



Observación de la Tierra para la Gestión de Zonas Costeras



Introducción

La erosión costera representa un problema apremiante y creciente con implicaciones sociales y económicas irreconciliables. La erosión no es continua y variará en función de varios factores, como la estación o las intervenciones antrópicas. Es evidente que los cambios climáticos traerán una mayor frecuencia e intensidad de las tormentas en nuestras costas, lo que exacerbará los cambios. El mapeo y el monitoreo de los cambios en la línea costera mediante observaciones satelitales permite una nueva perspectiva a nivel nacional para observar el efecto de estos cambios en múltiples escalas de tiempo y para respaldar la capacidad de pronosticar cambios futuros. La información satelital brinda apoyo para la implementación de estrategias que se pueden tomar para mitigar dichos cambios.

Los datos satelitales son vastos y complejos. Por lo tanto, los usuarios, los ingenieros y los responsables de la toma de decisiones necesitarán comprender cómo se derivan los productos costeros actuales e históricos para poder realizar el análisis. Estos productos se pueden usar dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para proporcionar datos precisos para mejorar las decisiones y reducir los costos. Este documento ha sido diseñado para ayudar al lector a comprender mejor la utilidad de los productos de Observación de la Tierra (EO) a través de los siguientes puntos:

- Cómo pueden mejorar los datos satelitales la Planificación de la Gestión de Zonas Costeras.
- Cómo se mide el cambio costero desde el espacio.
- Cómo se pueden usar los productos de EO en la Gestión Integrada de Zonas Costeras.
- Cómo acceder a los productos de erosión costera derivados de datos satelitales.





El satélite Sentinel-2 toma imágenes de un mismo punto de la tierra cada 2 a 5 días.

¿Cómo pueden los datos satelitales mejorar la planificación de la Gestión de Zonas Costeras?

Los satélites orbitan la Tierra de manera predecible y recopilan imágenes del mismo lugar a intervalos regulares de tiempo. Una órbita continua permite que las misiones adquieran datos a una frecuencia regular y permite recopilar grandes cantidades de los mismos. Estos datos pueden identificar condiciones cambiantes a través del tiempo. Los sensores espaciales también ofrecen una alta resolución espacial¹ y recopilan información sobre bandas espectrales específicas que abarcan un rango del espectro electromagnético. Esto admite análisis variados y aumenta los conocimientos derivados.

¹ Sentinel-2 y LANDSAT son dos gratuitos muy utilizados. Ofrecen una resolución espacial de 10m y 30m, respectivamente. Los datos se proporcionan en todo el espectro EM que va desde 400 – 2400nm en el caso de Sentinel-2 y de 433-2300nm para LANDSAT. Para más información: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>

Los administradores costeros necesitan datos espaciales actuales e históricos en un rango temporal frecuente y con suficiente detalle para identificar cambios. Esto se puede proporcionar a través de información satelital. Gracias a la órbita de los satélites, es posible obtener imágenes recurrentes de una zona costera, lo que facilita el seguimiento periódico de los cambios en la costa y permite identificar patrones en extensas áreas que sería difíciles de estudiar solo con datos de campo. Las imágenes satelitales abarcan una escala temporal de décadas, lo que posibilita un análisis histórico a largo plazo. Esto hace que las imágenes satelitales sean una herramienta indispensable, eficiente y rentable para ayudar en la toma de decisiones.

Cuando se utiliza la Observación de la Tierra, a menudo hay que hacer un compromiso entre el costo, la resolución espacial, la resolución temporal, la relación señal/ruido y la precisión espacial de los sensores. Por ende, los estudios requieren comprender cual de estos parámetros es el más adecuado para el tema de interés en cuestión. Puede existir una tendencia a preferir sensores con una resolución espacial más alta; sin embargo, estos pueden no ser siempre los más apropiados en estudios de comparación y su uso será a un precio mucho más alto. Se debe considerar un balance basado en los criterios requeridos para procesos específicos de toma de decisiones. Esto incluye: la precisión posicional de los datos para identificar el cambio real (las tasas de erosión a menudo se observan en metros en lugar de decenas de metros, por lo que la precisión posicional de los productos derivados debe satisfacer esta necesidad), la repetibilidad de la adquisición de las imágenes (para poner entre paréntesis los cambios reales, como marejadas ciclónicas o los efectos de la construcción de defensas marítimas) y la calidad de la reflectancia espectral (para distinguir diferentes objetos en el suelo en oposición a las diferencias en la representación de píxeles).

El proceso de seleccionar los parámetros satelitales adecuados, los métodos de procesamiento y análisis apropiados es fundamental para comprender la situación en el terreno y establecer cómo pueden afectar a los problemas de gestión. Además, los datos y productos derivados de satélites a menudo se pueden contrastar con mediciones y observaciones en tierra para validar el enfoque adoptado. Los conjuntos de datos validados son fiables y pueden reducir costes, agilizar procesos y proporcionar nuevas vías de análisis.

¿Cómo se mide el cambio costero desde el espacio?

Las áreas costeras pueden ser entornos dinámicos que están constantemente sujetos a cambios. Monitorear el cambio en la costa es vital para las comunidades que viven en estas zonas, especialmente con el aumento del nivel del mar y el aumento de la intensidad de las tormentas debido al cambio climático. Tradicionalmente, la erosión costera se medía en extensas campañas de campo. Estas pueden ser prohibitivas en costo y tiempo, y no son prácticas para estudios a escalas regionales o nacionales. Esto se puede demostrar mediante la consideración de la longitud de la costa de Gran Bretaña continental, de aproximadamente 15.400 km según The Ordnance Survey. Esto equivale a 34 imágenes individuales de satélite Sentinel-2 y representa más de 4 TB de datos que deberán procesarse y analizarse.

La erosión costera puede experimentar variaciones significativas tanto estacionales como anuales de forma natural. Por lo tanto, analizar diferentes escalas espaciales y temporales es la única manera de lograr una comprensión integral de los procesos involucrados. El realizado de evaluaciones regulares de las zonas costeras puede establecer si éstas experimentan una erosión a largo plazo o si presentan patrones más complejos de acreción y erosión estacionales. Identificar y distinguir entre cambios a corto y largo plazo permitirá obtener una visión completa y representativa de los cambios, y respaldará una asignación efectiva de recursos. Esto es especialmente relevante si la solución deseada implica construcciones de ingeniería estructural o la adquisición de terrenos para permitir una realineación gestionada basada en la naturaleza. Tomar decisiones con datos limitados conlleva el riesgo de aliasing, que ocurre cuando el análisis de cambios costeros no se realiza con la frecuencia adecuada para obtener una imagen realista de los procesos y condiciones que ocurren. Un enfoque óptimo para comprender completamente el sistema de sedimentos y dar forma a los planes operativos, es utilizar una serie temporal que muestre patrones históricos. Sin embargo, esto a menudo resulta prohibitivamente costoso mediante estudios repetidos in situ.

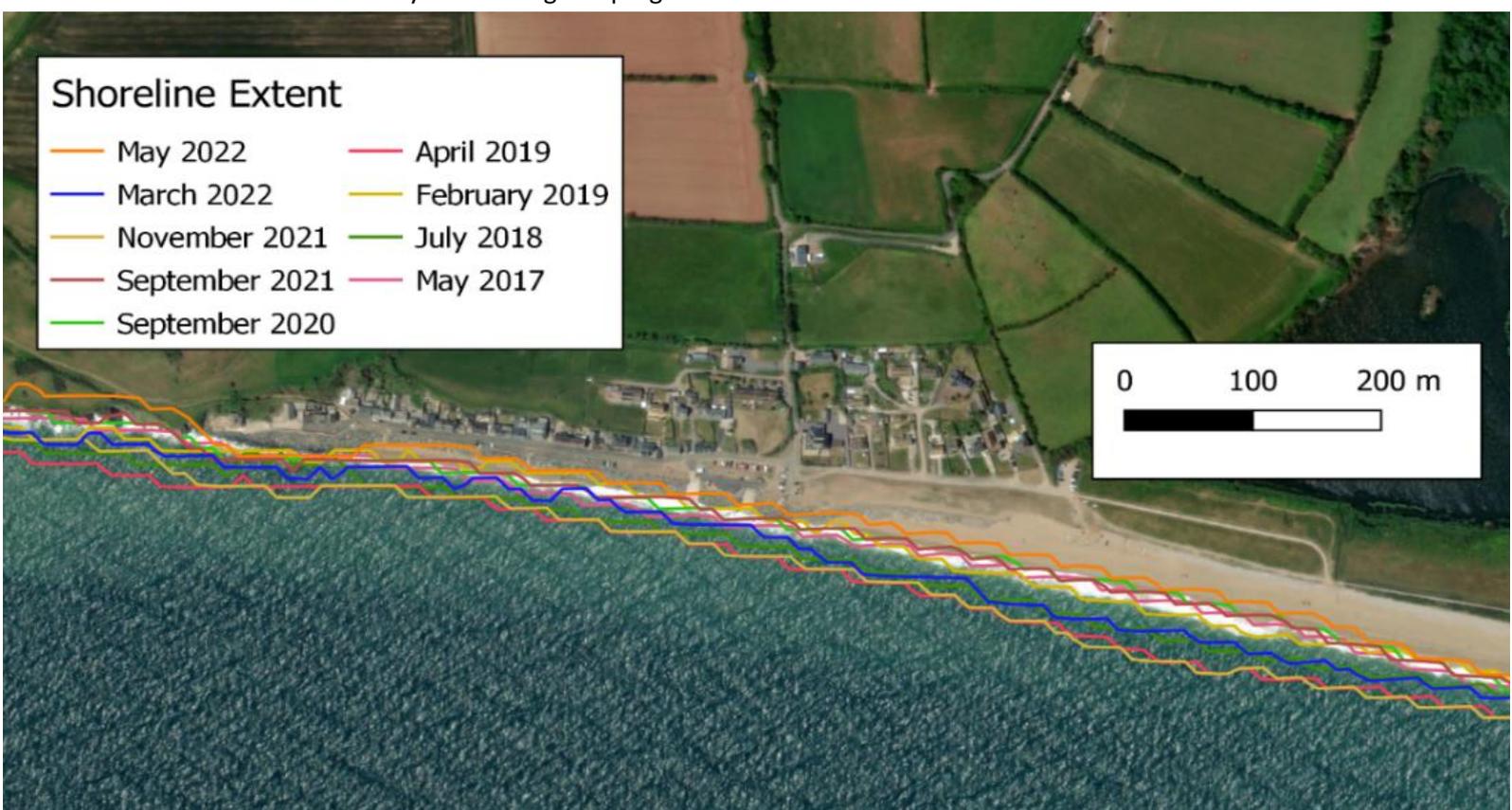
Para detectar la erosión, es necesario monitorear una variedad de procesos, como la extensión y el cambio de la línea de costa, la movilidad de los sedimentos y la batimetría. En la práctica, esto implica identificar específicamente el límite tierra-mar. La frecuencia con la que se miden estos indicadores puede ajustarse según los requisitos específicos de los usuarios finales, y el conjunto de datos proporciona información fundamental para permitir una planificación basada en evidencias que ayude a los tomadores de decisiones en la mitigación de riesgos.

PRODUCTOS DERIVADOS DE DATOS SATELITALES

Línea Instantánea (Interfaz agua-tierra)

La frontera horizontal entre tierra y mar se indica a través de la obtención de las líneas instantáneas. Éstas proporcionan una delimitación instantánea entre tierra y mar en el momento en que se capturó la imagen de satélite. La posición exacta de la línea instantánea se determina según la altura de la marea en el momento de la medición y las condiciones meteorológicas (como baja presión y fuerte oleaje), que también influyen en su ubicación. Además, la forma de la playa puede cambiar y contribuir a la posición y forma de la línea instantánea.

Para lograr una identificación precisa del límite entre la tierra y el mar, se realiza un análisis de las características espectrales a lo largo de la costa en segmentos, lo que permite derivar el límite entre las zonas húmedas (o agua) y secas (o tierra). A través de este umbral adaptado localmente, se extrae una línea instantánea más precisa teniendo en cuenta la información de los píxeles vecinos. Un proceso interno de control de calidad evalúa la línea instantánea de acuerdo con una serie de requisitos que incluyen la longitud de la línea, su rugosidad y otras características geométricas que estarían ausentes en la realidad. Esta puntuación de control de calidad proporciona confianza en los resultados. Todas las líneas instantáneas disponibles (extraídas de aquellas imágenes no impactadas por la presencia de nubes) se extraen para que se pueda realizar una evaluación anual y/o estacional. Esta evaluación puede respaldar las herramientas regulares de monitoreo, mejorar la respuesta a corto plazo a los desastres naturales y evaluar el gasto programado.



Las líneas instantáneas son un paso crucial para poder derivar líneas de costa, las cuales son un producto de gran importancia para determinar la variación del límite costero y saber si éste experimenta cambios con el tiempo. Las líneas instantáneas varían de forma natural según las condiciones de las mareas y, por lo tanto, no proporcionarán un indicador independiente para monitorear el cambio costero a lo largo del tiempo. Por lo tanto, es necesario transformarlas en datums o líneas de referencia conocidas como líneas de costa, que tiene en cuenta la pendiente de la playa y la altura del agua principalmente mediante el uso de datos auxiliares.

Línea de Costa

Una línea instantánea se convierte en línea de costa mediante un desplazamiento horizontal que tiene en cuenta la corrección de la marea, las fluctuaciones de las condiciones del oleaje y la pendiente de la playa. De esta manera, una línea de costa representa la intersección entre la tierra y el mar, donde el nivel del agua del mar corresponde a una elevación definida por encima de un punto de referencia fijo. Ejemplos de estos datos teóricos podrían ser el nivel medio de la marea o el nivel de la marea astronómica más alta o más baja, los cuales deben de establecerse de antemano para que todas las líneas de costa estén en la misma referencia.

Cambio medio anual de la línea de costa derivado de las diferencias en la extensión de la línea de costa individual.

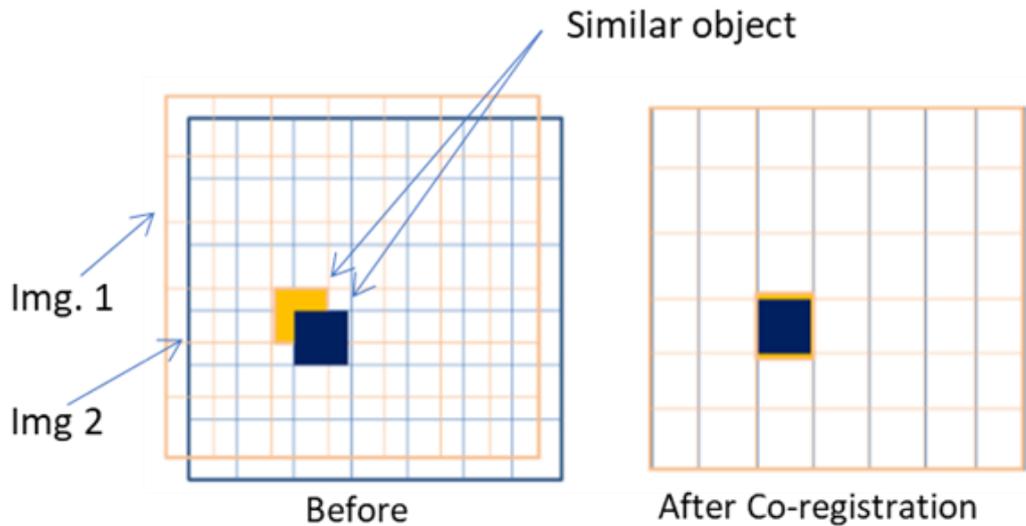


Las líneas costeras se pueden mapear durante décadas usando datos satelitales y analizarse mediante software SIG. Esto permite determinar los cambios costeros asociados con la variación estacional, las tormentas, las intervenciones humanas (como las defensas contra el mar y la construcción costera) y las tendencias a largo plazo. Mediante evaluaciones periódicas, se pueden identificar patrones complejos de acreción y erosión estacionales, a partir de los cuales se puede calcular una estimación de las tasas de cambio. Este conocimiento es fundamental para guiar una gestión costera eficaz.

Garantizar la Precisión del Producto

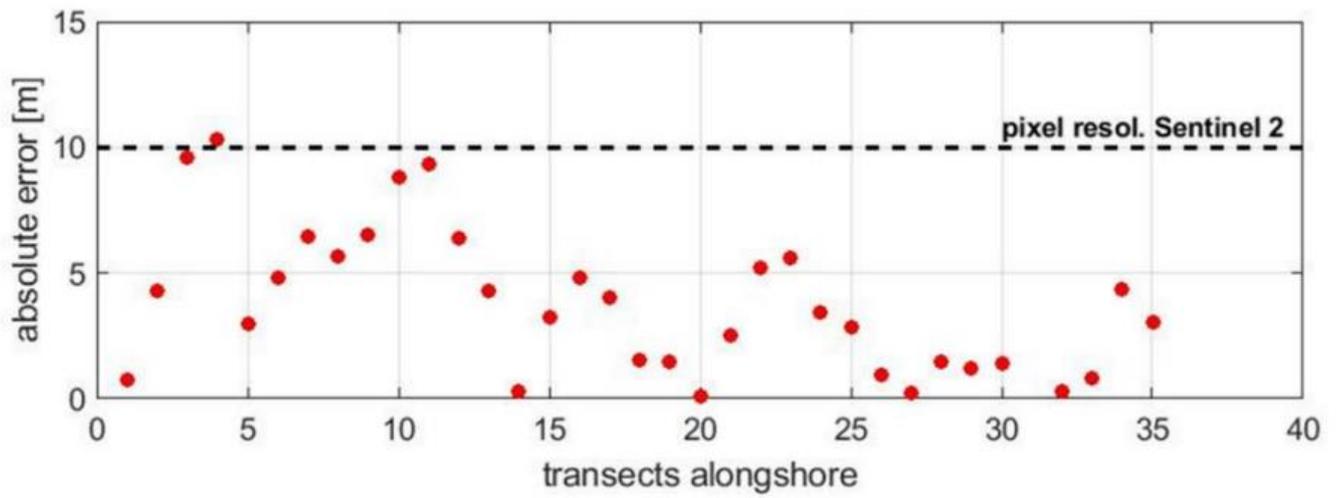
Se garantiza una alta precisión posicional de los productos mediante el co-registro conjunto de píxeles en imágenes comerciales (fotografía aérea o satelital) de mayor precisión espacial. Cuando las imágenes se toman en diferentes momentos o con diferentes sensores, pueden tener ligeras diferencias en su ubicación geográfica, orientación y resolución, lo que puede afectar la precisión espacial del producto final para la comparación y la interpretación. El co-registro es el proceso de alinear dos o más imágenes tomadas por diferentes sensores o en diferentes momentos. Esto asegura la superposición perfecta de diferentes objetos para permitir que se realice una comparación de estas imágenes.

Este es un paso importante en muchas aplicaciones de detección remota, como la detección de cambios, donde es necesario comparar imágenes de la misma ubicación tomadas en diferentes momentos. Al alinear varias imágenes a través del co-registro conjunto antes de que comience nuestra cadena de procesamiento, se garantiza que se mejore la precisión de todas las imágenes y que los datos resultantes se puedan usar para revelar cambios reales en el paisaje a lo largo del tiempo, como la erosión costera.



Validación independiente de los Productos

Durante el desarrollo de este servicio, las autoridades geológicas nacionales del Reino Unido, España, Italia, la República de Irlanda y la provincia de Quebec en Canadá, han realizado una validación de los productos resultantes. Esto ha asegurado que la calidad del producto de datos de EO sea confiable, exacta y precisa. La precisión del producto se expresa como el error cuadrático medio (RMSE) y representa una medida de la distancia desde la posición real dentro de la cual se espera que se encuentren los puntos. El análisis de precisión indicó que los valores de error absoluto medio (MAE) y RMSE estaban siempre por debajo de la resolución de píxeles de las imágenes de satélite de las que se obtuvieron los productos (las imágenes Landsat y Sentinel presentan una resolución de 30 m y 10 m, respectivamente).

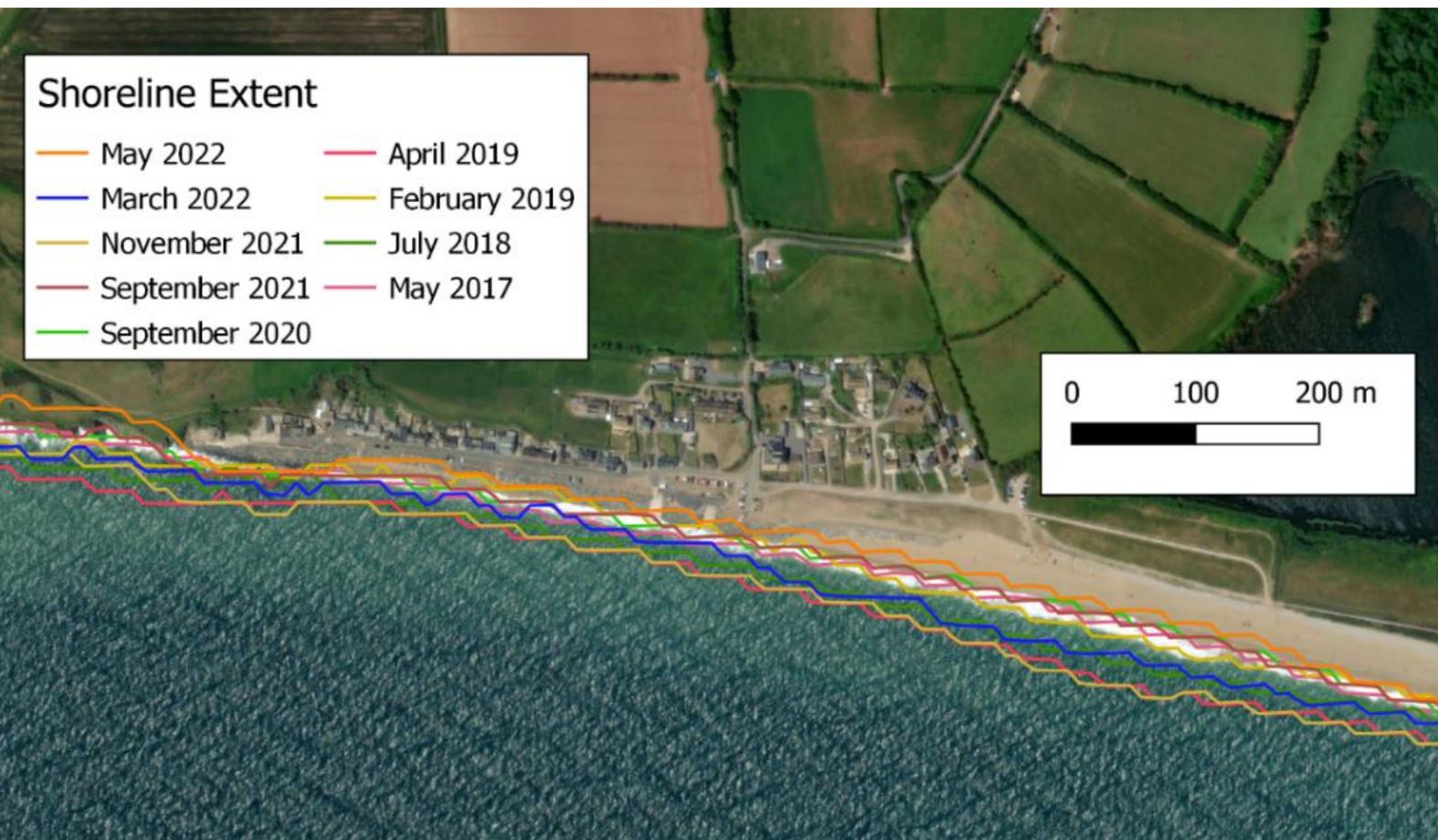


Precisión posicional de líneas instantáneas en Tordera, Barcelona.

¿Cómo se pueden utilizar los productos de Observación de la Tierra en la Gestión Integrada de Zonas Costeras?

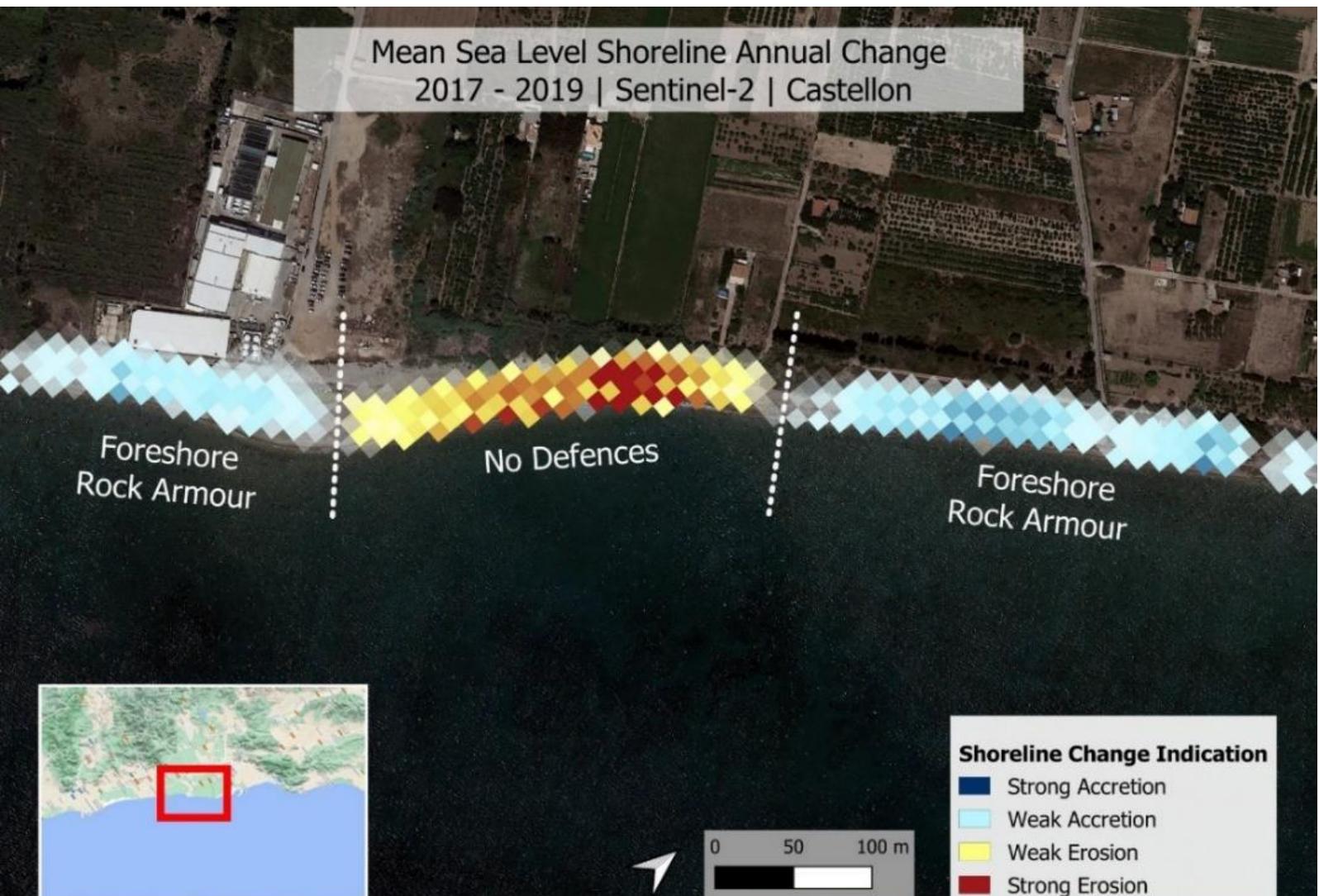
Estos productos de erosión costera ayudarán a los gestores a realizar nuevos análisis de la zona costera para mejorar las decisiones de gestión. Los productos de este servicio brindarán nuevos conocimientos y permitirán ofrecer servicios a diferentes escalas espaciales y temporales para aumentar la eficiencia de las estrategias de monitoreo.

Los datos de la costa obtenidos por satélite se pueden utilizar para monitorear los cambios a lo largo del tiempo y evaluar procesos como la erosión y la acreción. Los patrones de erosión estacional pueden compararse con los patrones a largo plazo para tomar decisiones informadas sobre la construcción de defensas y priorizar de manera eficiente las inversiones en planes de gestión a largo plazo. Esto permite una gestión inteligente de la costa y garantiza una utilización efectiva de los recursos en beneficio de la protección costera sostenible.



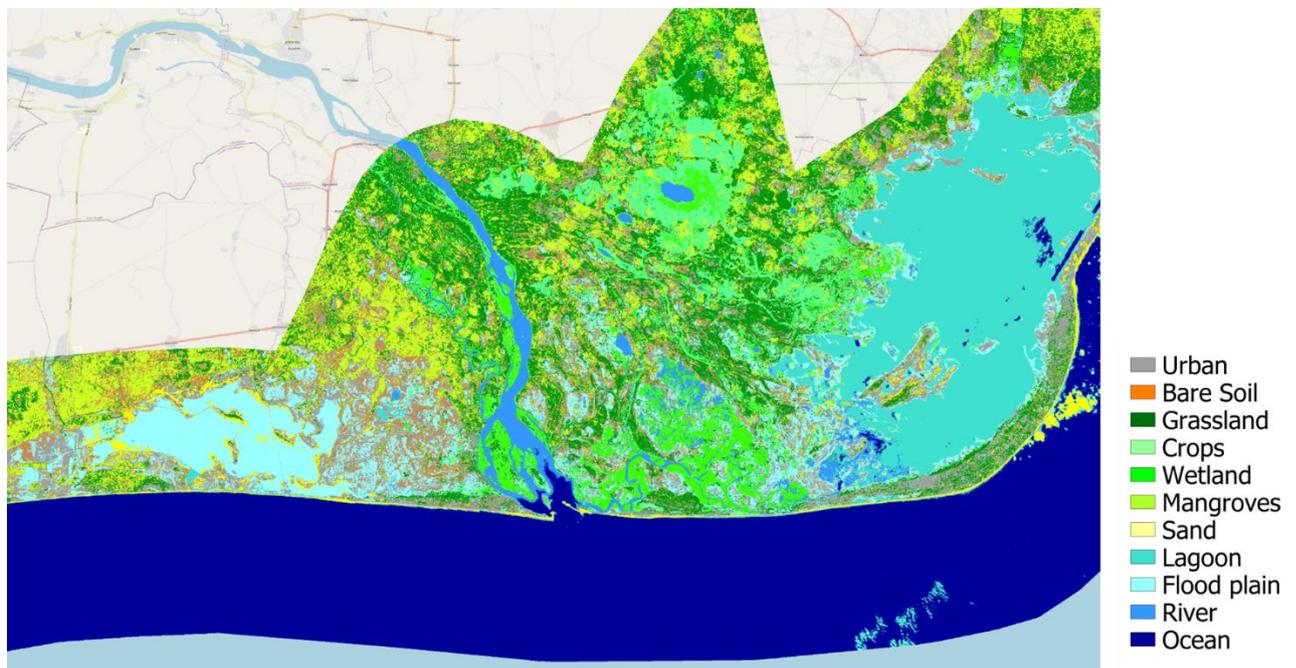
La cuantificación de los procesos durante una larga serie temporal permite identificar las características físicas del entorno costero y medir y evaluar los efectos ambientales de los Planes de Gestión de Zonas Costeras (PGZC). Los PGZC proporcionan directrices para una gestión sostenible a largo plazo, teniendo en cuenta las interacciones con otras defensas, desarrollos y procesos. Se busca evitar comprometer a las futuras generaciones con opciones de defensa costosas e inflexibles, priorizando en la medida de lo posible soluciones flexibles y rentables (Defra, 2006). Esto garantiza una gestión responsable del entorno costero y protege los intereses de las generaciones venideras. Los datos de teledetección cuantifican estos procesos interrelacionados a escala y eliminan la necesidad de realizar estudios manuales y periódicos in situ. Un ejemplo de ello es mapear patrones de transporte de sedimentos a lo largo de la costa, lo que puede informar para la toma de decisiones sobre proyectos de reposición de playas y otras medidas de control de la erosión.

Los datos satelitales se pueden utilizar para identificar y mapear diferentes ecosistemas costeros. Los cambios observados en la costa pueden indicar la ganancia o pérdida de áreas de amortiguamiento que brindan protección natural. Se puede identificar la extensión y el cambio de estos ecosistemas prioritarios, incluidos los manglares, las marismas y los arrecifes de coral. Esta información puede ayudar a los administradores costeros a compilar evaluaciones ambientales estratégicas que pueden priorizar los esfuerzos de conservación e identificar áreas que son vulnerables a la pérdida o



degradación para informar la planificación del uso de la tierra, gestionar la realineación y ofrecer soluciones basadas en la naturaleza. La identificación de áreas que requieren restauración, como humedales degradados o costas erosionadas, ayudarán a priorizar los esfuerzos de restauración en función de su impacto potencial en la reducción de la erosión.

En general, los datos satelitales pueden proporcionar información valiosa para respaldar las decisiones de gestión costera relacionadas con la erosión, lo que a su vez puede ayudar a proteger a las comunidades costeras y los ecosistemas de los impactos de la erosión y el aumento del nivel del mar.



Clasificación del ecosistema costero en la zona del estuario del Volta, Ghana

El servicio de datos de Erosión Costera desde el Espacio

El servicio de datos globales de Erosión Costera desde el Espacio ha sido desarrollado por ARGANS para entregar y simplificar la detección de cambios costeros anuales y estacionales. Estos datos monitorean el estado de las costas y pueden generarse para cubrir cualquier parte del mundo con una resolución de 10 m y una precisión espacial de 1 a 2 m a partir de 2015. Los datos históricos pueden extenderse hasta 1984 con una resolución de 30 m. A partir de 2017, las imágenes se pueden adquirir cada 5 días utilizando misiones satelitales de acceso gratuito. Esto permite un alto grado de análisis para determinar si los cambios observados representan una intervención humana, fluctuaciones estacionales naturales o son indicativos de un declive estructural a largo plazo en el pasado, presente

y futuro. Se han aplicado técnicas semiautomáticas de detección de líneas de costa para procesar rápidamente el amplio catálogo de imágenes satelitales existentes. Estos pueden integrarse rápidamente en los modelos de cambios costeros y se proporcionan en un formato que puede utilizarse en cualquier Sistema de Información Geográfica para aplicaciones de gestión específicas.

El servicio puede proporcionar información importante para determinar dónde deben enfocarse las inversiones de las autoridades y cuál es la mejor manera de enfocar las acciones correctivas en el marco de la estrategia de adaptación climática. El servicio está compuesto por los siguientes componentes:

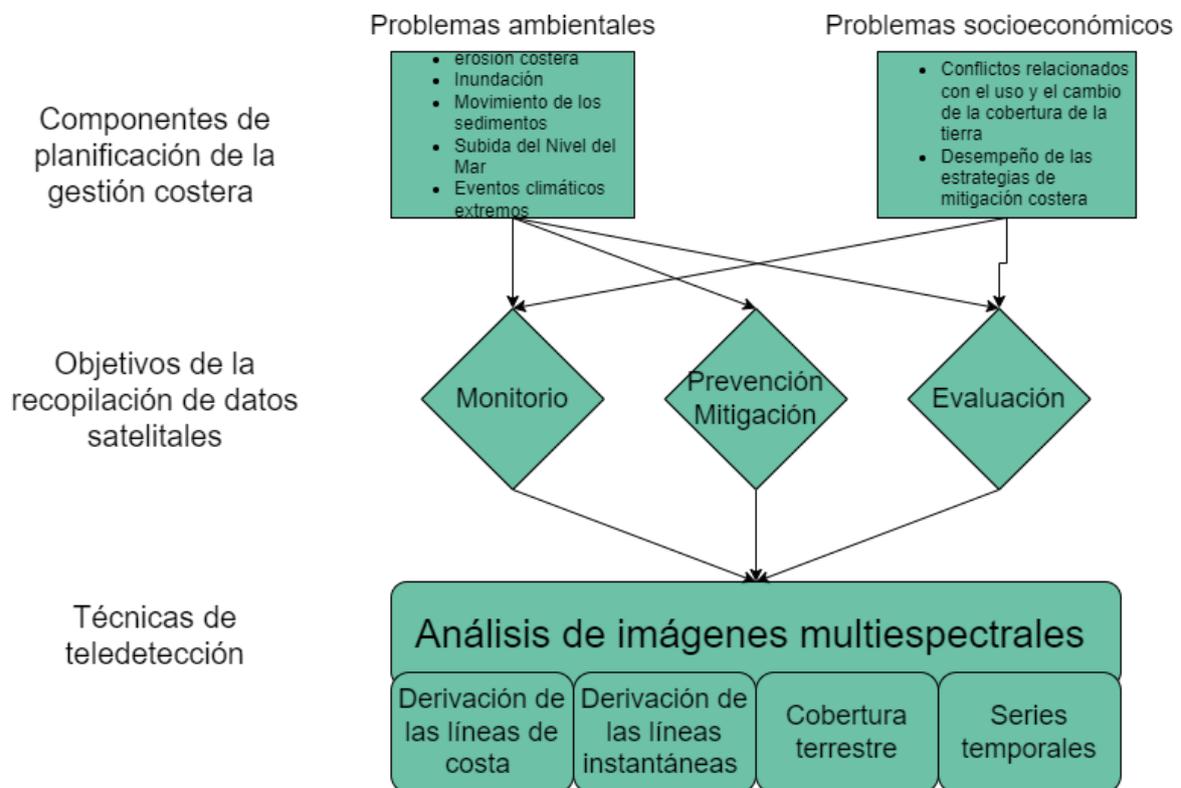
1. Acceso a datos de código abierto de Copernicus Sentinel-2 e imágenes LANDSAT proporcionadas por la Agencia Espacial Europea y el Servicio Geológico de los Estados Unidos.
2. Procesadores de EO a medida para producir una caracterización del área cercana a la costa:
 - a. Una delimitación espacialmente precisa (+/- 2 m) de la línea instantánea que incluye la puntuación del control de calidad
 - b. Una posición de línea de costa con datum de referencia derivada. Esta corrección requiere conocimientos adicionales o datos auxiliares relacionados con la pendiente de la playa y las mareas.
 - c. Clasificación de la cobertura de suelo terrestre de la zona costera para mejorar la evaluación de riesgos
3. Estos productos se derivan de conjuntos de datos de resolución de 10 m con cinco días de diferencia entre adquisiciones repetidas (dependiendo de las condiciones climáticas).
4. Las distorsiones de imagen se corrigen y la precisión espacial se mejora mediante el co-registro de imágenes
5. Estos productos derivados han sido validados por profesionales en países socios, incluido el Servicio Geológico Británico, el Instituto de Hidráulica de Cantabria (España), el Servicio Geológico de Irlanda, el Instituto Nacional Italiano de Protección e Investigación Ambiental y ARCTUS en colaboración con la Universidad de Quebec en Rimouski (Canadá).

La experiencia adquirida en el transcurso de los diversos proyectos de erosión costera realizados por ARGANS Ltd y sus socios ha cubierto más de 5000 km de costas, observadas en 21 sitios geomorfológicos diferentes para demostrar que las técnicas innovadoras desarrolladas son realmente escalables a todo el mundo. Las naciones admitidas incluyen el Reino Unido (cobertura completa de GB), Italia, España, Irlanda, la provincia de Quebec (Canadá) y Ghana.

Acceso a los datos

Los productos de erosión costera para cualquier región del mundo se pueden pedir a través del servicio de datos ARGANS. Consulte nuestro sitio web para obtener más información: <https://coastalerosion.argans.co.uk/> o contáctenos en coastalerosion@argans.co.uk.

El papel de la teledetección en la planificación de la gestión de zonas costeras



Reconocimientos:

El proyecto Erosion Costera desde el Espacio (Coastal Erosion from Space), 4000126603/19/I-LG, forma parte de Ciencia para la Sociedad del 5.º Programa Earth Observation Envelope Programme (EOEP-5) de la Agencia Espacial Europea.



Titular El consorcio desarrolló un método para optimizar el número de líneas instantáneas co-registradas listas para el cliente y líneas de costa referenciadas que cubren 25 años y que han sido validados por los principales expertos técnicos en geomorfología dentro de las cinco naciones asociadas. Se cartografiaron más de 4000 km de costa. Estos productos brindan precisión entre píxeles, utilizan un método de umbral adaptable localmente para determinar con precisión la posición del límite terrestre/mar y se pueden escalar para cubrir naciones completas en todo el mundo. De hecho, cada nación socia tiene la intención de continuar este trabajo para brindar cobertura nacional. Hemos desarrollado un mapa de clasificación de suelos que describe la franja costera, incluyendo las características costeras y sus cambios interanuales que permiten determinar el ancho de la playa. Los límites se han ampliado utilizando técnicas de batimetría derivadas de satélites basadas en una larga historia de esta tecnología para observar características de interés incluso en las aguas cargadas de sedimentos.

Este proyecto ha sido liderado por ARGANS Ltd, que formó una sociedad que consiste en un grupo de proveedores de servicios de información basados en EO de expertos en datos y observaciones de la Tierra que comprende ARGANS Ltd (Reino Unido/Francia), isardSAT (España) y adwaisEO (Luxemburgo) que entregó a una autoridad público Grupo de usuarios de representantes nacionales del Servicio Geológico Británico, los expertos del gobierno británico, IHCantabria en España en nombre del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) del gobierno español, Servicio Geológico de Irlanda, el Departamento Irlandés de Medio Ambiente, Clima y Comunicaciones y ARCTUS en representación del mundo académico canadiense y las comunidades locales de Québec. Para el CCN, se agregó al consorcio un experto nacional adicional de Italia, a saber, el Instituto Nacional Italiano de Protección e Investigación Ambiental.

