



Coastal Inundation Under Climate Change

Manual de uso

Plugin para QGIS 3.44 o posterior

Plugin creado por Daniel Ibarra Marinas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, para modelar la inundación costera bajo escenarios de subida del nivel del mar.

daniel.ibarra@uat.edu.mx

ORCID: [0000-0003-3683-4456](https://orcid.org/0000-0003-3683-4456)

[ResearchGate](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Ibarra-Marinas)

Versión 0.5.4 · septiembre de 2026



1. Qué hace el plugin

Plugin creado por Daniel Ibarra Marinas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, para modelizar la inundación costera bajo escenarios de subida del nivel del mar. Para cada escenario sube el nivel del mar sobre un modelo digital de elevaciones (MDT) y marca como inundados solo los píxeles que quedan por debajo del nuevo nivel **y** conectan con el mar a través de píxeles también por debajo. Las zonas bajas detrás de una duna, una mota o cualquier terreno más alto no se inundan: se guardan en una capa aparte como zonas bajas desconectadas.

También tiene en cuenta la incertidumbre del MDT y de la proyección del nivel del mar. En vez de una sola zona inundada da tres: una banda baja, una central y una alta. Así se ve qué zonas se inundan incluso cuando el error va en contra, y cuáles solo se inundan cuando va a favor.

Lo que no hace

Es un modelo estático de umbral con conectividad. No simula erosión ni cambios en la forma de la costa, oleaje, marea meteorológica, dinámica de mareas, drenaje, freático ni rotura de defensas. La subida del nivel del mar la metes tú: el plugin no calcula proyecciones.

2. Requisitos e instalación

- QGIS 3.44 o posterior. El plugin se declara compatible con QGIS 4, pero todavía no se ha probado ahí.
- numpy y GDAL, que vienen con QGIS.
- Se recomienda scipy. Con scipy el cálculo de conectividad es rápido; sin él, el plugin usa un método más lento en Python puro y lo avisa en el registro.

Instalación

- 1 En QGIS, abre **Complementos > Administrar e instalar complementos**.
- 2 Ve a **Instalar a partir de ZIP** y elige CoastalInundation_Under_ClimateChange_v0.5.4.zip.
- 3 Pulsa **Instalar complemento**.
- 4 Abre la **Caja de herramientas de Procesos**. La herramienta está en el grupo **Coastal Inundation Under Climate Change**.

Para actualizar, instala el zip nuevo encima del anterior. No hace falta desinstalar antes.

3. Preparar los datos

El MDT

- Tiene que ser un raster que GDAL pueda leer (por ejemplo, GeoTIFF).
- Su sistema de referencia tiene que ser proyectado y en metros (por ejemplo, UTM). No se aceptan coordenadas geográficas.
- Tiene que estar orientado al norte. No se aceptan rasters rotados.
- Las cotas del MDT, el nivel base y la subida tienen que ir referidos al mismo datum vertical. El plugin avisa si el CRS no declara datum vertical, pero no puede comprobarlo por ti.

NoData y puntos de mar

Muchos MDT costeros (por ejemplo, LiDAR de organismos nacionales) dejan el mar como NoData. El parámetro **Tratamiento del NoData** decide qué hacer con él:



- **El NoData conectado a un punto de mar es mar** (por defecto). Puedes hacer clic directamente en el mar aunque sea NoData. El agua pasa de ese NoData a los píxeles con valor por debajo del nivel. El NoData del mar no cuenta como área inundada y sigue siendo NoData en el raster de profundidad.
- **Barrera.** El NoData no deja pasar el agua. El punto de mar tiene que caer en un píxel con valor y por debajo del nivel.
- **También el NoData que toca el borde del raster es mar.** Útil cuando el mar llega al MDT por varios sitios que no conectan entre sí. Úsalo con cuidado: con LiDAR por teselas, el NoData del borde puede ser tierra fuera del vuelo, y el agua entraría por el lado de tierra.

Con la opción por defecto, los huecos de NoData tierra adentro que conectan con el NoData del mar (por ejemplo, una laguna sin retorno LiDAR) también cuentan como mar. El resto de huecos siguen frenando el agua. Si el mar llega a zonas que solo conectan a través de píxeles por encima del nivel, usa una capa de puntos y pon uno en cada zona.

Tamaño y memoria

El raster se carga entero en memoria, a unos 30 bytes por píxel. El plugin muestra la estimación en el registro y avisa por encima de 4 GB. Si se queda sin memoria, recorta el MDT a la franja costera o remuéstralo.

Valores de incertidumbre

El RMSE vertical del MDT suele venir en el informe de precisión del proveedor o de tu propia validación con puntos de control. Si el informe da también el error medio (sesgo), métele: el LiDAR bajo vegetación suele tener sesgo hacia arriba. Para la proyección puedes dar una desviación típica σ en metros o, mejor, un percentil bajo y uno alto por escenario (17/83 o 5/95), que conservan la asimetría de las proyecciones. Si no los conoces, déjalos a 0: el plugin dará solo el resultado central.

4. Parámetros

En la ventana de la herramienta las etiquetas salen en inglés y en español. La tabla usa la parte en español.

Parámetro	Qué es	Por defecto
MDT costero (CRS en metros)	El raster de elevaciones.	Obligatorio
Banda	Banda del raster con las cotas.	1
Punto de mar (clic en el mapa)	Pulsa el botón ... del campo y haz clic sobre el mar en el mapa.	Opcional
Capa de puntos de mar	Una capa de puntos con uno o más puntos de mar. Hace falta el punto, la capa o los dos.	Opcional
Tratamiento del NoData	Barrera, el NoData conectado a un punto de mar es mar, o también el NoData del borde es mar. Ver apartado 3.	NoData conectado es mar
Subidas del nivel del mar	Uno o varios valores en metros separados por ';'. Vale punto o coma decimal, por ejemplo: 0,5; 1; 2. Con percentiles, son las medianas.	1
La subida que metes es...	Relativa: el valor ya incluye el movimiento vertical del terreno. Absoluta: no lo incluye, y puedes añadir subsidencia abajo.	Relativa
Nivel base	Nivel que se suma a la subida, sobre el datum vertical del MDT. Por ejemplo, la pleamar.	0



Parámetro	Qué es	Por defecto
Raster de nivel base	Superficie opcional que sustituye al nivel base uniforme donde tiene dato, por ejemplo una superficie de pleamar en una costa larga. Se remuestrea (bilineal) a la malla del MDT.	Opcional
Subsidencia uniforme	Solo con subida absoluta. En metros, positivo es hundimiento. Se resta al MDT.	0
Raster de subsidencia	Solo con subida absoluta. Se remuestrea (bilineal) a la malla del MDT. Donde no tiene dato se usa subsidencia 0 y el registro dice en qué porcentaje del MDT.	Opcional
RMSE vertical del MDT	Error vertical del MDT, en metros.	0
Sesgo vertical del MDT	Error medio del MDT, en metros. Positivo si el MDT sale alto. No puede ser mayor que el RMSE.	0
σ de la proyección	Desviación típica de la subida, en metros. Solo con σ simétrica.	0
Incertidumbre de la proyección como	σ simétrica o Percentiles (asimétrica).	σ simétrica
Par de percentiles	17 / 83 o 5 / 95. Solo con percentiles.	17 / 83
Percentil bajo y alto por escenario	Un valor por escenario, en metros, separados por ';' y en el mismo orden que los escenarios. Solo con percentiles.	Vacío
Factor k (avanzado)	Anchura de las bandas en unidades de σ . Con Percentiles sigue mandando en las bandas (cuantiles $1 - \Phi(k)$ y $\Phi(k)$ de la suma). Con 17/83 y un k alto (1,96, por ejemplo), casi toda la banda alta sale de extrapolar más allá del P83: si subes k, usa 5/95.	1,28
Conectividad (avanzado)	4 vecinos (solo por los lados del píxel) u 8 vecinos (también por las esquinas).	4
Parámetros [pendiente]	Usos del suelo, campo de clase, barreras y pasos de agua. Se ven pero aún no se usan.	
Carpeta de salida	Dónde se guardan los resultados.	Obligatorio

La herramienta no se ejecuta si eliges subida relativa y además metes subsidencia, porque el hundimiento se contaría dos veces.

5. Cómo funciona

Inundación con conectividad

Para cada escenario, el plugin calcula el nivel como nivel base más subida. Si la subida es absoluta, antes resta la subsidencia al MDT. Después toma todos los píxeles por debajo de ese nivel y se queda solo con los grupos que tocan un punto de mar. El resto son zonas bajas desconectadas.

Con 4 vecinos el agua solo pasa por los lados de los píxeles. Con 8 vecinos también pasa por las esquinas, y eso puede dejar que el agua se cuele en diagonal a través de barreras finas como muros o dunas estrechas. Por eso 4 vecinos es la opción por defecto.

Bandas de incertidumbre

El RMSE mezcla sesgo y error aleatorio: $RMSE^2 = \text{sesgo}^2 + \sigma^2$. El plugin resta el sesgo al MDT y usa $\sigma_{MDT} = \sqrt{RMSE^2 - \text{sesgo}^2}$. El error total es $\sigma = \sqrt{\sigma_{MDT}^2 + \sigma_{proyección}^2}$, suponiendo que los dos errores son independientes. La inundación se calcula tres veces: con nivel $-k\sigma$ (banda baja), con el nivel central y con nivel $+k\sigma$ (banda alta).

Con $k = 1,28$ y errores normales sin sesgo, la probabilidad de que un píxel esté bajo el agua es:

Banda	Probabilidad de estar bajo el agua
baja (lower)	$\geq 90 \%$
central	aproximadamente del 50 % al 90 % (el valor exacto en el nivel central sale en el registro y en las estadísticas)
alta (upper, solo se inunda aquí)	del 10 % al 50 %

Percentiles en vez de σ

Las proyecciones del nivel del mar suelen tener la cola alta más larga que la baja. Una σ simétrica puede entonces infravalorar la banda alta, que es donde más importa. Con **Percentiles**, metes la mediana de cada escenario y un percentil bajo y uno alto. El plugin trata la proyección como dos medias normales unidas en la mediana, con el 50 % de la masa a cada lado y una σ por lado ajustada a tus percentiles. Así reproduce exactamente tu mediana y tus percentiles. No es la split normal clásica (normal de dos piezas), que se une en la moda y tiene densidad continua; aquí la densidad da un salto en la mediana. Después le suma numéricamente el error del MDT y saca los niveles de las bandas baja y alta de los percentiles de esa suma. Las bandas salen asimétricas.

El nivel central se queda en la **mediana de la proyección**, no en la mediana de la suma. Así el mapa central no cambia con el MDT ni con su RMSE, y se puede comparar con las tablas publicadas. A cambio, con una proyección asimétrica la probabilidad justo en el nivel central queda algo por encima del 50 %. El plugin la calcula y la escribe en el registro y en la tabla de estadísticas (prob_at_central).

Son valores por píxel. No tienen en cuenta la conectividad ni la correlación espacial del error del MDT, así que son orientativos. Un sesgo uniforme también es una simplificación: bajo vegetación el sesgo cambia con la cubierta. Gesch (2009) es una referencia para tener en cuenta la incertidumbre vertical del MDT en mapas de subida del nivel del mar.

Referencia: Gesch, D.B., 2009. Analysis of lidar elevation data for improved identification and delineation of lands vulnerable to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, SI 53, 49–58.

<https://doi.org/10.2112/SI53-006.1>

Si σ o k son 0 no hay bandas y todo lo inundado sale como central.

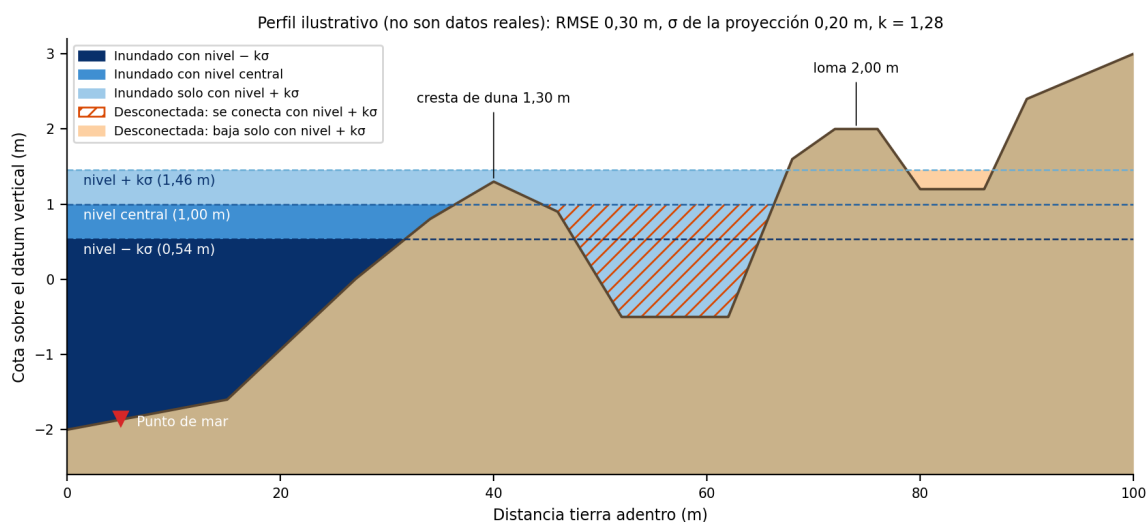


Figura 1. Perfil ilustrativo (valores inventados) con las tres bandas y los dos tipos de zonas bajas desconectadas.

En la Figura 1, la depresión detrás de la duna queda por debajo del nivel central, pero la cresta de la duna (1,30 m) frena el agua. Con nivel + $k\sigma$ (1,46 m) el agua pasa por encima, así que la depresión se clasifica como *se conecta con nivel + $k\sigma$* . La hondonada pequeña de la derecha solo



queda por debajo con nivel $+k\sigma$, y la loma de 2 m la mantiene aislada incluso entonces.

6. Resultados

Todo se guarda en la carpeta de salida. Cada escenario lleva una etiqueta con su subida: 1_00m para 1,00 m, 0_50m para 0,50 m. Si `inundation.gpkg` ya existe, se sobrescribe (el registro lo avisa). Al terminar, todas las capas se cargan en el proyecto ya con su estilo. Los nombres de archivos, capas y campos están en inglés para que el GeoPackage sea igual lo abra quien lo abra.

Archivo o capa	Contenido
depth_<etiqueta>.tif + .qml	Profundidad del agua con el nivel central (nivel menos cota), en metros. NoData = -9999. Degradado azul con transparencia, de 0 al percentil 98 de la profundidad.
inundation.gpkg > flood_<etiqueta>	Polígonos inundados. Campo band: primera banda en la que se moja el píxel. Campos value, rise_m, level_m, area_m2.
inundation.gpkg > disconnected_<etiqueta>	Zonas bajas desconectadas. Campo status.
statistics	Una fila por escenario: áreas en m ² de cada clase, flood_total_central_m2 (banda baja + central), σ , σ del MDT, k, percentiles, desplazamiento de las bandas por debajo y por encima del nivel central, y prob_at_central.
metadata	Todos los ajustes de la ejecución: MDT, CRS, datum vertical, escenarios, tipo de subida, nivel base, subsidencia, RMSE, σ , k, conectividad, autor, fecha y versión.

Clases

Capa y campo	Valor	Significado
flood > band	lower	Se inunda ya con nivel $-k\sigma$. Azul más oscuro.
flood > band	central	Se inunda con el nivel central.
flood > band	upper	Solo se inunda con nivel $+k\sigma$. Azul más claro.
disconnected > status	connects_at_upper	Por debajo del nivel central y aislada, pero con nivel $+k\sigma$ el agua llega. Son los sitios donde una duna o una mota están justo en el límite.
disconnected > status	isolated	Por debajo del nivel central y sigue aislada con nivel $+k\sigma$.
disconnected > status	low_only_at_upper	Solo queda por debajo con nivel $+k\sigma$, y aislada.

Con Percentiles, nivel $-k\sigma$ y nivel $+k\sigma$ en esta tabla y en la Figura 1 se refieren a los desplazamientos de cada banda por debajo y por encima del nivel central, que son distintos (band_lower_offset_m y band_upper_offset_m en la tabla de estadísticas).

Las áreas se calculan como número de píxeles por el área del píxel. Dentro de cada tabla las clases son exclusivas, pero las dos tablas se solapan: todo píxel connects_at_upper cuenta también en flood_upper. No sumes las áreas inundadas y las desconectadas.

Si usas un raster de nivel base, el campo level_m queda vacío, porque el nivel cambia de un píxel a otro.

7. Paso a paso

- 1 Carga el MDT en QGIS y comprueba su CRS (en metros) y su datum vertical.
- 2 Abre la herramienta desde la Caja de herramientas de Procesos.
- 3 Elige el MDT y la banda.



- 4 Marca el punto de mar en el mapa o elige una capa de puntos.
- 5 Elige el **Tratamiento del NoData**. Si tu MDT deja el mar como NoData, deja la opción por defecto (el NoData conectado a un punto de mar es mar).
- 6 Escribe los escenarios, por ejemplo 0,5; 1; 2.
- 7 Elige si la subida es relativa o absoluta, y añade subsidencia solo si es absoluta.
- 8 Pon el nivel base (o un raster de nivel base), el RMSE del MDT y el sesgo del MDT.
- 9 Da la incertidumbre de la proyección: una σ o, mejor, el percentil bajo y alto de cada escenario.
- 10 Elige la carpeta de salida y pulsa **Ejecutar**.
- 11 Lee la pestaña **Registro**: muestra el nivel de cada escenario, el área inundada y cualquier aviso.
- 12 Revisa las capas cargadas, empezando por las zonas connects_at_upper.

8. Mensajes y qué hacer

Los mensajes salen en inglés o en español según el idioma de QGIS.

Mensaje (resumido)	Qué significa y qué hacer
El CRS del MDT no está en metros	Reproyecta el MDT a un CRS proyectado en metros.
El MDT está rotado	Reproyéctalo a una malla orientada al norte.
El MDT no declara datum vertical	Solo es un aviso. Asegúrate de que el MDT, el nivel base y la subida usan el mismo datum.
Ningún punto de mar está en NoData de mar ni en un píxel con valor por debajo del nivel central	Opción de NoData por defecto. Tus puntos están en píxeles con valor por encima del nivel. Haz clic en el propio mar (NoData o píxeles de agua).
Ningún punto de mar está en un píxel con valor por debajo del nivel central (opción Barrera)	Con Barrera, los puntos en NoData no cuentan. Elige 'El NoData conectado a un punto de mar es mar' o mueve el punto a un píxel con valor por debajo del nivel.
No se inunda nada: ningún píxel con valor por debajo del nivel conecta con el mar	El punto de mar está bien, pero ningún píxel con valor por debajo del nivel toca el mar. Revisa el nivel, el datum y si los píxeles de la línea de costa tienen valor.
La banda baja ... sale vacía	Ningún píxel con valor por debajo de nivel – $\kappa\sigma$ conecta con el mar. Es normal con σ grande o costa en pendiente. Con la opción Barrera también puede ser que el punto esté demasiado alto.
... punto(s) de mar caen fuera del MDT	Esos puntos se ignoran. Revisa su posición y su CRS.
Ojo: raster muy grande	Recorta el MDT a la franja costera o remuéstralo.
Has marcado subida relativa y además metes subsidencia	Pon la subsidencia a 0 o elige Absoluta.
El sesgo no puede ser mayor que el RMSE	Revisa los dos valores en el informe de precisión.
Tiene que haber un percentil bajo y uno alto por escenario	Escribe tantos percentiles como escenarios, en el mismo orden.
Cada escenario necesita percentil bajo $\leq$ mediana $\leq$ percentil alto	Revisa el orden de los valores.
... punto(s) de mar caen en NoData, que está como barrera	Elige 'El NoData conectado a un punto de mar es mar'.
El NoData que toca el borde del raster se trata como mar	Solo es un aviso. Comprueba que ese NoData es mar.



Mensaje (resumido)	Qué significa y qué hacer
El raster de nivel base no tiene dato en ...	Ahí se usa el nivel base uniforme.
Motor de conectividad: Python puro (lento)	No está scipy. El resultado es el mismo, solo más lento.
No se ha podido abrir ... para guardarle el estilo	La capa está bien, pero saldrá sin el estilo del plugin.

9. Limitaciones

- Modelo estático: la costa no cambia y no hay erosión, transporte de sedimentos ni respuesta morfológica.
- Sin oleaje, marea meteorológica, dinámica de mareas, drenaje, freático ni rotura de defensas.
- Solo cuenta lo que está en el MDT. Muros, motas o pasos de agua más estrechos que un píxel pueden perderse o bloquear agua que en la realidad pasa.
- Las bandas suponen errores normales e independientes. Las probabilidades son orientativas.
- Con σ simétrica, la banda alta puede quedarse corta porque las proyecciones son asimétricas. Usa Percentiles cuando los tengas. Con Percentiles, las colas más allá de los valores que metes son una extrapolación de las dos medias normales; con 5/95 esa extrapolación pesa menos que con 17/83.
- El NoData del mar se identifica por su conexión con un punto de mar (o con el borde del raster). Los huecos de NoData tierra adentro conectados con él cuentan como mar; el resto frenan el agua.

10. Versión y trabajo pendiente

Este manual describe la versión 0.5.4. Previsto para próximas versiones: estadísticas por usos del suelo, barreras y pasos de agua, un raster de sesgo por cubierta del suelo, un modo de evento con oleaje y un tratamiento Monte Carlo del error del MDT con correlación espacial.

Licencia: GNU General Public License, versión 2 o posterior (GPL-2.0-or-later).

Contacto: daniel.ibarra@uat.edu.mx · ORCID: [0000-0003-3683-4456](https://orcid.org/0000-0003-3683-4456) · [ResearchGate](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Ibarra)

Código, versiones y aviso de errores: [GitHub](https://github.com).

Cómo citar: Ibarra Marinas, D. (2026). *Coastal Inundation Under Climate Change* (v0.5.4) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.22876730>. Todas las versiones: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22876729>.