

# Teledetección con GNSS-R (Global Navigation Satellite System-Reflections) desde la costa al espacio

F. Soulat, E. Farrés, S. Dunne, O. Germain, C. Martín, M. Martínez, M. Caparrini y G. Ruffini  
cristina.martin@starlab.es

*Starlab Barcelona S.L. Research Research Department  
Cami de l'Observatori s/n. 08035 Barcelona*

## RESUMEN

En este documento se presenta el trabajo realizado por Starlab en los últimos cinco años en relación a la tecnología GNSS-R: desde sus orígenes, hasta los actuales proyectos en los que se analiza la viabilidad de emplazar un sensor de estas características en una plataforma espacial, así como los beneficios que ello reportaría.

**PALABRAS CLAVE:** GNSS-R, GPS, Galileo, altimetría, reflectometría, tsunamis, nivel del mar.

## ABSTRACT

In this document the work carried out at Starlab in the last five years in relation to the GNSS-R technology is presented: from its origins to the current projects in which we are currently analyzing the feasibility to place a GNSS-R sensor in a satellite, as well as the benefits that will be acquired with this action.

**KEY WORDS:** GNSS-R, GPS, Galileo, altimetry, reflectometry, tsunami, sea surface height.

## INTRODUCCIÓN

El uso de señales reflejadas provenientes de los Sistemas de Navegación Global por Satélite (*GNSS - Global Navigation Satellite Systems*) es una tecnología con gran potencial para aplicaciones de teledetección oceanográfica, ya que a través de su uso se consigue: analizar grandes áreas, gran precisión en las medidas, hacer desaparecer el vínculo entre las medidas y las condiciones meteorológicas y finalmente, y de gran interés, se consiguen múltiples medidas complementarias con un único sensor.

En Starlab hemos seguido y contribuido al desarrollo de dicha tecnología desde sus orígenes: analizando gran variedad de escenarios, así como actualmente contribuyendo a la definición de una posible misión espacial.

Este documento pretende dar una visión global de esta tecnología, así como analizar su evolución desde sus orígenes hasta su estado actual.

## SISTEMAS DE NAVEGACIÓN GLOBAL POR SATÉLITE

Existen varias características de interés que motivan el uso de dichos sistemas para aplicaciones de teledetección, aunque dos de ellas son fundamentales. En primer lugar, los satélites que integran los sistemas GNSS son satélites emplazados en órbitas altas y con ángulos de inclinación elevados, cuya ventaja principal es que permiten la cobertura del globo terráqueo íntegra o casi íntegra. En segundo lugar, e igualmente importante, debemos citar que actualmente disponemos de varios sistemas GNSS, algunos ya operativos (GPS), y otros en proceso de crecimiento (constelación GLONASS, Galileo). Así pues, está más que asegurada la continuidad y mejora de la recepción de señales reflejadas por dichos sistemas.

## TEORÍA GPS

La teoría en la que se fundamenta la tecnología GNSS-R está estrechamente ligada con la teoría

F. Soulat, E. Farrés, S. Dunne, O. Germain, C. Martín, M. Martínez, M. Caparrini y G. Ruffini

GPS (código GPS L1 C/A). Es por ello que a continuación, y a modo de introducción detallamos los fundamentos y teoría en los que se basan nuestras medidas.

La señal GPS emitida por un satélite  $s(t)$  está caracterizada por tres factores: la frecuencia de la onda portadora ( $f_p$ ), el código abierto  $CA(t)$  y el mensaje de navegación  $N(t)$ .

El código  $CA(t)$  es una secuencia de bits única para cada satélite, por lo que a través de él se identifica al emisor. La secuencia binaria se construye a una frecuencia de 1 MHz. El mensaje de navegación contiene información sobre las efemérides, estado de la constelación y otros datos relativos al sistema y a diferencia del anterior se modula a una frecuencia de 50Hz.

Así pues la señal directa se puede modelar de la siguiente forma:

$$s(t) = N(t) \cdot CA(t) \cdot e^{i2\pi f t}$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la onda portadora.

## GNSS-R

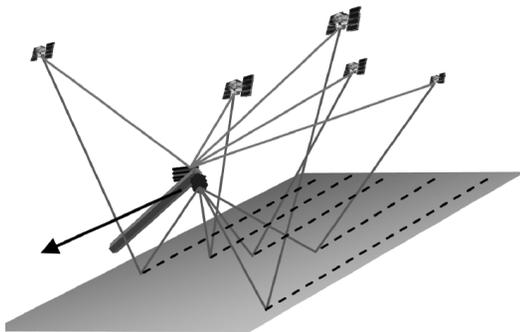
GNSS-R podría definirse como un nuevo sistema de RADAR (Radio Detection And Ranging) multiestático que utiliza señales de oportunidad (Martin-Neira, 1993).

De entre varias posibles aplicaciones de esta tecnología, dos tipos son los de mayor interés para la comunidad científica en estos últimos años (Caparrini, 1998):

- altimetría marina. Medida de la altura del nivel del mar (SSH- Sea surface height)
- reflectometría de la superficie del mar. Parámetro que permite la determinación de la rugosidad, así como de la medida del viento en la superficie (oleaje) (Garrison *et al.*, 2002).

Su carácter multiestático es lo que hace de GNSS-R una tecnología única entre sus competidores. De esta forma un mismo receptor adquiere información simultánea de puntos que reflejan las señales de diferentes emisores GNSS visibles en la misma área de observación.

Aunque parezca una tecnología simple y muy ventajosa, no debemos olvidar que las señales GNSS presentan una relación  $S/N$  muy baja, ya que no fueron diseñadas inicialmente para aplicaciones radar. Esta restricción hace que el procesamiento de la señal adquiera un rol prioritario en el análisis.



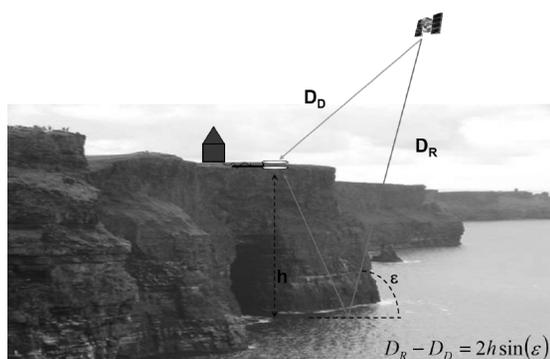
**Figura 1.** Representación del escenario real en el que el sensor GNSS-R adquiere las señales directas del resto de satélites presentes en la zona, así como las señales reflejadas en la superficie – concepto PARIS.

La debilidad de la señal reflejada se ve afectada principalmente por la superficie de reflexión, que degrada la intensidad, pero al mismo tiempo traslada sus características. Sus efectos concretos sobre la señal son: reducción de la intensidad, distorsión del frente de la onda y pérdida de la coherencia de la misma.

Aunque las longitudes de onda relativas a señales GNSS están alrededor de los 20 cm, los resultados experimentales han demostrado que la teoría de la Óptica Geométrica es la más apropiada para el análisis de las señales GNSS-R. Esta teoría se puede utilizar para demostrar que la potencia reflejada es proporcional al número de frentes correctamente orientados, así como a sus curvaturas.

## Altimetría

El principio básico en las medidas altimétricas se fundamenta en la diferencia de tiempo de recepción entre la señal directa y la reflejada. Esta diferencia



**Figura 2.** Escenario de medidas altimétricas realizadas desde la costa.

temporal se conoce como *lapse*. Para mayor detalle la Figura 2 provee un ejemplo gráfico de un escenario representativo.

Dicha diferencia caracterizará las medidas altimétricas de manera que la variación en altura se relaciona con la diferencia de caminos entre la señal reflejada y la directa de la forma:

$$\delta h = \frac{\delta l}{2\sin(\varepsilon)},$$

siendo  $\varepsilon$  la elevación local del satélite en el punto de reflexión.

Una de las mayores particularidades de la altimetría GNSS-R es que la precisión adquirida es varios órdenes de magnitud por debajo de la longitud temporal del pulso emitido, aunque normalmente se asume que la precisión a la que se puede llegar mediante un sistema radar es del mismo orden magnitud.

### Reflectometría

Dado el carácter introductorio de este documento y la amplia área científica en relación a reflectometría GNSS, nos limitaremos en este apartado a mencionar simplemente que la reflexión de señales GNSS es la propiedad que enriquece a la misma con información que permite la caracterización de la superficie oceánica. Así mismo, dicha señal es posteriormente analizada mediante óptica geométrica.

### Aplicaciones oceanográficas

El fuerte vínculo entre la atmósfera y el océano es y será la base de los modelos matemáticos de simulación de la dinámica terrestres. La superficie del mar constituye el enlace entre ambos y al mismo tiempo regula el momento, la energía, el intercambio de materia, así como la dinámica entre diferentes agentes como el viento, oleaje y otros elementos que caracterizan los intercambios en la superficie.

La superficie del océano está caracterizada en primer orden por particularidades relacionadas con la altura del nivel del mar (*local mean sea level*, *Sea Wave Height*) y el oleaje (*directional mean square slope*). Pero actualmente aún no se han realizado

medidas de mesoescala, lo que supone un atraso en el análisis del cambio climático.

## GNSS-R UNA REALIDAD

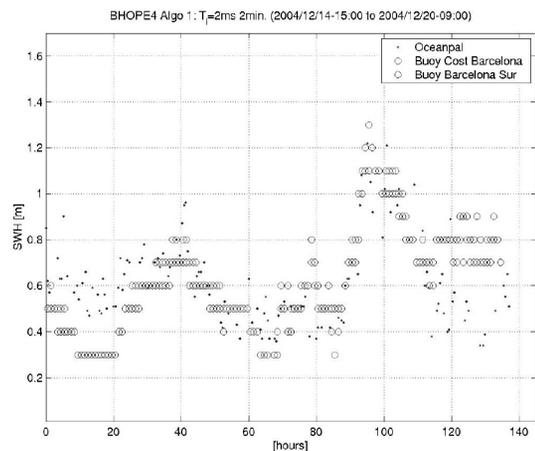
### GNSS-R desde la costa

En Starlab hemos desarrollado nuestro propio sensor basado en la tecnología GNSS-R, al cual hemos llamado Oceanpal.

Oceanpal es un sensor pasivo, cuya funcionalidad, representada gráficamente en la Figura 2, es principalmente la medida de:

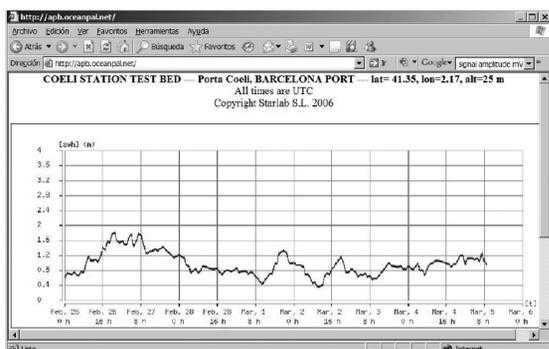
- Altura del nivel del mar
- Oleaje en la superficie
- Sus principales ventajas respecto a sus competidores son que:
  - Es un sensor remoto
  - Provee datos a tiempo real
  - Respeto el medio ambiente
  - Tiene un fácil mantenimiento
  - Es fácilmente ubicable en varios entornos.

Oceanpal ya ha sido experimentalmente validado, y sus resultados han sido comparados con éxito con sistemas de boyas a lo largo del litoral catalán (ver Figura 3).



**Figura 3.** Resultados de Oceanpal (.) comparados con dos boyas situadas en la costa Catalana (o).

F. Soulat, E. Farrés, S. Dunne, O. Germain, C. Martín, M. Martínez, M. Caparrini y G. Ruffini



**Figura 4.** Resultados a tiempo real del sensor Oceanpal ubicado en el puerto de Barcelona (<http://apb.oceanpal.net/>).

## GNSS-R EN EL ESPACIO

### El concepto PARIS

GNSS-R aún no ha llegado a sus límites. Todavía hay mucho camino por recorrer. Por ello en Starlab nos hemos embarcado en una nueva aventura basada en analizar la viabilidad de embarcar dicha tecnología en una plataforma espacial.

PARIS “*A passive reflectometry and interferometry system*” (ver Figura 1, y Martín-Neira, 1993) es el nombre de la iniciativa que desde la Agencia Espacial Europea da origen a la tecnología GNSS-R. Este concepto empieza a ver sus frutos en la actualidad, donde su fase Gamma II, analiza la posibilidad de emplazar dicha tecnología en un satélite.

El equipo de Starlab contribuye al proyecto en la definición, manufacturación y validación de un sensor GNSS-R aerotransportable. Prototipo que en un futuro podría desembocar en un sistema embarcable en un satélite.

El éxito de esta iniciativa ayudaría a proveer nuevos productos con excelente cobertura y buena resolución a bajo coste. Al mismo tiempo permitiría la expansión de las aplicaciones de GNSS-R a otros campos de las ciencias de la Tierra.

### Detección de tsunamis

Un sistema en órbita podría proveer la caracterización de diferente tipo de fenómenos geofísicos como por ejemplo la caracterización de tsunamis. Esta es la base del proyecto STERNA (ESA, 2005) el cuál ha permitido demostrar el potencial de la tecnología GNSS-R (PARIS) para la detección de tsunamis [Martín-Neira *et al.*, 2005].

Inicialmente se adaptaron las características del sensor GNSS-R a la escala sinóptica de los tsunamis. Posteriormente se consiguió simular el concepto PARIS (Figura 3) teniendo en cuenta un sistema de 10 satélites. En una base de datos se integraron los valores reales que han caracterizado los terremotos más conocidos del último siglo cuyo foco se encuentra próximo al lecho oceánico. Finalmente, se analizaron cuales serían los tiempos de detección de dichos eventos en tiempo real, así como la caracterización de la densidad de los mismos a través de simulaciones Monte-Carlo.

A través de dicho experimento se concluyó que el 80% de los tsunamis acontecidos podrían detectarse en menos de 1 hora a través de constelaciones con órbitas de 800 km. En caso de órbitas superiores (1.300 km) la tasa aumentaba al 100% de éxito en un período de 1 hora y 45 minutos. Estos resultados llevan a considerar que el concepto PARIS emplazado en una constelación de órbita fija podría ser de gran ayuda para la detección de estos fenómenos geofísicos.

### OCEANPAL en Groenlandia

Más recientemente, el equipo de Starlab se ha embarcado en una nueva iniciativa (CryoVEX, ESA) en la que se ha enviado un sensor Oceanpal a Groenlandia. El objetivo de la misión es la realización de varios vuelos sobre la región de Svalbard y Groenlandia, para la adquisición de datos experimentales. Dichos datos ayudarán a analizar el potencial de la tecnología GNSS-R para la caracterización de superficies glaciales.

## CONCLUSIONES

La tecnología GNSS-R muestra un futuro de éxito asegurado. Tantas son sus aplicaciones y tan prometedores los resultados obtenidos que actualmente ya existen varias misiones en las que GNSS-R no sólo se tiene en consideración para el análisis de superficies oceanográficas, sino que se perfila como una herramienta de gran utilidad para el estudio para diferentes tipos de superficies.

El éxito de los estudios de viabilidad del GNSS-R aerotransportado ayudaría notoriamente a la evolución tecnológica de la observación de la Tierra y ampliaría el margen de aplicaciones.

## AGRADECIMIENTOS

A todo el equipo de Starlab por su colaboración y ayuda en la realización de este documento.

## BIBLIOGRAFÍA

CAPARRINI, M. 1998, Using reflected GNSS signals to estimate surface features over wide ocean areas. *ESTEC Working Paper*. No. 2003

GARRISON, J. L., A. KOMJATHY, V. U. ZAVOROTNY, y KATZBERG, S. J. 2002. Wind-Speed

Measurement using Forward-Scattered GPS Signals, *IEEE Tran. on Geoscience and Remote Sensing*. 40 (1): 50-65.

MARTÍN-NEIRA, M. 1993, A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): application to ocean altimetry. *ESA Journal*. 17: 331-355.

MARTÍN-NEIRA, M., BUCK, C., GLEASON, S., UNWIN, M., CAPARRINI, M., FARRÈS, E. GERMAIN, O., RUFFINI, G. y SOULAT, F. 2005. Tsunami detection using the PARIS concept. *Progress in Electromagnetics Research Symposium 2005*.