment in "stable" North America with GPS. 34 (L02306).
- STEIGENBERGER, P., ROTHACHER, M., DIETRICH, R., FRITSCHKE, M., RÜLKE, A., & VEY, S. (2006). Reprocessing of a global GPS network. 111 (B05402).
- VESTOL, O. (2006). Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation.