

## ANEJO 06. DINÁMICA LITORAL

## ÍNDICE:

|  |           |  |           |
|--|-----------|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>1</b>  | <b>5. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL.....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2. CLIMA MARÍTIMO .....</b>   | <b>1</b>  | <b>5.1. CAPACIDAD TEÓRICA DE TRANSPORTE .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.1. RESUMEN CLIMA MARÍTIMO.....</b>  | <b>1</b>  | 5.1.1. Formulaciones empleadas .....   | 20        |
| 2.1.1. Régimen medio del oleaje .....  | 1         | 5.1.2. Resultados obtenidos .....  | 21        |
| 2.1.2. Régimen extremal.....   | 2         | <b>5.2. MODELADO NUMÉRICO DEL TRANSPORTE SEDIMENTARIO .....</b>  | <b>22</b> |
| 2.1.3. Régimen de mareas .....   | 3         | 5.2.1. Modelo numérico utilizado.....  | 22        |
| <b>2.2. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....</b>   | <b>3</b>  | 5.2.2. Resultados del modelo numérico .....  | 22        |
| 2.2.1. Introducción .....  | 3         | <b>6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y BALANCE SEDIMENTARIO .....</b>  | <b>24</b> |
| 2.2.2. Modelo Numérico de Propagación.....   | 3         | <b>6.1. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....</b>   | <b>24</b> |
| 2.2.3. Batimetría Utilizada .....  | 4         | 6.1.1. Evolución futura de la línea de costa .....   | 26        |
| 2.2.4. Parámetros de Cálculo.....  | 4         | 6.1.2. Resultados.....   | 26        |
| 2.2.5. Resultados .....  | 5         | <b>6.2. BALANCE SEDIMENTARIO.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>2.3. FLUJO MEDIO DE ENERGÍA .....</b>   | <b>7</b>  | <b>7. DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>2.4. ANÁLISIS DE HIDRODINÁMICA DE CORRIENTES DE ROTURA.....</b>                                   | <b>8</b>  | 7.1. VARIACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN .....  | 28        |
| <b>3. BATIMETRÍA, NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS Y CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA.....</b> | <b>9</b>  | 7.2. MÁXIMO RETROCESO DE LA PLAYA DEBIDO AL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR .....                                     | 28        |
| 3.1. BATIMETRÍA .....  | 9         | 7.3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN .....   | 29        |
| 3.2. NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS .....  | 9         | <b>8. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS .....</b>             | <b>29</b> |
| 3.2.1. Marco geológico regional .....  | 9         | 8.1. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS .....   | 29        |
| 3.3. CONDICIONES DE LA BIOSFERA MARINA .....   | 10        | 8.2. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASE DE ARENAS .....  | 29        |
| <b>4. FORMAS DE EQUILIBRIO EN PLANTA Y PERFIL.....</b>   | <b>15</b> | <b>9. PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS.....</b> | <b>30</b> |
| <b>4.1. FORMAS DE EQUILIBRIO DE UNA PLAYA EN PLANTA .....</b>  | <b>15</b> | <b>10. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS .....</b>  | <b>30</b> |
| 4.1.1. Introducción .....  | 15        | <b>APÉNDICE I: RESULTADOS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....</b>  | <b>31</b> |
| 4.1.2. Forma de equilibrio de la playa de La Antilla – Islantilla .....                              | 16        |  |           |
| <b>4.2. ANÁLISIS DEL PERFIL TRANSVERSAL.....</b>   | <b>16</b> |  |           |
| 4.2.1. Introducción .....  | 16        |  |           |
| 4.2.2. Perfil de equilibrio .....  | 16        |  |           |
| 4.2.3. Cálculo de la profundidad activa y de cierre .....  | 17        |  |           |
| 4.2.4. Granulometría .....   | 18        |  |           |
| 4.2.5. Resultados .....  | 18        |  |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Frecuencia de presentación direcciones del oleaje en el punto SIMAR 1051048 .....             | 1  |
| Tabla 2. Características del oleaje morfológico.....   | 2  |
| Tabla 3. Características del oleaje asociado a una probabilidad de excedencia de 12h/año.....          | 2  |
| Tabla 4. Alturas de ola potenciales de diseño asociadas al régimen extremal direccional .....          | 2  |
| Tabla 5. Datos de entrada propagación oleajes morfológicos.....  | 5  |
| Tabla 6. Datos de entrada propagación oleaje H <sub>s12</sub> .....                                    | 5  |
| Tabla 7. Características Mallas .....  | 5  |
| Tabla 8. Resultados de las granulometrías (D <sub>50</sub> ) realizadas en los puntos de muestreo..... | 18 |
| Tabla 9. Resultados transporte de sedimentos para las formulaciones utilizadas.....                    | 21 |
| Tabla 10. Resultados del transporte de sedimentos obtenido con el programa EROS .....                  | 23 |
| Tabla 11. Superficie de playa 2005 - 2013.....   | 26 |
| Tabla 12. Relación de canteras próximas al área de estudio .....                                       | 29 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Rosa de oleaje en el punto SIMAR 1051048.....   | 2  |
| Figura 2. Niveles de referencia altimétrica en Huelva (cotas en metros) .....                           | 3  |
| Figura 3. Topobatimetría cargada en SMC.....  | 4  |
| Figura 4. Propagación oleaje procedente sector WSW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                  | 6  |
| Figura 5. Propagación oleaje procedente sector SW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha).....                    | 6  |
| Figura 6. Propagación oleaje procedente sector SSW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                  | 6  |
| Figura 7. Propagación oleaje procedente sector S, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                    | 6  |
| Figura 8. Propagación oleaje procedente sector SSE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                  | 6  |
| Figura 9. Propagación oleaje procedente sector SE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                   | 6  |
| Figura 10. Propagación oleaje procedente sector ESE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha) .....                 | 7  |
| Figura 11. Régimen Medio Anual .....  | 8  |
| Figura 12. Ejemplos de resultados de hidrodinámica de la playa para diferentes oleajes morfológicos.... | 8  |
| Figura 13. Carta Náutica 441 .....  | 9  |
| Figura 14. Modelo Digital del Terreno a partir del levantamiento topo-batimétrico.....                  | 9  |
| Figura 15. Esquema regional .....   | 10 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 16. Definición esquemática de la planta de una bahía en equilibrio (Fuente: Hsu Evans) .....       | 16 |
| Figura 17. Posición de los perfiles de muestra .....  | 18 |
| Figura 18. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P3.....               | 19 |
| Figura 19. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P13.....              | 19 |
| Figura 20. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P23.....              | 19 |
| Figura 21. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P33.....              | 19 |
| Figura 22. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P43.....              | 20 |
| Figura 23. Vectores transporte de sedimentos correspondiente al oleaje morfológico .....                  | 23 |
| Figura 24. Vectores transporte de sedimentos correspondiente al oleaje H <sub>s12</sub> .....             | 23 |
| Figura 25. Playa de La Antilla-Islantilla entre los años 1973 y 1986.....                                 | 24 |
| Figura 26. Playa de La Antilla-Islantilla. Vuelo fotogramétrico realizados entre los años 1980 y 1986.... | 24 |
| Figura 27. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2005 .....   | 25 |
| Figura 28. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2009 .....   | 25 |
| Figura 29. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2016.....  | 25 |
| Figura 30. Línea de pleamar viva en los últimos años .....  | 25 |
| Figura 31. Esquema geométrico de la evolución de la línea de costa.....                                   | 26 |
| Figura 32. Evolución de la línea de costa. Oleaje incidente -3º.....                                      | 27 |
| Figura 33. Evolución de la línea de costa .....   | 27 |

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el artículo 91 del Reglamento General de Costas, aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, cuando un proyecto contenga la previsión de actuaciones en el mar o en la zona marítimo-terrestre, deberá comprender un Estudio Básico de Dinámica Litoral referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, que se acompañará como anejo a la Memoria del Proyecto, y tendrá los siguientes apartados:

- Clima marítimo.
- Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.
- Naturaleza geológica de los fondos.
- Condiciones de la biosfera submarina.
- Estudio de la capacidad de transporte litoral.
- Balance sedimentario y evolución de la línea de costa.
- Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.
- Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.
- Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.
- Propuesta para la minimización, en su caso, de la incidencia de las obras y posibles medidas correctoras y compensatorias.

En el presente anejo se analiza la dinámica litoral existente en la playa de La Antilla-Islantilla en cumplimiento al artículo mencionado.

## 2. CLIMA MARÍTIMO

Dentro de este apartado de clima marítimo se incluye la propagación del oleaje hasta la playa, el cálculo del flujo medio de energía y el análisis de la hidrodinámica de corrientes originadas por la rotura del oleaje.

### 2.1. RESUMEN CLIMA MARÍTIMO

En el estudio del Clima Marítimo se han determinado los siguientes aspectos en la zona de estudio:

- Régimen medio del oleaje en la zona
- Régimen extrema! del oleaje.
- Régimen de mareas correspondiente.

#### 2.1.1. Régimen medio del oleaje

Para el presente estudio se ha utilizado la información del punto SIMAR 1051048 de Puertos del Estado, ubicado en las coordenadas 37.00 ° N y 7.25 ° W.

En cuanto a la dirección del oleaje, hay que tener en cuenta que no todas las direcciones de la rosa pueden incidir sobre nuestra zona de estudio. El abanico de direcciones viene limitado por la configuración geométrica de la costa. En este caso, los alejes que pueden alcanzar directamente la zona de estudio son: WSW, SW, SSW, S, SSE, SE y ESE.

La tabla a continuación muestra la frecuencia de cada sector direccional del oleaje. Puede apreciarse que hay un claro predominio de los sectores procedentes de poniente.

| Dirección | Frecuencia |
|-----------|------------|
| WSW       | 30.29 %    |
| SW        | 12.94 %    |
| SSW       | 5.26 %     |
| S         | 3.04 %     |
| SSE       | 4.05 %     |
| SE        | 13.84 %    |
| ESE       | 5.76 %     |

Tabla 1. Frecuencia de presentación direcciones del oleaje en el punto SIMAR 1051048

A continuación, se muestra la rosa de oleaje obtenida en el punto

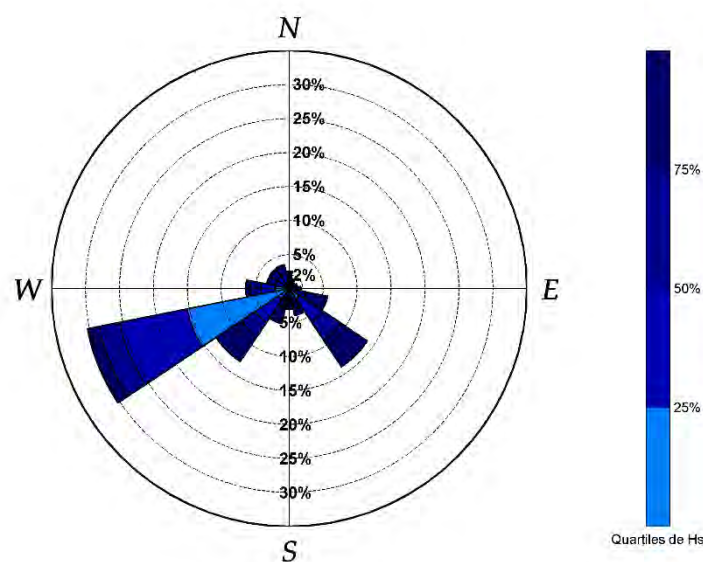


Figura 1. Rosa de oleaje en el punto SIMAR 1051048

Para el desarrollo de la caracterización del oleaje en la zona de estudio, se ha utilizado como referencia la altura de ola morfológica, es decir, aquella que concentra el total de la energía del oleaje. Su cálculo pasa por realizar una discretización del dominio de influencia del oleaje sobre la zona de estudio, tanto en dirección como en magnitud, en función de las probabilidades de ocurrencia de cada oleaje. De este modo se obtiene una determinada altura de ola característica para cada dirección de incidencia.

A partir de la correlación obtenida  $H_s - T_p$  se ha obtenido el periodo de pico asociado a cada altura de ola morfológica calculada. Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

|                  | DIRECCIÓN |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|
|                  | WSW       | SW   | SSW  | S    | SSE  | SE   | ESE  |
| $H_{s,morf}$ (m) | 0.58      | 1.23 | 1.50 | 1.16 | 1.01 | 1.07 | 1.32 |
| $T_p$ (s)        | 5.50      | 6.10 | 6.40 | 6.00 | 5.90 | 6.00 | 6.20 |

Tabla 2. Características del oleaje morfológico

Otro parámetro que también se suele emplear para la caracterización del oleaje en régimen medio es la altura de ola asociada a una probabilidad media de excedencia de 12 h/año, ya que es representativa del

oleaje correspondiente a un temporal de carácter anual y además es empleada en el cálculo de la profundidad activa.

A partir de las funciones de distribución de cada dirección se han calculado los valores de  $H_{s12}$  en los sectores direccionales de interés (WSW a ESE), que se muestran en tabla a continuación. Asimismo, se incluye el período pico asociado a  $H_{s12}$  obtenido a partir de las correlaciones  $H_s - T_p$  obtenidas en el Anejo 5 Clima Marítimo.

|               | DIRECCIÓN |      |       |       |      |      |      |
|---------------|-----------|------|-------|-------|------|------|------|
|               | WSW       | SW   | SSW   | S     | SSE  | SE   | ESE  |
| $H_{s12}$ (m) | 2.50      | 4.00 | 6.28  | 4.50  | 3.80 | 3.76 | 3.86 |
| $T_{p12}$ (s) | 7.50      | 9.50 | 13.70 | 10.30 | 9.20 | 9.10 | 9.30 |

Tabla 3. Características del oleaje asociado a una probabilidad de excedencia de 12h/año

### 2.1.2. Régimen extremal

Para determinar el régimen extremal del oleaje se ha considerado un periodo de retorno de 36.1 años obtenido de acuerdo con las recomendaciones de la ROM 0.0, para una vida útil de 25 años y una probabilidad de fallo de 0,5, teniendo en cuenta las potenciales características que tendrán las actuaciones derivadas de este proyecto.

En la tabla a continuación se muestran los valores potenciales de altura de ola de diseño obtenidos para el periodo de retorno de 36.1 años.

|             | DIRECCIÓN |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | WSW       | SW    | SSW   | S     | SSE   | SE    | ESE   |
| $H_{s0}$    | 6,81      | 6,81  | 6,81  | 6,81  | 6,81  | 6,81  | 6,81  |
| $K_p$       | 0.505     | 0.761 | 1.000 | 0.717 | 0.642 | 0.710 | 0.678 |
| $H_{s,dir}$ | 3.44      | 5.18  | 6.81  | 4.88  | 4.38  | 4.83  | 4.62  |
| $T_p$       | 7.77      | 9.87  | 11.56 | 9.53  | 8.94  | 9.47  | 9.23  |

Tabla 4. Alturas de ola potenciales de diseño asociadas al régimen extremal direccional



### 2.1.3. Régimen de mareas

La información procede del mareógrafo de Huelva de la red REDMAR. A continuación, se presenta la posición relativa de las distintas referencias del sistema de coordenadas altimétricas para el caso del mareógrafo de Huelva:

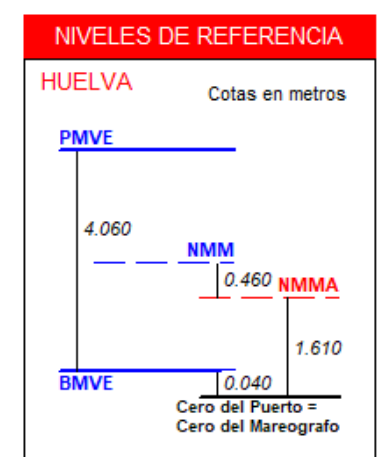


Figura 2. Niveles de referencia altimétrica en Huelva (cotas en metros)

La figura anterior muestra valores representativos de las medias de pleamares y bajamares vivas equinocciales (marea astronómica) en la zona correspondiente al Área IVa. Analizando la figura anterior se tiene que el nivel de pleamar se encuentra a la cota +2,492 m y el de bajamar a la -1,568 m respecto el NMMA, siendo, por tanto, la carrera de marea astronómica de 4,06 m.

## 2.2. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

### 2.2.1. Introducción

El oleaje que se propaga por zonas costeras de poca profundidad es modificado de forma importante por la batimetría de fondo (refracción, asomeramiento, disipación de energía y difracción como procesos físicos principales). El conocimiento sobre estos procesos físicos alcanzado en los últimos años ha permitido simular dichos procesos en los modelos numéricos de propagación de oleaje.

Con los datos descritos en las secciones anteriores se tiene caracterizado el oleaje en profundidades indefinidas, pero para el estudio de los procesos litorales en la zona de estudio es necesario estimar los

parámetros del oleaje en profundidades reducidas. Así pues, a través de las figuras de propagación, se pretende obtener una imagen cualitativa y cuantitativa del proceso de propagación desde profundidades indefinidas hasta el tramo de costa en estudio, permitiendo así detectar zonas de concentración o divergencia del flujo de energía del oleaje y por lo tanto ayuda en la comprensión de los fenómenos responsables de los procesos litorales en la zona.

### 2.2.2. Modelo Numérico de Propagación

Al propagarse el oleaje hacia la costa, se producen fenómenos que modifican sus propiedades y que afectan a la distribución espacial de la energía (refracción, reflexión, asomeramiento, rotura, fricción con el fondo, etc.). Desde un punto de vista práctico, se puede hablar de dos tipos de modelos:

- Aquellos que propagan oleaje monocromático (propagación de un tren de ondas de una única frecuencia y amplitud).
- Los que propagan un espectro de energía asociado a un oleaje irregular aleatorio.

El primer tipo de modelos generalmente se utiliza para caracterizar el patrón de oleaje en una zona de estudio, su bajo costo computacional permite propagar un alto número de trenes de ondas monocromáticos, los cuales se obtienen a partir de los regímenes medios direccionales en el área, que han sido anteriormente obtenidos en este informe. Estos modelos representan bastante bien el patrón de oleaje, no obstante, tienden a sobreestimar las alturas de ola en profundidades reducidas. Pero si el objetivo es identificar los patrones de comportamiento del oleaje, estos modelos funcionan de manera satisfactoria.

El segundo tipo de modelos permite conocer en una zona de estudio la altura de ola estadísticamente representativa de un estado de mar (oleaje irregular aleatorio). Este tipo de modelos son bastante precisos en el cálculo de las alturas de ola, requiriendo un alto coste computacional, razones por las cuales generalmente se aplican en la propagación de casos extraordinarios o en aquellos casos en los cuales se requiere obtener con una gran precisión los regímenes de oleaje en una zona de la costa, como el caso de diseño de estructuras marinas.

El modelo numérico utilizado en este caso se denomina Sistema de Modelado Costero (SMC) y ha sido elaborado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, para la

Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente. Este modelo tiene en cuenta la difracción, refracción, asomeramiento y la disipación de energía debido a la fricción con el fondo y a la rotura del oleaje. Se ha empleado el modelo integral de “MORfodinámica de PLAyas” (Mopla), el cual es un programa que permite simular en una zona litoral, la propagación del oleaje desde profundidades indefinidas hasta la línea de costa. A partir de este oleaje, lleva a cabo el cálculo de corrientes inducidas en la zona de rompientes, y finalmente, simula la evolución morfodinámica de una playa.

Para poder emplearlo se han tenido en cuenta las limitaciones que el modelo presenta para la propagación del oleaje. Dichas limitaciones son:

- Las pendientes del fondo deben ser menores que 1V:3H (18º), para garantizar la condición de pendiente suave.
- El ángulo de propagación en la primera fila ( $x=0$ ) de la malla, debe estar dentro del rango  $\pm 55^\circ$ , con respecto al eje de propagación principal, eje x.
- Se debe tener especial cuidado para que la zona de estudio no se encuentre dentro de ángulos de propagación mayores a  $\pm 55^\circ$  con respecto al eje x, dado que los errores comienzan a ser importantes para estos ángulos. Orientar en lo posible, el eje x de la malla en la dirección principal de propagación del oleaje.
- El modelo ha sido diseñado principalmente para ser aplicado en zonas costeras y playas, donde los fenómenos de propagación dominantes son la refracción, asomeramiento, difracción y rotura en playas. No es aplicable en casos donde la reflexión es un fenómeno importante, como es el caso de resonancia y agitación en puertos.

### 2.2.3. Batimetría Utilizada

Se cargó en el programa los datos del relevamiento topo-batimétrico realizado en la zona de estudio. Dichos datos, fueron completados con la información contenida en las cartas náuticas de la base de datos del programa BACO implementado en el SMC desarrollado por la Universidad de Cantabria.

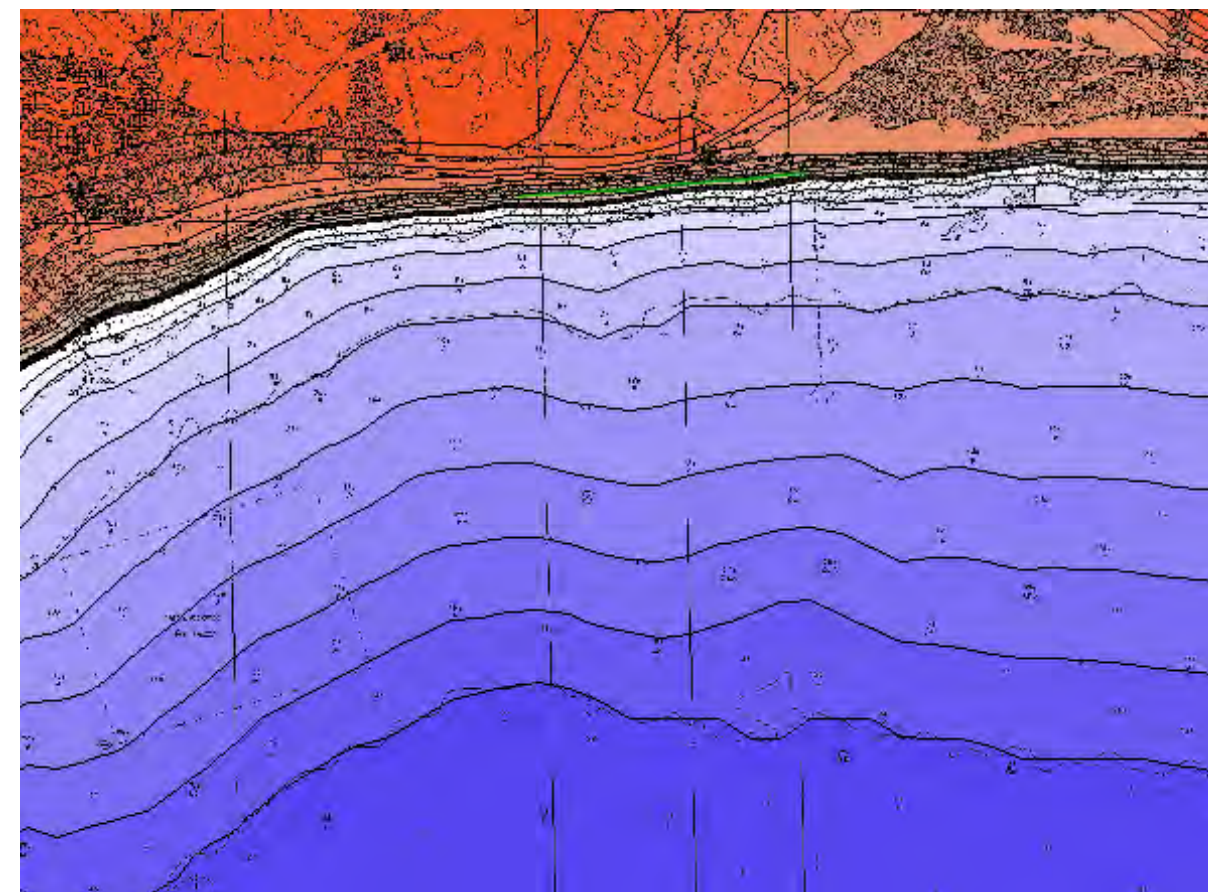


Figura 3. Topobatimetría cargada en SMC

### 2.2.4. Parámetros de Cálculo

#### 2.2.4.1. Escenarios de oleaje a estudiar

Las direcciones seleccionadas para el estudio de propagación son WSW, SW, SSW, S, SSE, SE y ESE. Como se vio anteriormente estas direcciones son las direcciones susceptibles de incidir en la zona de estudio, si bien la primera y la última dada su elevada oblicuidad sufrirán una gran pérdida de energía (que se traducirá en una importante reducción de la altura de ola).

Para estas siete direcciones se han propagado tres tipos de oleaje:

- Oleaje morfológico (aquel que concentra la energía del conjunto de oleajes de un determinado sector direccional).
- Oleaje asociado a la  $H_{s12}$  (representa aproximadamente el comportamiento en la zona de rompientes de un temporal con una presentación de tipo anual).
- Oleaje de diseño que permita realizar el dimensionamiento de las obras.

Los datos de entrada de las propagaciones de los distintos escenarios simulados se muestran a continuación:

| Caso | Dirección | Hs(m) | Tp (m) | Frec. (Hz) |
|------|-----------|-------|--------|------------|
| 01   | WSW       | 0.58  | 5.45   | 0.1834     |
| 02   | SW        | 1.23  | 6.05   | 0.1652     |
| 03   | SSW       | 1.50  | 6.32   | 0.1582     |
| 04   | S         | 1.16  | 5.98   | 0.1671     |
| 05   | SSE       | 1.01  | 5.84   | 0.1712     |
| 06   | SE        | 1.07  | 5.90   | 0.1695     |
| 07   | ESE       | 1.32  | 6.14   | 0.1628     |

Tabla 5. Datos de entrada propagación oleajes morfológicos

| Caso | Dirección | Hs(m) | Tp (m) | Frec. (Hz) |
|------|-----------|-------|--------|------------|
| 11   | WSW       | 2.50  | 7.42   | 0.1347     |
| 12   | SW        | 4.00  | 9.45   | 0.1058     |
| 13   | SSW       | 6.28  | 13.63  | 0.0733     |
| 14   | S         | 4.50  | 10.24  | 0.0977     |
| 15   | SSE       | 3.80  | 9.15   | 0.1093     |
| 16   | SE        | 3.76  | 9.09   | 0.1100     |
| 17   | ESE       | 3.86  | 9.24   | 0.1082     |

Tabla 6. Datos de entrada propagación oleaje H<sub>s12</sub>

#### 2.2.4.2. Mallas de cálculo

Dadas las características de la zona de estudio y del clima marítimo, que incluye oleajes procedentes tanto de levante como de poniente, ha sido necesario definir dos juegos de mallas diferentes para poder propagar los diferentes casos seleccionados. Tanto para oleaje de poniente como de levante es necesario recurrir a una técnica de mallas anidadas, en la cual se comienza con una malla general ( $\Delta x = \Delta y = 150$  m) que se enlaza con una malla de detalle de dimensiones reducidas y gran resolución espacial ( $\Delta x = \Delta y = 20$  m).

*Profundidad de inicio de las mallas:*

Para definir la profundidad límite de aguas profundas se ha empleado la siguiente expresión:

$$d = 0,78 T^2$$

*Angulo de orientación de las mallas:*

| MALLA    |         | RUMBO | ORIGEN (X) | ORIGEN (Y) | NODOS EJE X | NODOS EJE Y |
|----------|---------|-------|------------|------------|-------------|-------------|
| PONIENTE | General | 70º   | 657534.15  | 4099823.47 | 60          | 60          |
|          | Detalle |       |            |            | 177         | 177         |
| LEVANTE  | General | 110º  | 667881.49  | 4101685.99 | 60          | 60          |
|          | Detalle |       |            |            | 179         | 179         |

Tabla 7. Características Mallas

#### 2.2.5. Resultados

Los resultados de las propagaciones se muestran en su totalidad en el Apéndice I de este anejo.

##### 2.2.5.1. Análisis de resultados

Tal y como se muestra en las figuras a continuación los oleajes tienden a incidir perpendiculares a la línea de costa.

A continuación, se muestra un gráfico con los vectores de la altura de ola significativa para los oleajes morfológicos y correspondientes a un temporal asociado a H<sub>s12</sub>.



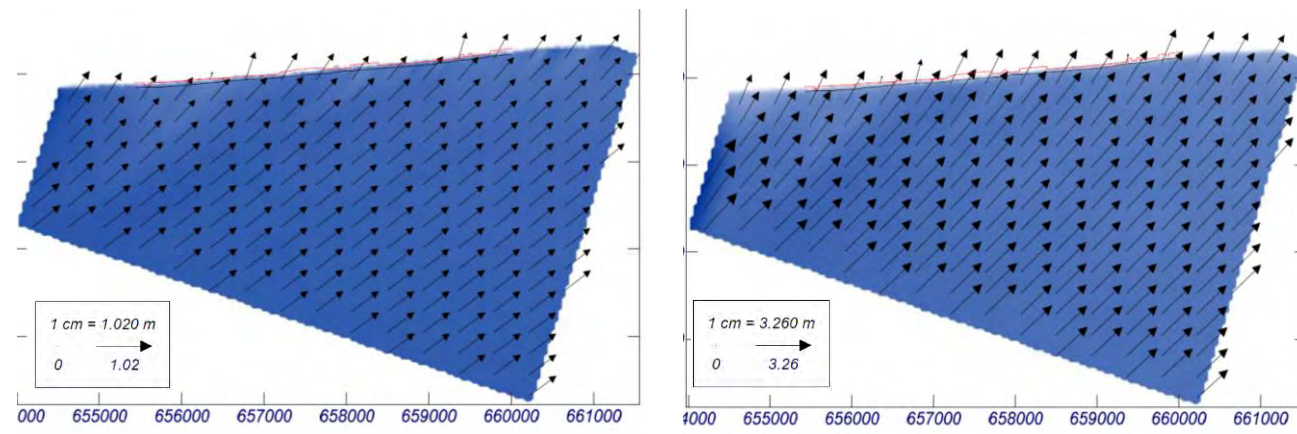


Figura 4. Propagación oleaje procedente sector WSW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

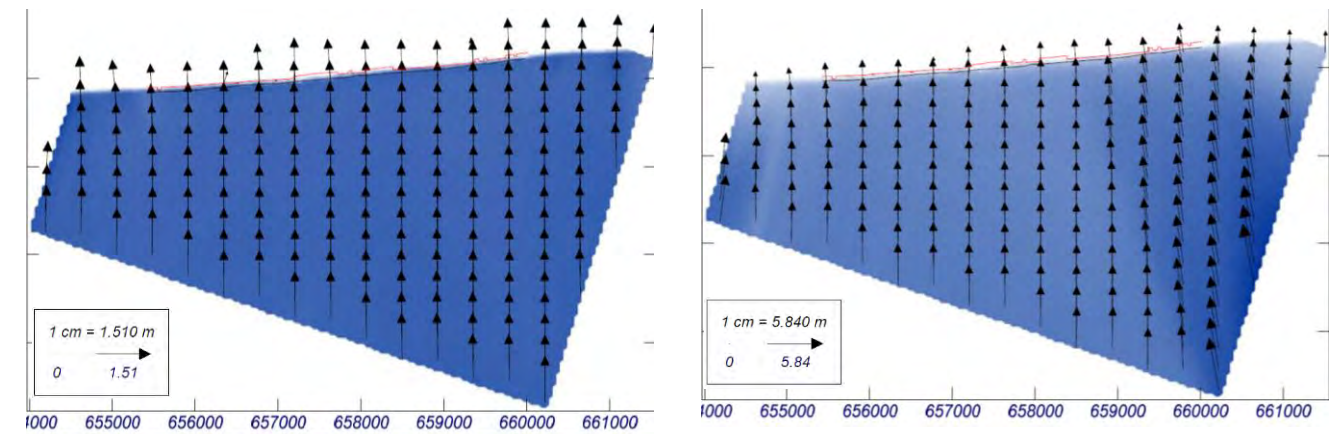


Figura 7. Propagación oleaje procedente sector S, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

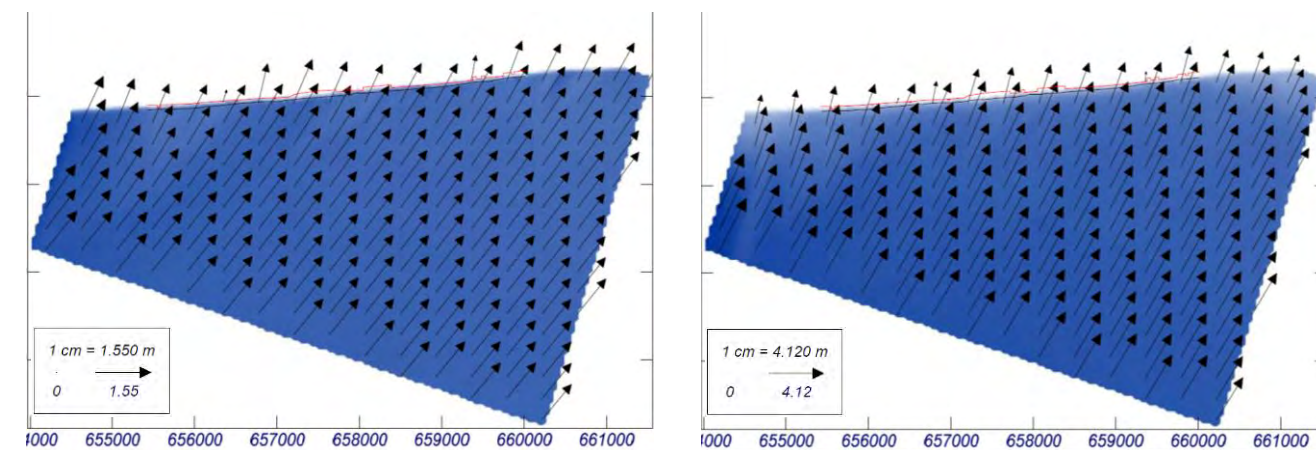


Figura 5. Propagación oleaje procedente sector SW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

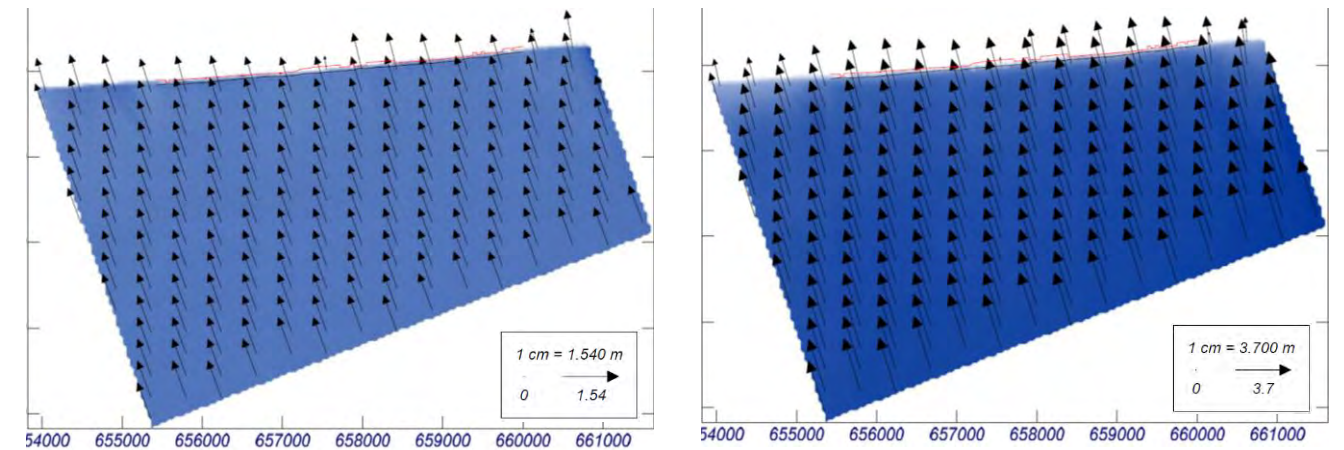


Figura 8. Propagación oleaje procedente sector SSE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

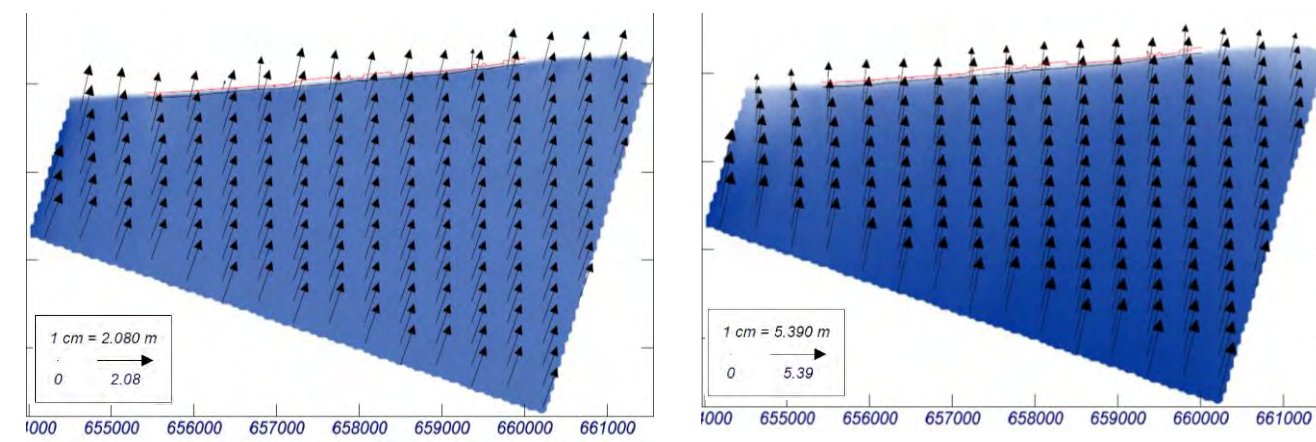


Figura 6. Propagación oleaje procedente sector SSW, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

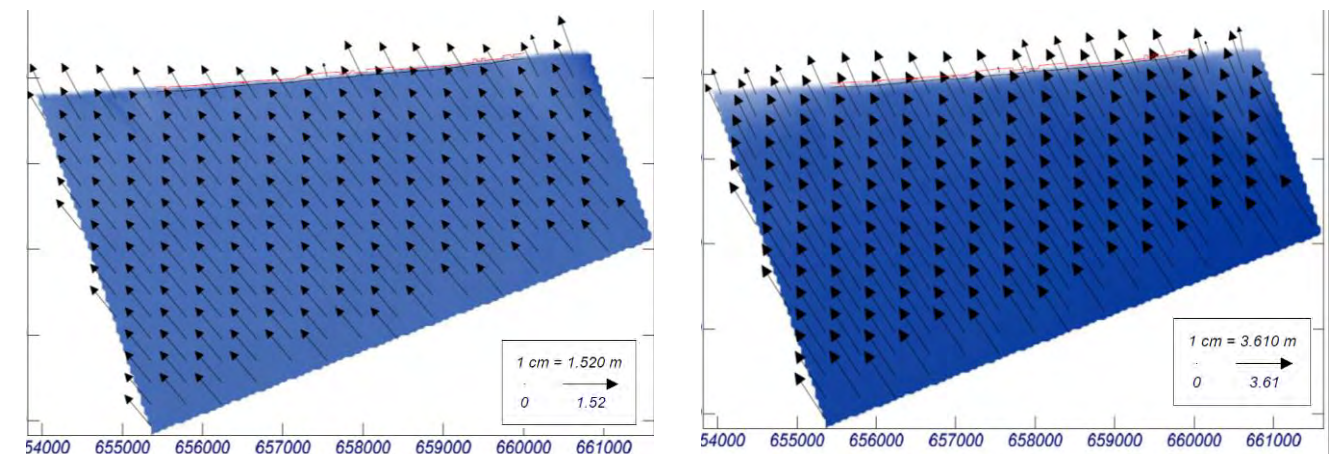


Figura 9. Propagación oleaje procedente sector SE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)



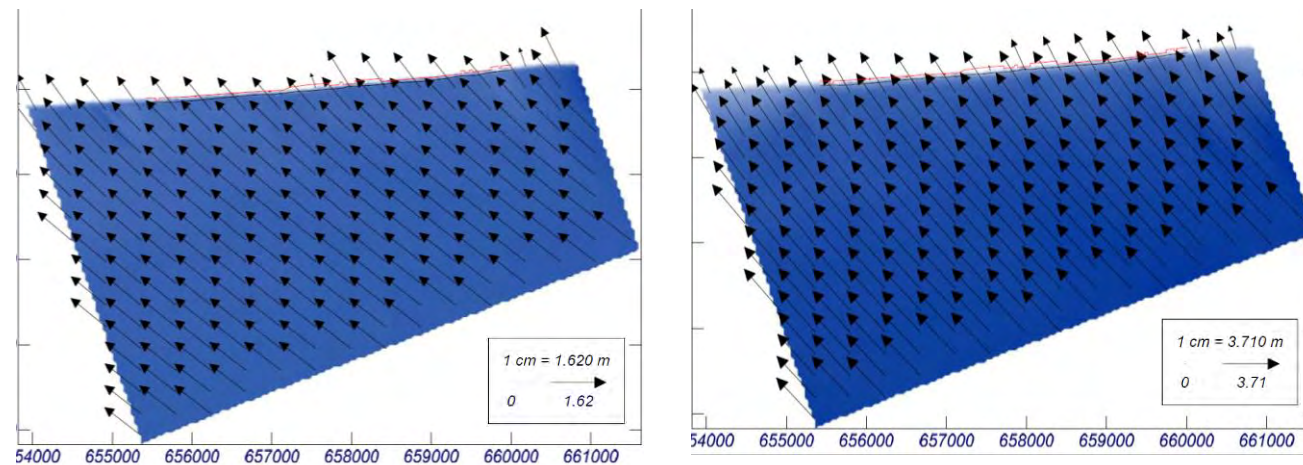


Figura 10. Propagación oleaje procedente sector ESE, Hs morf (izq.) y Hs12 (dcha)

### 2.3. FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

El retroceso de la línea de costa viene condicionado principalmente por el oleaje y la marea. El oleaje es la dinámica más importante en la estabilidad y evolución de una playa. Sin embargo, la naturaleza aleatoria del viento y el mecanismo de generación y propagación del oleaje hacen que éste sea un fenómeno aleatorio difícil de pronosticar.

La rotura de la ola determina el modo en el que el oleaje es disipado y transformado en turbulencia, lo cual da lugar a la generación de corrientes y la variación del nivel medio del mar en la zona de rompientes, que a su vez son el principal motor de los cambios que acontecen en la morfología de las playas.

Al producirse la rotura de la ola, la energía liberada es capaz de movilizar el sedimento, que posteriormente es transportado por las corrientes medias asociadas (corrientes longitudinales y transversales). Los cambios en planta de la línea de costa están principalmente motivados por las corrientes longitudinales, que según el contenido energético del oleaje y la disponibilidad de sedimento pueden ser capaces de producir importantes cambios morfológicos.

Para cuantificar el oleaje cerca de la costa y conocer los patrones medios de comportamiento frente a la dinámica marina, se ha evaluado el flujo de energía incidente, a partir del cual se determinará la Resultante Media Anual del oleaje en diferentes puntos a lo largo del tramo de costa en estudio.

En general, la forma en planta de un tramo de costa tiende a ser perpendicular a la Resultante Media Anual del oleaje.

Aplicando la teoría lineal, el flujo de energía en la dirección de propagación del oleaje se define como:

$$F = E \times Cg$$

Siendo E la energía por unidad de superficie definida por la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

Donde:

- P = densidad del agua (kg/m³).
- g = aceleración de la gravedad (m/s²).
- H = altura de ola (m).

Por otro lado, Cg es la celeridad de grupo o velocidad de propagación de la energía, expresada como:

$$Cg = \frac{c}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right)$$

Donde:

- C = velocidad de propagación de la onda.
- K = número de onda.
- h = profundidad en cada punto de control.

A partir de esta formulación se ha calculado el Régimen Medio Anual del flujo de energía en cada punto de control usando los datos del oleaje propagado desde profundidades indefinidas. Los resultados se muestran en la figura a continuación. Como puede observarse, hacia el extremo poniente de la zona de estudio, el oleaje incide con un ángulo de aproximadamente 10º respecto a la vertical, es decir procede del sector SSW. Sin embargo, conforme avanzamos hacia el extremo de levante, el oleaje incide con ángulos de entre 1º y 3º.

El basculamiento de la línea de costa tenderá a situarse perpendicular a la Resultante Media Anual del oleaje.



Figura 11. Régimen Medio Anual

## 2.4. ANÁLISIS DE HIDRODINÁMICA DE CORRIENTES DE ROTURA

Tras el análisis de clima marítimo y el estudio de propagaciones, se procede a continuación a analizar las corrientes generadas para la rotura del oleaje, las cuales serán las principales responsables del posterior transporte de sedimentos.

Para dicho análisis se realizan las simulaciones numéricas pertinentes, a partir de los datos de las propagaciones de detalle, sobre las mallas anteriormente descritas y para cada uno de los oleajes morfológicos propagados.

Las simulaciones se han realizado con el modelo COPLA – SP, incluido en el SMC, a partir de las cuales se determinará el patrón hidrodinámico para cada una de las condiciones de oleaje tipo analizados.

En las figuras a continuación se muestra la distribución de las corrientes para cada tipo de oleaje analizado, donde se observa que los oleajes generan una corriente paralela a la línea de costa que barre la playa de W a E o de E a W.

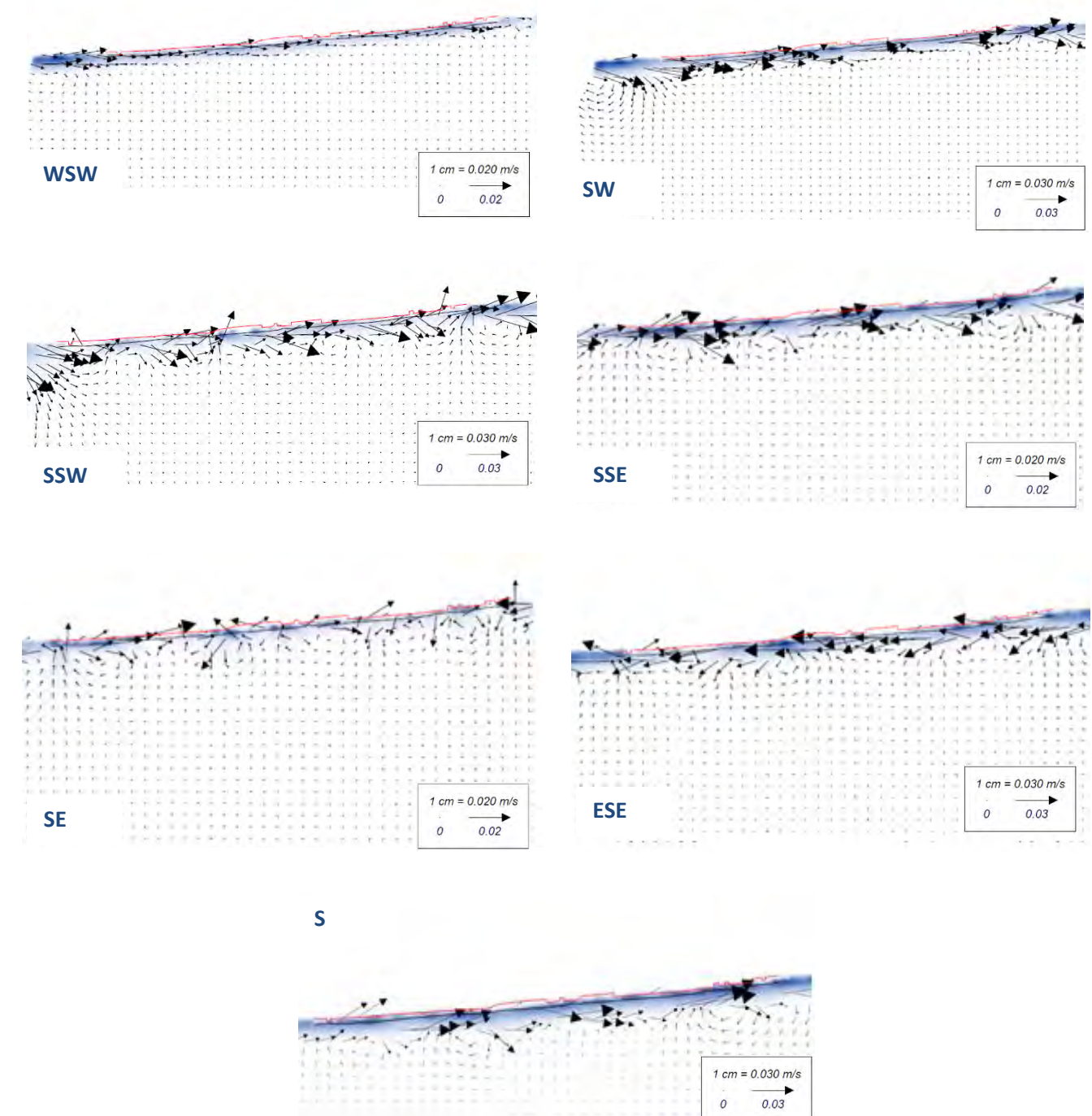


Figura 12. Ejemplos de resultados de hidrodinámica de la playa para diferentes oleajes morfológicos

Para la dirección WSW las corrientes son muy débiles, dirigidas hacia el Oeste. Los oleajes de procedencia SW y SSW generan corrientes de mayor fuerza que las anteriores, dirigidas también hacia el Oeste. El



oleaje procedente del S también genera corrientes dirigidas hacia el Oeste. El oleaje SSE, SE, y ESE generan corrientes dirigidas hacia el Este, siendo las de mayor magnitud las procedentes del ESE.

### 3. BATIMETRÍA, NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS Y CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA

#### 3.1. BATIMETRÍA

La información batimétrica empleada en el presente proyecto ha sido obtenida a partir de las siguientes fuentes:

- Carta Náutica 441 del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- Levantamiento topo-batimétrico de detalle realizado por la empresa TECNOAMBIENTE en 2016 y que se presenta en el Anejo 3 del presente proyecto.

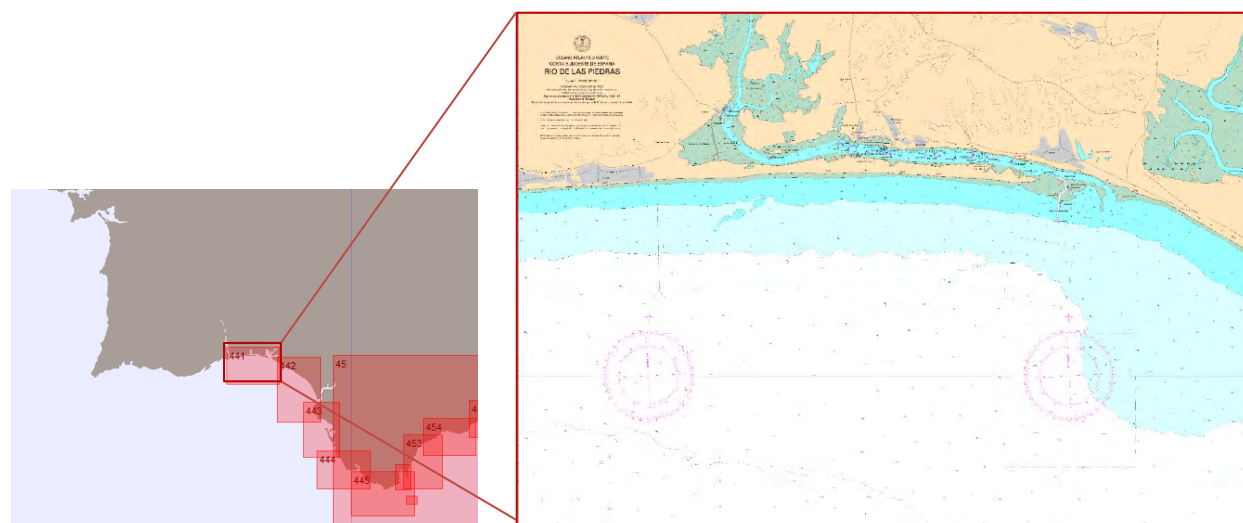


Figura 13. Carta Náutica 441

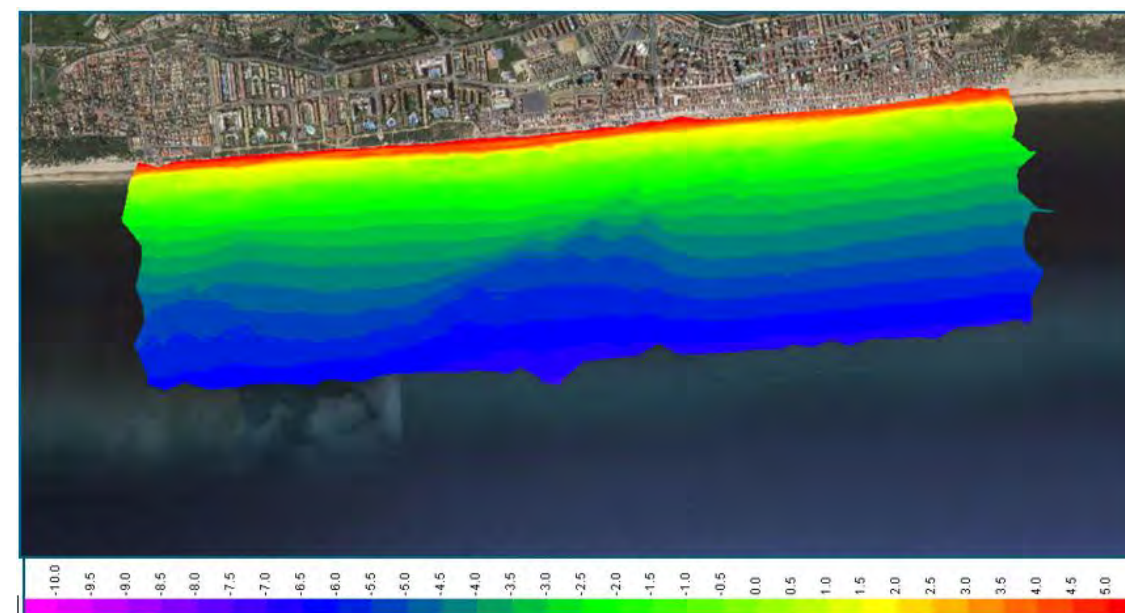


Figura 14. Modelo Digital del Terreno a partir del levantamiento topo-batimétrico

#### 3.2. NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS

##### 3.2.1. Marco geológico regional

La zona objeto de estudio se sitúa en la costa atlántica de la provincia de Huelva, concretamente al oeste de la desembocadura del río Piedras y la flecha del Rompido, y al este del Paraje Natural Marismas de Isla Cristina.

La costa de Huelva representa, desde el punto de vista geográfico, el contacto entre el sector más occidental de la Cuenca o Depresión del Guadalquivir y el Océano Atlántico.

En esta área afloran materiales de dos unidades geológicas: por un lado, la Zona Sudportuguesa perteneciente al Macizo ibérico, que constituye el zócalo de la cuenca del Guadalquivir en este sector, y, por otro, las formaciones neógenas y cuaternarias de relleno de la cuenca.

La Cuenca del Guadalquivir se formó durante el Neógeno, como consecuencia de la colisión de la Cordillera Bética con el antiguo borde del Macizo Ibérico que dio lugar a una zona deprimida (cuenca de antepaís). Durante ese tiempo la cuenca estaba inundada por el mar, en cuyos fondos se depositaron



sedimentos marinos, en su mayoría procedentes de la erosión de los relieves circundantes (Cordillera Bética, que en este momento estaba levantándose, y el Macizo Ibérico).

Entre estos sedimentos hay encajados, sobre todo en el margen sur de la cuenca, grandes bloques rocosos de distinta naturaleza, edad y dimensiones que corresponden a las Unidades Oligoestrómicas. Algunos bloques incluso constituyen actualmente sierras enteras. La subida progresiva del relieve de toda la región acabó exponiendo a la acción de los agentes geológicos externos en amplias zonas sobre las cuales se desarrolló una red fluvial con extensas llanuras y terrazas fluviales, que hoy representan el valle del río Guadalquivir.

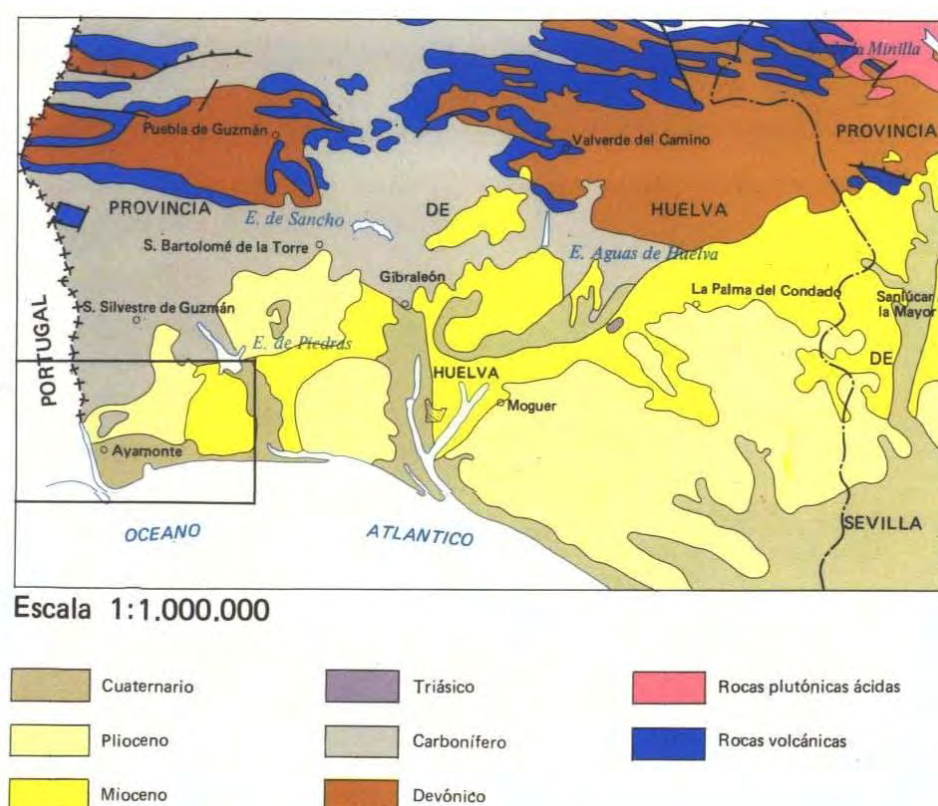


Figura 15. Esquema regional

Fuente: Mapa geológico de la Hoja nº 998 (Ayamonte) del Mapa Geológico de España escala 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA), publicada en el año 1979. Depósito Legal: M-16933-1983.

La casi totalidad de la hoja 998 (Ayamonte) del Mapa geológico 1:50.000, donde se localiza el área de estudio, se encuentra ocupada por materiales terciarios y cuaternarios de la Depresión del Guadalquivir y cuaternarios de la zona costera.

En la zona de la Depresión del Guadalquivir se distinguen:

- El Mioceno, que aflora en los bordes limítrofes de la Depresión, particularmente en la zona N. Se pueden distinguir:
  - El Mioceno transgresivo de base, con facies de tipo detrítico constituidas por conglomerados, molasas compactas y arenas más o menos consolidadas y arcillosas.
  - Las margas azules tortonienses, que constituyen el material principal que ha rellenado la Depresión y que aflora en toda la Depresión.
  - Las facies regresivas sahelenses constituidas por arenas finas, areniscas y calcarenitas que afloran de modo continuo desde Ayamonte hasta Sevilla.
- El Plioceno, con una facies marina constituida por areniscas de tipo transgresivo, con pequeños cantos rodados y muchos fósiles, a veces formando una verdadera lumaquela a base principalmente de ostreas, que recubre gran parte de la zona de Huelva al norte de las Marismas del Guadalquivir; está constituido por alternancias rápidas de arenas más o menos gruesas, gravas, conglomerados y bancos arcillosos.

El Cuaternario está formado por los siguientes depósitos:

- Las terrazas fluviales continentales a lo largo de ríos y arroyos, constituidas por limos y arcillas con niveles irregulares de cantos rodados y gravas asociadas a costras calcáreas de pequeño espesor, limos, areniscas, arenas, limos más o menos arcillosos y gravas más o menos arenosas.
- Los cordones litorales, correspondientes a dunas vivas actuales que se extienden desde Ayamonte hasta Conil. Tierra adentro se encuentra un cordón litoral fósil, de dirección paralela a la actual, que se extiende desde Mazagón hasta Sanlúcar de Barrameda, formando una manga arenosa que separa la marisma del Océano Atlántico.
- El Cuaternario fluvio-marino de Marismas, constituido en profundidad por depósitos antiguos de alternancias de capas fluviales de gravas y arenas y capas marinas de arcilla y por depósitos recientes de limos arenosos y arcillas en las zonas superficiales.

### 3.3. CONDICIONES DE LA BIOSFERA MARINA

La biosfera es la capa del planeta Tierra donde se desarrolla la vida. La capa incluye alturas utilizadas por algunas aves en sus vuelos, de hasta diez kilómetros sobre el nivel del mar y las profundidades marinas

de más de 8 kilómetros de profundidad. Para centrarnos en el entorno del proyecto en este apartado vamos a describir la vida marina que existe en la zona del Golfo de Cádiz donde se encuentra la playa de La Antilla-Islantilla.

Hay que tener en cuenta que el conjunto de ecosistemas marinos funciona como “un todo” y las relaciones entre sus comunidades aumentan según se acortan las distancias que los separan. Esto se debe a la alta densidad del medio que hace que se estrechen las relaciones ecológicas, mientras las corrientes marinas relacionan diferentes comunidades a lo largo de muchas millas. De esta manera los productos primarios y de desecho generados en un ecosistema son transportados a mucha distancia, hasta ser consumidos por otros organismos integrados en ecosistemas lejanos y que no tienen porqué ser similares al ecosistema donde se generaron estos productos de la cadena trófica. Lo mismo ocurre con la dispersión de huevos, larvas y juveniles.

El litoral onubense presenta características geográficas, topográficas y medioambientales muy particulares en comparación al resto de las costas españolas, lo que condiciona su ecología y establece hábitats de gran singularidad. Las comunidades, así como la composición y distribución de sus especies, se diferencian significativamente de las existentes en la costa mediterránea. Encontramos especies que no están presentes en los transparentes enclaves mediterráneos, así como otras especies de circalitoral profundo que, si bien están presentes en ambos mares, en Huelva aparecen desde profundidades mucho menores que en el Mediterráneo, debido en parte a la oscuridad reinante en el agua. Las aguas del litoral onubense son extremadamente opacas debido a la carga de sedimentos provenientes de los ríos que generan gran turbidez e impiden la penetración de la luz, condicionando la biodiversidad y distribución de las especies. Desde los primeros metros de profundidad ya encontramos una luz escasa equivalente a batimetrías mucho más profundas de mares más transparentes. Esto limita la cobertura de algas a los primeros metros del infralitoral y lo mismo ocurre con las fanerógamas, cuya distribución está aún más limitada por tener mayor necesidad lumínica que las algas. Respecto a la fauna, se produce una ascensión de los límites batimétricos de algunas especies y algunos invertebrados como las gorgonias y algunos corales, que en el Mediterráneo ocupan el circalitoral profundo, en Huelva ascienden a fondos más someros.

El litoral de onubense está dominado por el sustrato fangoso. La deriva litoral dominante va de este a oeste y es la responsable de la distribución de los sedimentos que los ríos Guadiana, Tinto, Odiel y

Guadalquivir vierten al mar. Los fangos son el sustrato dominante en las desembocaduras fluviales y en otros puntos que, pese a estar alejados de éstas, también presentan un lecho marino compuesto por limos. En el resto de los fondos marinos se mezclan con arena en diversas proporciones o sedimentan sobre los sustratos duros, llegando a cubrir las lajas de menor relieve. Una de las pocas zonas donde el componente fangoso disminuye notablemente es la franja que va de la playa a los 20 metros de profundidad y que separa La Antilla de Punta Umbría. Aquí predomina el sustrato arenoso o detrítico, la visibilidad aumenta al disminuir la opacidad de las aguas y podemos encontrar enclaves rocosos con cierta proliferación de algas esciáfilas propias del circalitoral (Precoralígeno). La disminución del índice de sedimentación sobre estas rocas permite que se formen costras de algas calcáreas y tapices caespitosos, junto a organismos formadores de capas como esponjas, briozoos, etc.

Otro condicionante para la vida marina en el litoral onubense es la existencia de mareas de importante amplitud, inexistentes en la cuenca mediterránea. Éstas van a influir mayormente en la franja mesolitoral, diferenciando un ambiente superior y otro inferior. El cambio de la pleamar a la bajamar (punto más alto y más bajo del ciclo mareal diario, respectivamente), hace que emerja una franja vertical de varios metros en los espigones y una amplia llanura mesolitoral en playas y estuarios (estuarios mesomareales).

Las comunidades marinas que se pueden diferenciar en la costa de Huelva son las siguientes:

#### 3.3.1.1. Comunidad de sustratos sedimentarios

##### - Comunidad detrítica infralitoral

Ocupa las zonas más cercanas a la línea de costa de playas de arena. Hay un dominio del componente arenoso, mayor o menor componente fangoso y un abundante sedimento detrítico proveniente, principalmente, de restos de conchas de moluscos. No se localiza componente algal y la fauna es mayormente endobentónica. Las especies más características son: moluscos como Chamelea gallina, Donax trunculus, D. semistriatus, Acanthocardia spp., Glycymeris spp. y Spisula subtruncata entre otras; los equinodermos Echinocardium cordatum y Echinocyamus pusillus; y los crustáceos Illia nucleus, Atelecyclus undecimdentatus y Portumnus latipes. La ictiofauna más habitual es de peces planos y “arañas de mar” (Trachinus draco).

Además de los organismos mencionados anteriormente, otros invertebrados habituales de estos sustratos sedimentarios son: los escafópodos Dentalium spp. y Antalis spp.; bivalvos de las especies Mactra stultorum, Pecten maximus, Telina spp., Nucula nucleus, Loripes lacteus, Corbula giba y Chlamys

spp; los gasterópodos *Bolinus brandaris* y *Cymbium olla*; el cefalópodo *Sepia officinalis*; poliquetos como *Ditropa* sp; los decápodos *Parthenope angulifrons*, *Diógenes pugilator*, *Paguristes oculatus*, *Melicertus kerathurus*, *Xanto* spp. y *Crangon crangon*; equinodermos de las especies *Psammechinus microtuberculatus* y *Astropecten* spp.

Los peces más característicos relacionados con estos fondos son los peces planos como diversas especies del género *Solea* y las rayas *Torpedo torpedo* y *Raja stellata*.

- Comunidad de fangos detríticos

Es una de las comunidades más extendidas en los fondos marinos onubenses y su naturaleza está entre las comunidades detríticas de arena y las de componente básicamente fangoso. Posee una compactación mayor y un aspecto más homogéneo que las de arena, debido a la mayor cohesión de las partículas. La sedimentación es alta pero no sepulta el componente detrítico, lo que posibilitan el asentamiento de especies bentónicas de pequeño porte sobre restos biogénicos. Aparecen especies de fondos arenosos, fangosos, así como especies que pueden aparecer también en comunidades detríticas o de fangos circalitorales (ver listado de la “Comunidad detrítica infralitoral” y de la Comunidad de fangos circalitorales). Debido a la compactación del sustrato aparecen invertebrados tubícolas como los poliquetos *Sabella pavonini* ó *Myxicola infundibulum*. Es abundante el caracol *Hexaples trunculus*.

- Comunidad de concheros infralitorales

En las zonas con corriente fuerte como la desembocadura de las rías, se acumulan conchas enteras y grandes fragmentos de éstas. Son sedimentos de gran tamaño que se separan de los más pequeños por el transporte de la corriente y generan un lecho de sedimentos detríticos con entidad propia.

- Comunidad de fangos terrígenos

Se forma por el aporte masivo de limos terrígenos, que la deriva litoral distribuye por toda la costa onubense de oeste a este. Es una comunidad típica de áreas contiguas a la desembocadura de los ríos, pero en Huelva aumenta considerablemente la zona ocupada debido a la enorme pluma de sedimentación que vierten al mar los grandes ríos. El índice de sedimentación es muy alto y los restos detríticos quedan enterrados rápidamente, impidiendo su colonización por el bentos. La fauna tiene una biodiversidad menor que en los fondos detríticos enfangados y son características los Turritellidos

(*Mesalia varia* y *Turritella turbona*) y las ofiuras, pudiendo todos ellos generar facies bien definidas. A cierta profundidad aparece la especie *T. comunis*.

- Comunidad de fangos circalitorales

Propia de mar abierto, en el piso circalitoral más profundo donde las corrientes bajan de intensidad y los limos sedimentan. Sin embargo, en la costa onubense aparecen a no mucha profundidad. La fauna intersticial es muy pobre y la fauna endobentónica es principalmente de excavadores y tubícolas. En esta comunidad encontramos una facies inusual de *Sabella pavonina*, más habitual de grandes profundidades. Hay pocas especies visibles en estos enclaves, pero algunas pueden ser puntualmente abundantes y llegar a ser características. Es el caso de algunas ofiuras, o pennatuláceos como *Veretillum cynomorium*, que forman densas poblaciones. Pasa lo mismo con algunos crustáceos como la galera *Squilla mantis*, el cangrejo *Goneplax rhomboides* o el langostino *Melicertus kerathurus*, que tapizan el lecho marino con sus madrigueras. A parte de los organismos mencionados anteriormente hay otros habituales de esta comunidad como los gasterópodos *Aporrhais pespelecani*, *Aglaja tricolorata*, *Mesalia varia* y *Turritella turbona*; los bivalvos *Modiolus adriaticus*; poliquetos tubícolas de la especie *Myxicola infundibulum*; y equinodermos como *Ophiothrix fragilis* y *Ophiura ophiura*. Entre los peces encontramos *Blennius* spp., *Parablennius* spp., *Holobatrachus dydactylus* y varias especies de rayas.

### 3.3.1.2. Comunidades de praderas de algas y fanerógamas

Las praderas marinas están constituidas por plantas superiores (fanerógamas) y por algas como *Caulerpa prolifera*, que se asientan sobre sustratos sedimentarios de arena y fango.

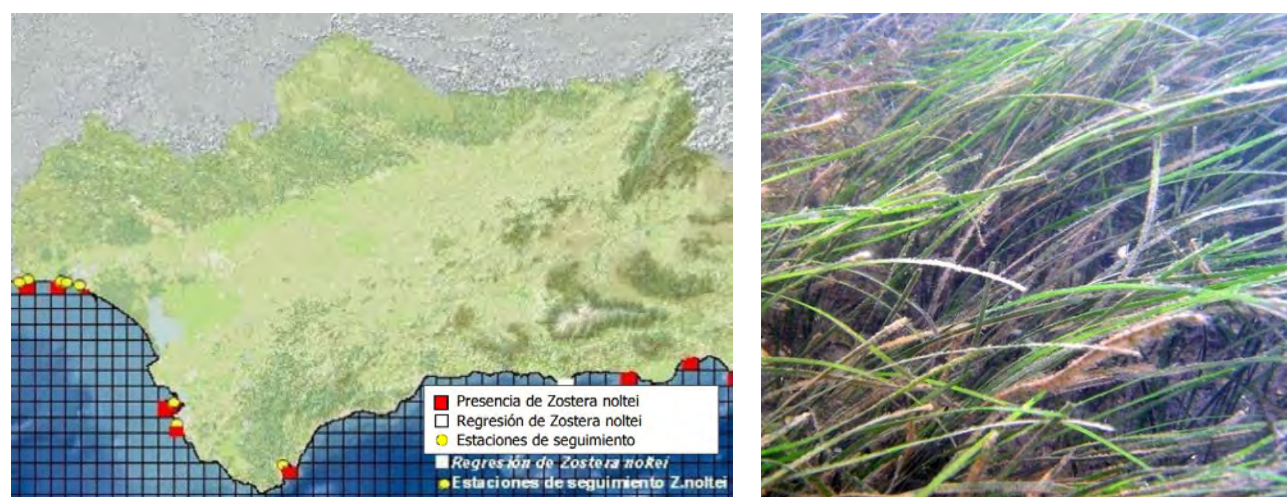
Las fanerógamas *Zostera noltii* y *Cymodocea nodosa* forman praderas monoespecíficas o mixtas y mientras que *Z. noltii* ocupa la franja mesolitoral media-baja de los ambientes de estuario y el infralitoral marino situado al abrigo de islas o barras de arena, *C. nodosa* ocupa el infralitoral inmediato de rías, exclusivamente. Como coincide el límite batimétrico superior de la distribución de *C. nodosa* con el inferior de las praderas *Z. noltii*, se da una zona de transición entre la distribución batimétrica de ambas plantas donde aparecen las praderas mixtas ocupando una franja de poco más de un metro de ancha. En cualquier caso, la distribución de *Cymodocea* y *Zostera* es tan somera que no aparecen por debajo de los primeros 3-4 metros de agua, marcando así el límite batimétrico que definiría la zona infralitoral.

Las praderas de *Caulerpa prolifera* presentan una distribución infralitoral en ambientes de estuarios. Debido a sus necesidades lumínicas, menores que las fanerógamas, llegan hasta batimetrías de unos 7



metros de profundidad. La fauna asociada a todas estas praderas es muy rica: destacan los nidarios *Anemonia viridis* y *Cerianthus membranaceus*; moluscos como los bivalvos *Cerastoderma edule*, *Ruditapes decussatus* y *Tellina tenuis*, o los gasterópodos *Aplysia* spp, *Hydrobia ulvae* y *Bulla striatula* (estas dos últimas asociadas a *Z. noltii*); los poliquetos *Diopatra neapolitana*, *Arenicola marina* y *Capitella capitana*; y crustáceos como *Carcinus maenas* y *Upogibia pusillus*.

Las praderas en Huelva tienen una estructura, valor ecológico y fauna asociada similares sin diferencias significativas, siendo la especie formadora la mayor diferencia entre estas comunidades. La comunidad de *Zostera noltii* de la franja mesolitoral es exclusiva de rías desde el infralitoral hasta la zona media del mesolitoral. Es el tipo más extendido de praderas en las costas onubenses y su naturaleza mesolitoral genera una fauna algo diferente a las demás praderas infralitorales. *Zostera noltei* es relativamente frecuente en las costas atlánticas andaluzas generalmente asociada los estuarios de los grandes ríos y se muestra algo menos abundante en la vertiente mediterránea. Con una distribución eminentemente intermareal aparece en Huelva en los estuarios del Odiel, Guadiana, Isla Cristina, río Piedras y en la ría de Huelva.



Actualmente se puede considerar que *Zostera noltei* sea la única especie de fanerógama exclusivamente marina presente en esta provincia. Se distribuye en la ría de Punta Umbría, marismas de Isla Cristina, Isla Canela, río Piedras, ría de Huelva y desembocadura del Guadiana. Hasta la actualidad se tiene constancia de la presencia de la especie en unas 68 hectáreas, la mayor parte de ellas repartidas entre la Ría de Punta Umbría (27,45 hectáreas) y Marismas de Isla Cristina (17.98 hectáreas). En la ría de Huelva ocupa

unas 8 has y en Isla Canela en torno a las 9 hectáreas. Se trata de praderas densas a muy densas y con alto grado de cobertura.

### 3.3.1.3. Comunidad de sustratos duros

#### - Comunidad de la roca supralitoral

El supralitoral rocoso puede tener una extensión variable según la topografía y su inclinación. Presenta condiciones muy duras para el desarrollo de la vida, debido a la fuerte insolación y a la sequía dominante ya que los rociones son el único aporte de agua marina. Las comunidades tienen una biodiversidad muy pobre y son característicos los líquenes y el gasterópodo *Melarhaphe neritoides*. Este último ocupa las grietas y oquedades de los bloques de hormigón.

La amplitud de las mareas crea una diferencia ambiental significativa entre la zona alta y baja del mesolitoral, estableciéndose una franja superior y otra inferior. Sin embargo, el límite entre estos dos ambientes es una frontera difusa y una misma especie puede encontrarse en ambos pisos, sobre todo las de gran movilidad como el cangrejo *Pachygrapsus marmoratus*.

Por otro lado, según sean zonas de ría o mar aparecen otros dos ambientes diferentes con grandes variaciones en la composición de las especies. En el mesolitoral de las rías hay una menor biodiversidad, pero la cobertura de las especies sobre la roca llega al 100%, mientras que en el mesolitoral marino la biodiversidad es mayor y las poblaciones adquieren un menor desarrollo.

#### - Comunidad de la roca mesolitoral superior

En el mesolitoral superior aún no aparece cobertura vegetal debido a que la gran amplitud de las mareas impone un periodo de exposición al medio aéreo demasiado largo. La biodiversidad es baja ya que las condiciones ambientales siguen siendo extremas para la vida marina debido a la alta insolación y a los largos periodos de emersión. Sin embargo, aparecen algunas poblaciones masivas de líquenes y balanos (*Chthamalus stellatus* y *C. mantagui* ocupan ambientes expuestos y resguardados, respectivamente). Otras especies características son los gasterópodos tipo lapas como *Patella intermedia* y *Siphonaria pectinata*, o los decápodos *Pachygrapsus marmoratus* y el isópodo *Ligia* sp.

#### - Comunidad de la roca mesolitoral inferior

Aparece cobertura vegetal entre la que destaca un importante cinturón de algas caespitosas de la especie *Gelidium pusillum* y una representación más discreta de *Fucus vesiculosus* y *Codium vermilaria*. En el



ambiente marino encontramos Corallina elongata caracterizando la franja más baja de esta comunidad. En cuanto a la fauna, el ostión *Ostreola stentina* y el mejillón *Mytilus galloprovincialis* generan una facies con coberturas de hasta el 100%, más acentuadas en ambientes de ría. Los ostiones forman un sustrato de importante grosor sobre los que se asientan, a su vez, otros organismos y donde se desarrolla una fauna intersticial importante de poliquetos como *Eulalia viridis* y crustáceos del género *Ligia*.

El ambiente marino presenta una biodiversidad más alta que la ría, con poblaciones de especies características compuestas por: la anémona *Actinia fragacea* y *A. equina* (esta última es puntualmente abundante); gasterópodos como la patella *Patella depressa* ó los caracoles *Osilinus lineatus* y *O. turbinatus*; los crustáceos cirrípedos *Balanus perforatus* ó *Pollicipes pollicipes* y los decápodos *Pisidia longicornis*, *Porcellana platycheles*, *Pachygrapsus marmoratus* o *Erphia verrucosa*; y por último las poblaciones del erizo *Paracentrotus lividus* que adquieren una importante presencia en las charcas y plataformas de esta comunidad, pero solo en la zona más occidental de la provincia ya que sus poblaciones mesolitorales solo se localizan en Isla Cristina. En las rías las especies de invertebrados son similares a las marinas, pero con algunas diferencias como la abundante presencia de la anémona *Actinothoe sphyrodeta* y del balano *Balanus perforatus*. En contraposición al ambiente marino de esta comunidad, destaca las ausencias de gasterópodos, en general y del cirrípedo *Pollicipes pollicipes*, además de la menor biodiversidad ya mencionada.

- Comunidades de algas fotófilas en ambientes batidos

Aparece en zonas muy someras hasta los 5 primeros metros de profundidad y siempre en enclaves expuestos al oleaje. El fital domina sobre la fauna y es una prolongación del existente en la franja mesolitoral más baja, con cobertura vegetal masiva a cargo alga roja *Corallina elongata* que llega a caracterizar esta comunidad. Otras algas presentes son especies de los géneros *Gelidium*, *Jania*, *Gigartina* y la especie *Dictyota dichotoma*. La fauna más característica está constituida por: anémonas de las especies *Anemonia sulcata* y *Actinothoe sphyrodeta* (ambas llegan a ser abundantes); moluscos como los ostiones *Ostreola stentina* y *Ostrea edulis*, o diversos caracoles; cirrípedos de la especie *Balanus perforatus*; y por último aparece una población, que puede llegar a ser muy abundante, del erizo *Paracentrotus lividus*.

- Comunidad de antozoos

Son comunidades que se localizan en batimetrías muy variables, entre los 5 y 25 metros de profundidad, en zonas con índices de sedimentación más o menos importantes y sobre muy diversos sustratos (desde lajas semienterradas a paredes verticales y en rocas o estructuras sumergidas). Se han localizado 4 anémonas que llegan a ser masivas y generan una facies monoespecífica: *Actinothoe sphyrodeta*, *Aiptasia mutabilis*, *Anemonia viridis* y *Corynactis viridis*.

- Comunidad del coralígeno de aguas turbias.

Están permanentemente inmersos en una pluma de sedimentación, con una iluminación que va desde una tenue luz marrón a la oscuridad total según diversos factores medioambientales. El sustrato está cubierto de un fino sedimento que condiciona el asentamiento de los organismos sésiles y no deja medrar a los organismos formadores de costras. La comunidad del coralígeno de aguas turbias se da en lajas de escaso relieve o rocas con desnivel moderado, de entre 1 y 4 metros de altura sobre el lecho marino. La comunidad fital se reduce a la mínima expresión con parches aislados de algas calcáreas o pequeños tapetes tipo musgo, mayormente en paredes verticales donde la sedimentación produce un impacto menor. Abundan las gorgonias de las especies *Eunicella gazella*, *E. labiata*, *Leptogorgia lusitanica*, *L. sarmentosa* y *Ellisella paraplexauroides*. Esta última es una gorgonia considerada rara pero en Huelva puede ser puntualmente abundante. Son especialmente representativos “los bosques de *Paramuricea clavata*” que llegan a caracterizar la comunidad junto al coral de anís ó *Dendrophyllia ramea* (*D. cornígera* sustituye a *D. ramea* a mayor profundidad y se dan bosques mixtos de ambas especies en batimetrías de transición).

Además de las especies citadas, son abundantes los grandes briozoos como *Pentapora fascialis* que en su variedad foliacea forma colonias redondeadas de gran tamaño. También son habituales de estos fondos, los parches dispersos que forma el cnidario *Parazoanthus axinellae*, así como una amplia diversidad de pequeños coralitos representados por algunas especies como *Caryophylla smithii*, *Polycyathus muelleriae*, *Corynactis viridis* o *Phyllangia mouchezii*, entre otros.

## 4. FORMAS DE EQUILIBRIO EN PLANTA Y PERFIL

### 4.1. FORMAS DE EQUILIBRIO DE UNA PLAYA EN PLANTA

#### 4.1.1. Introducción

La forma en planta de equilibrio de una playa, es un concepto, que, junto con el perfil de equilibrio, permiten definir la morfología de una playa en equilibrio a largo plazo.

La hipótesis en la que se basa el análisis a largo plazo de la forma en planta de una playa son dos:

- La ortogonalidad entre planta y perfil.
- La diferente escala temporal de los procesos planta-perfil.

Esta diferente escala temporal de los procesos da lugar a que en los estudios de forma en planta se asuma que el perfil de playa siempre ha alcanzado su posición de equilibrio (sea cual sea). De este modo, la evolución a largo plazo de la forma en planta de una playa se realiza manteniendo constante la forma del perfil.

Dentro del análisis del equilibrio de la forma en planta, cabe diferenciar dos casos:

- Playas en equilibrio estático (transporte longitudinal nulo). Esta situación, típica de playas encajadas, tómbolos y salientes puede ser analizada con modelos empíricos de planta de equilibrio, donde solo se persigue la determinación de la forma final de equilibrio.
- Playas en equilibrio dinámico o en desequilibrio (transporte longitudinal no nulo). En este tipo de playas, la variable tiempo es importante siendo necesario el uso de modelos de evolución de la línea de costa tipo modelos de una línea. Estos modelos podrán ser analíticos para los casos de geometrías simples, o numéricos para los casos de geometrías complejas.

Las playas encajadas son muy frecuentes en las costas que presentan salientes, como cabos rocosos, diques, espigones, etc. es aceptado que las playas formadas bajo ataques persistentes de un oleaje tipo swell, que se difracta en esos salientes (llamados a partir de ahora polos), son playas más notables generadas por la naturaleza.

Algunos autores (Silvester, Le Blond, Ho, Rea y Komar, Garau...) estudiaron este fenómeno, llegando a la conclusión que la configuración de equilibrio de este tipo de playas encajadas se reproducía de una forma

fiel mediante una espiral logarítmica tangente a un tramo recto paralelo a los frentes del oleaje medio incidente, cuya ecuación es:

$$R = K \cdot e^{\theta \cot \alpha} = K \cdot e^{\theta \tan \varphi}$$

Siendo:

siendo:

- K una constante que depende del tramo angular de la espiral
- $\alpha$  el ángulo constante entre la tangente y el radiovector en un punto de la espiral
- $\theta$  el ángulo variable en radianes entre el origen y el radiovector de un punto determinado
- $\varphi$  el ángulo complementario de  $\alpha$  ( $\varphi = 90^\circ - \alpha$ )

La comprobación experimental (Garau) parecía indicar que para las playas de arena encajadas del Mediterráneo español el ángulo  $\varphi$  valía  $30^\circ$ , estando situado el polo de la espiral en el punto de difracción del oleaje.

Existen formulaciones empíricas que permiten estimar cuál es la forma en planta de playas ubicadas en la zona de sombra de un cabo o elemento de protección. Hsu y Evans (1989) propusieron para la forma en planta de una playa la expresión parabólica:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

Donde:

- $R_0$  es la distancia entre el polo y el punto de la línea de costa más alejado del obstáculo en el que no existe influencia del polo (punto de control).
- $\beta$  es el ángulo entre el frente del oleaje incidente y la línea de control, que une el polo de difracción con el punto de control (ver Figura 15).
- $\theta$  es el ángulo entre el frente del oleaje y el radio R (ver Figura 15).
- $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son unos coeficientes con unos valores universales que dependen de  $\beta$ .

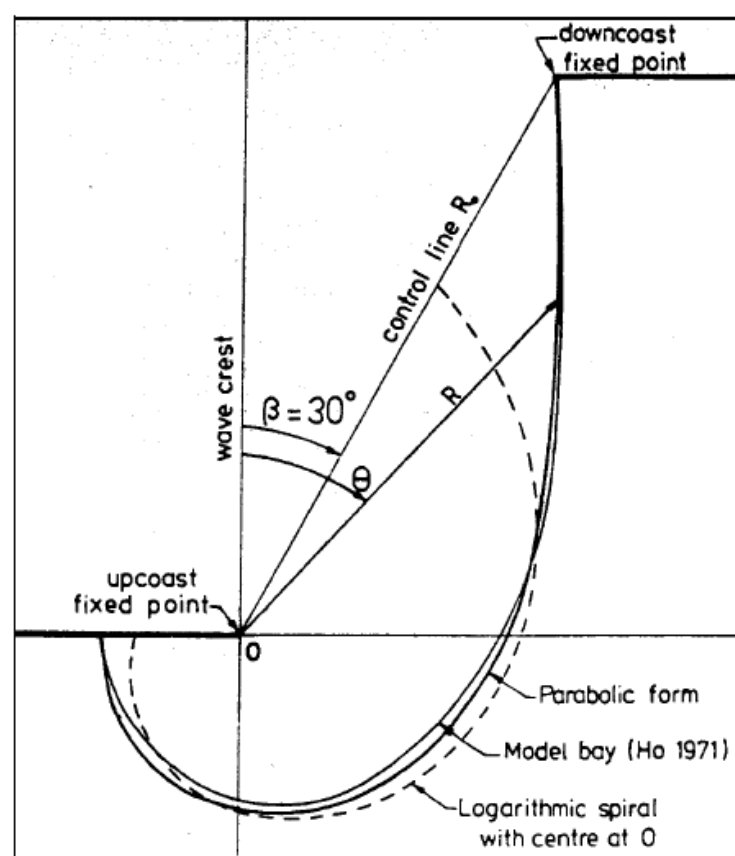


Figura 16. Definición esquemática de la planta de una bahía en equilibrio (Fuente: Hsu Evans)

#### 4.1.2. Forma de equilibrio de la playa de La Antilla – Islantilla

El primer paso para estudiar la forma de equilibrio en planta de la playa de La Antilla es la obtención de la dirección del flujo medio de energía en los puntos de difracción. De acuerdo a la metodología descrita en el apartado 4.1 de este documento, se ha analizado la situación actual de la zona de estudio para determinar el grado de ajuste de la playa a las formas teóricas de equilibrio.

La playa de La Antilla no es una playa encajada, es una playa abierta, por lo que las formulaciones anteriormente descritas tienen una aplicación muy limitada. Las playas no encajadas están sujetas a cambios de forma debido a la existencia de gradientes en el transporte longitudinal de sedimentos. El punto clave en cualquier estudio de playas abiertas es la correcta determinación de dicho transporte longitudinal pues es quien condiciona la evolución temporal de la misma. En el apartado 5 del presente documento se realiza un análisis de la capacidad de transporte litoral.

La dirección del flujo medio de energía de la playa de estudio varía longitudinalmente. Hacia el extremo de poniente el oleaje incide con un ángulo de aproximadamente 9º respecto a la vertical, mientras que conforme se avanza hacia el extremo de levante el oleaje incide con ángulos de entre 1º y 3º.

La playa de La Antilla-Islantilla adoptará la forma perpendicular a dicho oleaje.

## 4.2. ANÁLISIS DEL PERFIL TRANSVERSAL

### 4.2.1. Introducción

La definición de perfil de playa se corresponde a la variación de la profundidad del agua,  $h$ , con la distancia a la línea de costa,  $x$ , en dirección normal a la misma.

Este perfil de playa cambia constantemente con respuesta a los cambios del transporte transversal de sedimentos que produce la dinámica marina, especialmente el oleaje. La respuesta de un perfil de playa a la acción de las dinámicas actuantes se produce en escalas de tiempo de corta duración, que pueden ser consideradas como instantáneas dentro de un estudio a largo plazo. Dentro de un estudio a largo plazo, el aspecto más importante de un perfil de playa es su **perfil de equilibrio**. Dicho perfil no pretende explicar los mecanismos o procesos de transporte una playa, sino solamente su forma final.

### 4.2.2. Perfil de equilibrio

El perfil de equilibrio constituye una herramienta eficaz para predecir el comportamiento de una playa y diseñar proyectos de regeneración de playas.

Diversos autores han propuesto formulaciones empíricas al objeto de representar el perfil de equilibrio de una playa. De todas ellas, la más comúnmente utilizada es la propuesta, inicialmente por Brunn (1954) y posteriormente por Dean (1977). Bruun (1954) analizó perfiles de playa de la costa danesa del mar del Norte y de Mission Bay (California) y encontró que la media de los perfiles podía ser ajustada mediante la relación:

$$h = A x^{2/3}$$

Dean (1977) analizó 504 perfiles a lo largo de la costa atlántica de los Estados Unidos y los ajustó por medio de mínimos cuadrados a la expresión:

$$h = A x^n$$

dejando libres como parámetros A y n.

Los valores obtenidos fueron:

$$0.1 < n < 1.4$$

$$0.0025 < A < 6.31$$

Con un error cuadrático medio del 16% y un valor medio del parámetro  $n=0.67$  m análogo al propuesto por Brunn. Dean rehizo el análisis del ajuste fijando  $n = 2/3$  y encontró que la dispersión de los valores de A se reducía considerablemente, estando el 99 % de los valores en el rango  $0,0 < A < 0,3$ . Otros autores han obtenido valores diferentes del parámetro n. Así, por ejemplo, Wright et al. (1982) propusieron  $n = 2/5$ , Boon y Green (1989)  $n = 1/2$ , Vellinga (1984)  $n = 0,78$ , etc. Existen al menos tres posibles vías de investigación para el desarrollo de una teoría para la determinación del perfil de equilibrio:

- Aproximación cinemática: en la que se intenta determinar el movimiento de las partículas de sedimento (en suspensión o por fondo) mediante la descripción de las fuerzas que actúan sobre ellas.
- Aproximación dinámica: en la que se plantea un balance macroscópico de fuerzas constructivas y destructivas.
- Aproximación empírica: que es puramente descriptiva y representa el intento de ajustar el perfil de playas a las formas más comunes encontradas en la naturaleza, utilizando parámetros determinados mediante ajustes o técnicas de análisis dimensional.

Es posible obtener el perfil potencial  $h = A \cdot x^{2/3}$  a través de cualquiera de estos tres tipos de aproximaciones. Moore (1982) revisó los 504 perfiles analizados por Dean incorporando la información sobre el tamaño de sedimento, además de un gran número de ensayos de laboratorio, obteniendo una gráfica en la que el parámetro A era función del tamaño medio de grano,  $D_{50}$ .

Dean (1987) transformó los datos de Moore expresando A en función de la velocidad de caída del grano ' $\omega$ ' (expresada en m/s) y encontró la relación:

$$A = K \omega^{0.44}$$

Con  $K = 0.51$  y  $\omega$  (expresada en m/s).

De acuerdo con el modelo teórico de perfil de equilibrio propuesto por Dean, el perfil de equilibrio solo es válido dentro de la zona de rotura del oleaje. Quiere esto decir que la extensión del perfil varía a lo largo del tiempo en función del oleaje existente. Dentro de los estudios a largo plazo de estabilidad de playas es usual utilizar la denominada "profundidad de cierre" como límite de aplicación del perfil de equilibrio. Esta profundidad está relacionada con el transporte de sedimentos y se aplica a la posición mar adentro en la cual las variaciones verticales del perfil a lo largo del tiempo son tan reducidas que no son distinguibles de los errores de medida. Con esto se admite que puede existir movimiento de area más allá de la profundidad de cierre, pero en magnitud despreciable.

#### 4.2.3. Cálculo de la profundidad activa y de cierre

Hallemeier (1978) propuso una zonificación del perfil de playa en función de la variabilidad del perfil y tipo de transporte dominante, diferenciando:

- Zona exterior: en la cual no existen cambios del perfil.
- Zona de asomeramiento: en la cual existen pequeños cambios en el perfil a lo largo del año, fundamentalmente debido a transporte transversal.
- Zona litoral: en la cual se producen grandes cambios del perfil debido tanto a transporte longitudinal como transversal.

El límite entre la zona litoral y la zona de asomeramiento queda determinado por la profundidad  $d_l$  y entre ésta y la zona exterior por la profundidad de cierre,  $d_i$ .

En 1978 Hallermeier propuso a partir de los resultados de unos ensayos en laboratorio una expresión para el cálculo de la profundidad activa:

$$d_l = 2.28 H_{s12} - 68.5 \left( \frac{H_{s12}^2}{g T_{s12}^2} \right)$$

Siendo:

- $H_{s12}$  la altura de ola significativa local superada 12 hroas al año.
- $T_{s12}$  el periodo significativo asociado a  $H_{s12}$ .

Birkemeier (1985) utilizando numerosos datos medidos en perfiles de playas obtuvo una expresión modificada para la profundidad activa,  $d_i$ :



$$d_l = 1.75H_{S12} - 57.9 \left( \frac{H_{S12}^2}{gT_{S12}^2} \right)$$

La fórmula propuesta por el programa europeo (PACE) (Nicholls et al, 1998) para determinar la profundidad de cierre en un punto de la costa española es:

$$d_c = k * d_l$$

Donde k es un coeficiente que depende de la fórmula elegida: 1,62 Hallermeier, y 2,13 Birkemeier.

Del estudio de clima marítimo se pueden obtener la altura de ola significativa con probabilidad de ocurrencia de 12 horas/año así como su período asociado teniendo en cuenta la correlación Hs - Tp correspondiente y suponiendo que Ts = Tp.

- $H_{S12} = 3,50$  m.
- Profundidad activa,  $d_l$ , Hallermeier = 6,88 m.
- Profundidad activa,  $d_l$ , Birkemeier = 5.19m
- Profundidad de cierre ( $d_c$ ), Hallermeier = 11,15 m
- Profundidad de cierre ( $d_c$ ) Birkemeier = 11,05 m

En la aplicación del perfil de equilibrio, es usual adoptar como valor de profundidad de cierre el límite de la zona litoral  $d_l$ , denominándola  $h^*$ , que en este caso se sitúa 5.19 metros ( $\approx 5.50$  m) dado que la formulación de Birkemeier es más realista, pues la obtuvo utilizando numerosos datos de perfiles reales.

**Nota:** las cotas a las que se hace referencia en este apartado, así como en los siguientes, están referidas al Cero de Alicante (CA). En caso de que las cotas están referidas al Cero Hidrográfico del Puerto de Isla Cristina (CH) será indicado expresamente.

#### 4.2.4. Granulometría

Se realizó una campaña de campo para obtener muestras granulométricas a diferentes profundidades, repartidas en 5 perfiles a lo largo de la zona de estudio, en las cotas +2m, +1m, 0m, -1m, -2m. En la siguiente figura se muestra la localización de los perfiles seleccionados.

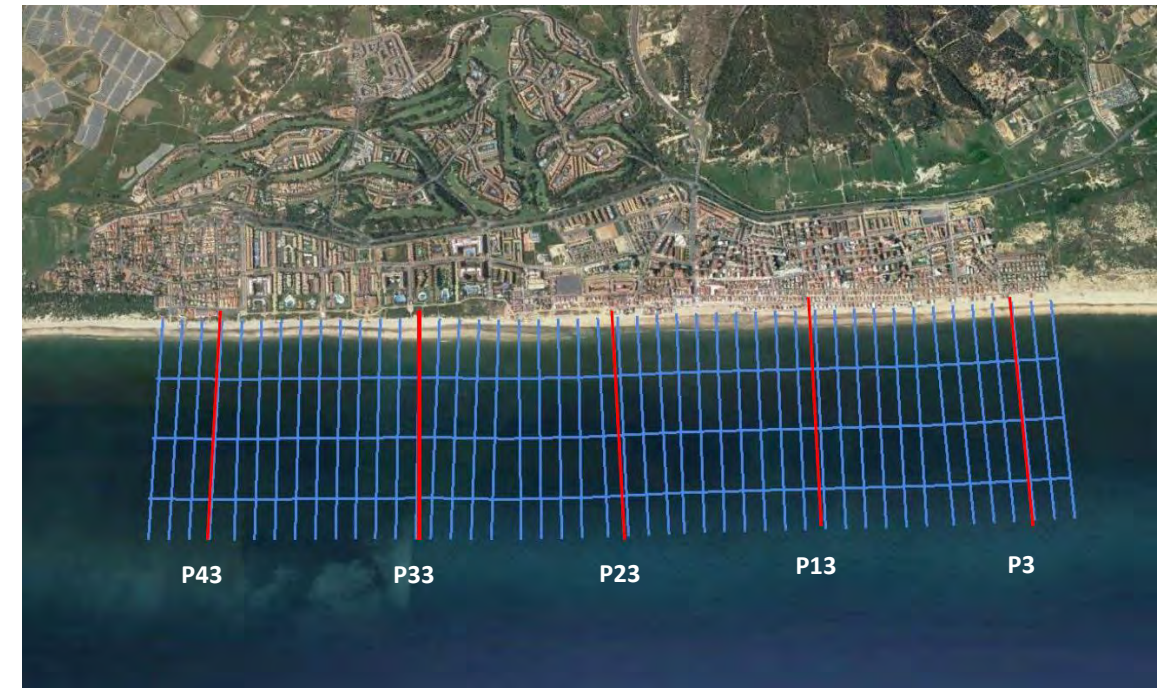


Figura 17. Posición de los perfiles de muestra

| Cota  | D <sub>50</sub> de cada perfil |      |      |      |      |
|-------|--------------------------------|------|------|------|------|
|       | P43                            | P33  | P23  | P13  | P3   |
| +2.00 | 0.34                           | 0.51 | 0.31 | 0.31 | 0.35 |
| +1.00 | 0.35                           | 0.62 | 0.35 | 0.55 | 0.34 |
| 0.00  | 0.54                           | 0.24 | 0.27 | 0.31 | 0.27 |
| -1.00 | 0.22                           | 0.22 | 0.2  | 0.23 | 0.2  |
| -2.00 | 0.21                           | 0.22 | 0.21 | 0.22 | 0.2  |

Tabla 8. Resultados de las granulometrías (D<sub>50</sub>) realizadas en los puntos de muestreo

#### 4.2.5. Resultados

Teniendo en cuenta la granulometría de cada perfil, se ha obtenido el perfil teórico de Dean y se ha comparado con el perfil real. Los resultados obtenidos se muestran en los gráficos a continuación.

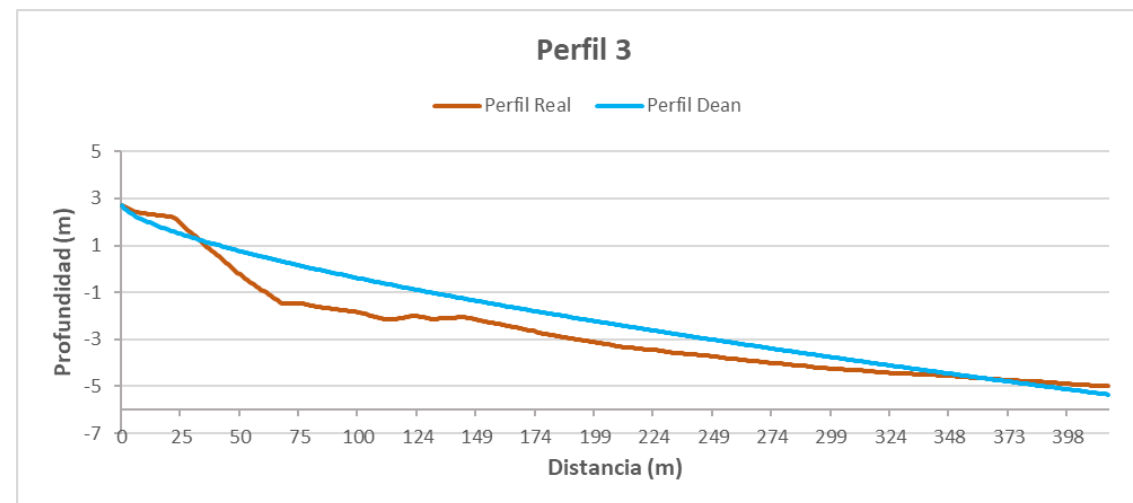


Figura 18. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P3

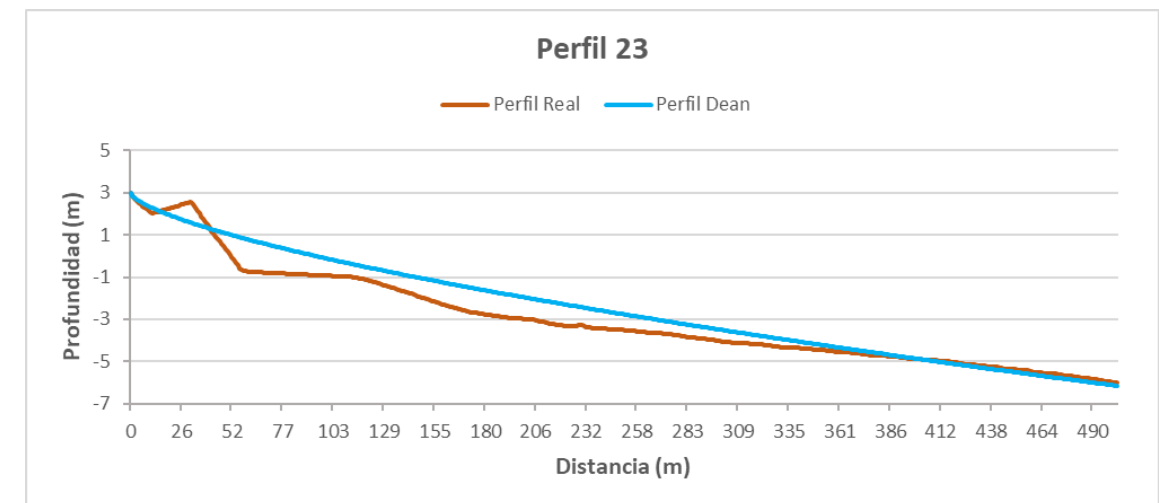


Figura 20. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P23

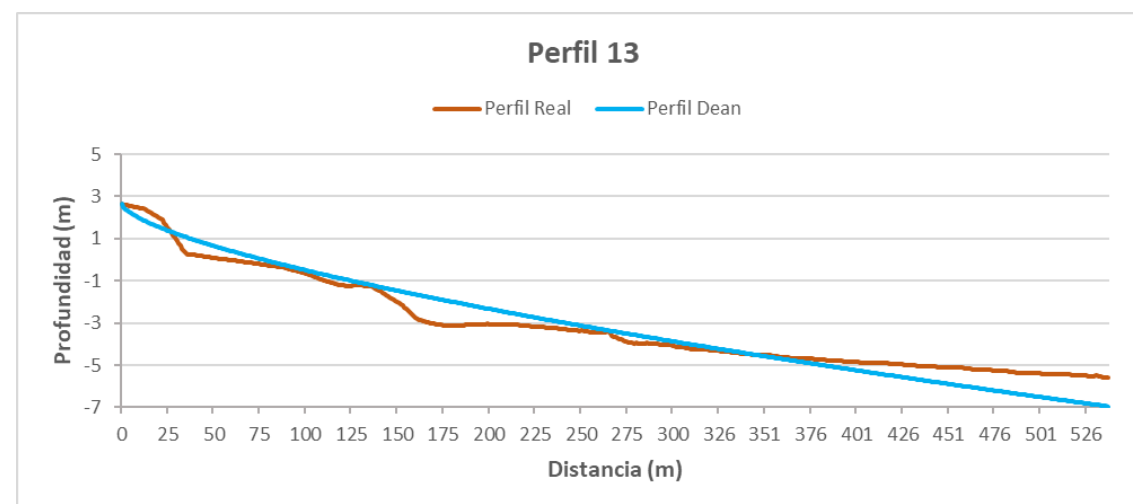


Figura 19. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P13

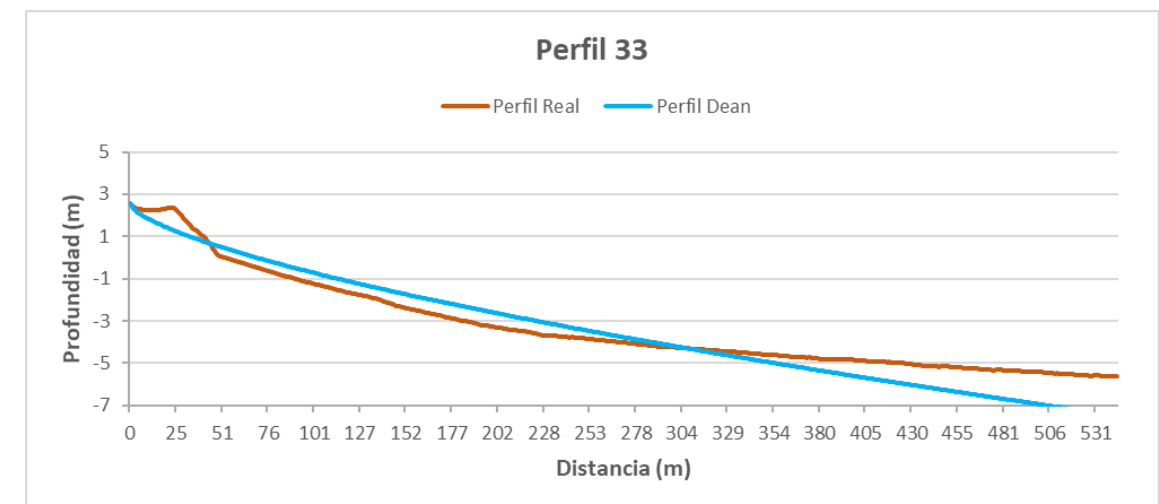
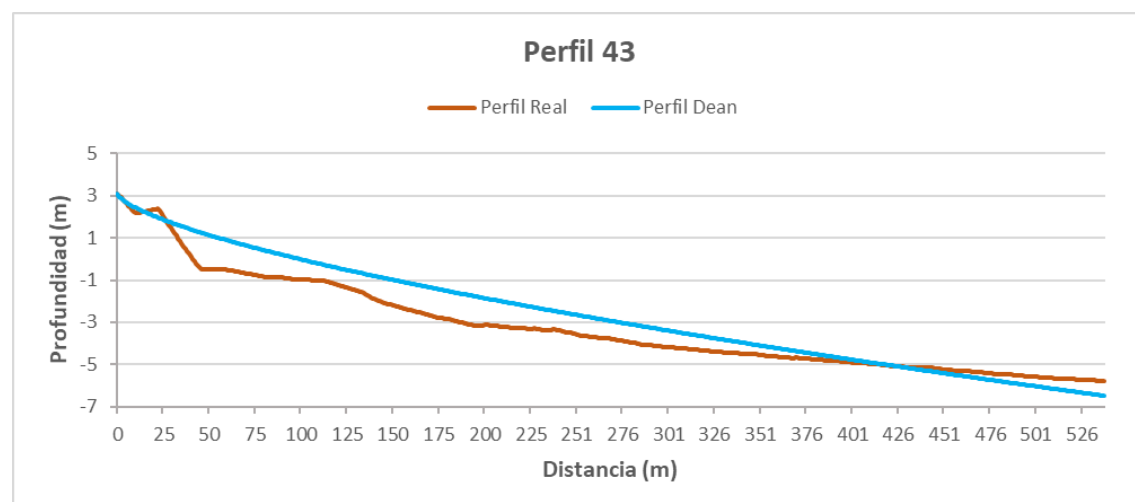


Figura 21. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P33



**Figura 22. Resultados de comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean para P43**

El ajuste obtenido resultó bastante bueno excepto para los perfiles 3 y 43. Este hecho fue también observado durante la realización del levantamiento topográfico. Este mal ajuste podría ser debido a la asimetría de resultados de las granulometrías, puesto que en estos perfiles en la playa seca se tiene una arena más gruesa ( $D_{50} = 0.55-0.60$  mm) y a 2 metros de profundidad una arena fina ( $D_{50} = 0.20$  mm).

En los perfiles seleccionados, se observa un talud acentuado en la zona del intermareal. Entre los 80 y 100 metros de la línea de costa la pendiente del terreno es de 1:30 y a partir de los 180 m de la línea de costa el perfil es muy tendido, prácticamente horizontal.

Se concluye que en la zona de estudio, en términos generales, los resultados obtenidos al comparar el perfil real con el perfil teórico de Dean calculado con los resultados granulométricos fueron buenos, salvo los perfiles 3 y 43, pudiendo deberse a la asimetría de los resultados de las granulometrías.

## 5. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL

### 5.1. CAPACIDAD TEÓRICA DE TRANSPORTE

Las playas pueden clasificarse como playas en equilibrio y playas en proceso de adaptación a sus condicionantes externas. El caso de la playa de La Antilla – Islantilla es una playa en proceso de adaptación debido a que se encuentra en un proceso de acomodación dados los últimos aportes de arena realizados y los temporales acaecidos.

Por otra parte, dentro de las playas en equilibrio, se puede hacer asimismo una segunda clasificación, que las divide en playas en equilibrio estático y en equilibrio dinámico. Las primeras corresponden a unidades fisiográficas relativamente cerradas, en la cuales el material presente es siempre el mismo, aunque pueda ser movido dentro del sistema. Por el contrario, las segundas (playas dinámicas) reciben del exterior un cierto caudal sólido y dejan salir otro de magnitud similar, con lo que su forma en planta apenas varía. Es el transporte longitudinal de sedimentos el fenómeno responsable de que se produzcan estos procesos.

A la hora de planear un proyecto de estabilización de una playa, es de suma importancia conocer su orden de magnitud y establecer un criterio de signos; para ello diversos investigadores han propuesto fórmulas basadas en ensayos de campo o laboratorio y en consideraciones técnicas.

Para el cálculo de la capacidad de transporte se utilizan diferentes formulaciones. En este estudio se han utilizado las formulaciones de diferentes autores para así poder realizar una comparación.

#### 5.1.1. Formulaciones empleadas

##### 5.1.1.1. Formulación del CERC

La formulación de CERC es una de los métodos más antiguos y relaciona la tasa potencial de transporte de sedimento con la cantidad de energía del oleaje que llega a la costa. Esta formulación es válida para transporte debido a incidencia oblicua del oleaje en playas de suficiente extensión en longitud. Presenta el inconveniente de que no aporta muy buenos resultados para playas encajadas y en ella solo interviene el oleaje incidente

Para nuestra playa de estudio esta formulación es perfectamente válida ya que la incidencia del oleaje es oblicua y no es una playa encajada.

Dicha fórmula de CERC viene definida por la siguiente expresión:

$$Q = Cq * \sin 2\alpha$$

Donde:

- Cq se relaciona con el flujo de energía incidente.
- $\alpha$  es el ángulo entre la perpendicular a la línea de costa en cada punto y el ángulo de incidencia de cada estado de mar.

La expresión de Cq es:

$$Cq = \frac{k1\rho\sqrt{g/\gamma}Hb^{5/2}}{16(\rho_s - \rho)(1 - n)}$$

Donde:

- K1 = 0.39 si se usa altura de ola significativa.
- g es la aceleración de la gravedad.
- $\rho$  es la densidad del agua.
- $\rho_s$  es la densidad del sedimento.
- n es la porosidad
- Hb es la altura de ola en rotura.
- $\gamma$  es el parámetro de rotura.

Las hipótesis de partida para la determinación de esta fórmula suponen una serie de limitaciones como son:

- Batimetría recta y paralela.
- Validez de la teoría lineal de oleaje hasta proximidades de rotura.
- Existe una capacidad ilimitada de arena.
- No existe disipación de energía hasta la rotura.
- El oleaje es el único agente climático marítimo actuante

#### 5.1.1.2. Formulación de Kamphuis

Existen otras formulaciones semejantes como la de Kamphuis (1991), la cual tiene una formulación muy similar a la del CERC:

$$Q (m^3/h) = 7.3 * H_{sb}^2 * Tp^{1.5} * m^{0.75} * D_{50}^{-0.25} * \sin^{0.6} 2\alpha$$

Donde:

- Tp es el periodo de pico.
- m es la pendiente media de la playa de la zona de rompientes.
- D<sub>50</sub> es el tamaño medio del sedimento de la playa

#### 5.1.2. Resultados obtenidos

Se ha procedido a calcular la capacidad teórica de transporte de sedimentos a lo largo de un perfil seleccionado, correspondiente al perfil P3 de la Figura 17 mediante las formulaciones anteriormente expuestas. Los resultados obtenidos son:

| m3/año          | HACIA EL E  | HACIA EL W | TOTAL NETO  |
|-----------------|-------------|------------|-------------|
| <b>CERC</b>     | -689,568.61 | 507,050.32 | -182,518.29 |
| <b>KAMPHIUS</b> | -304,688.22 | 213,349.19 | -91,339.04  |

**Tabla 9. Resultados transporte de sedimentos para las formulaciones utilizadas**

A la vista de los resultados, vemos que el balance de sedimentos es hacia el E en todas las formulaciones utilizadas. Estos cálculos permiten obtener la capacidad máxima de transporte de sedimentos, siendo generalmente el transporte real bastante menor, debido a las hipótesis de partida que suponen ciertas limitaciones. La experiencia nos indica que la formulación del CERC suele sobredimensionar el valor de la capacidad de transporte si se comparan con los valores obtenidos por otras formulaciones. Como se observa más adelante, la formulación de Kamphuis es más real si la comparamos con los datos obtenidos en el modelo numérico.



## 5.2. MODELADO NUMÉRICO DEL TRANSPORTE SEDIMENTARIO

La utilización de un modelo numérico es muy útil para el cálculo del transporte sedimentario, debido a que es una herramienta potente y poco costosa, que permite obtener la capacidad teórica de transporte de forma rápida, fiable y relativamente sencilla. No obstante, todos estos modelos deben ser siempre validados y calibrados correctamente para obtener unos resultados satisfactorios. En ingeniería marítima los modelos numéricos son recientes y están en periodo de perfeccionamiento; de estos modelos, los de dinámica sedimentaria son los que se encuentran menos desarrollados.

### 5.2.1. Modelo numérico utilizado

La modelización del transporte sedimentario se ha realizado con el modelo EROS (modelo bidimensional y horizontal de evolución morfológica de una playa). Este programa EROS forma parte del Modelo Integral de Evolución Morfológica de una playa debido a la acción del oleaje y las corrientes de rotura (MOPLA), el cual, a su vez se engloba en el modelo de análisis a corto plazo de playas. El concepto de corto plazo tiene que entenderse como la escala temporal de validez del modelo (horas - días). Estos modelos son útiles para simular el comportamiento de una playa sometida a la acción de un determinado estado de mar.

El modelo EROS es un modelo numérico que resuelve las ecuaciones del flujo de sedimento dentro de la zona de rompientes, así como los cambios en la batimetría asociados a las variaciones espaciales del transporte de sedimentos. Como datos de entrada, este modelo necesita:

- Datos de salida del oleaje (calculados por el modelo OLUCA).
- Datos de salida del campo de corrientes de rotura (calculados por el modelo COPLA).
- Datos característicos del sedimento de la playa.

El comportamiento del oleaje y corrientes se ha simulado mediante propagaciones de diferentes espectros de oleaje con las direcciones características de la zona y a partir de las alturas de ola morfológicas. El tamaño de sedimento introducido en el modelo es el que corresponde con el  $D_{50}$  de las arenas existentes en la playa. Se ha tomado el valor medio de las arenas medias de la zona, sin tener en cuenta las gravas o las arenas más gruesas,  $D_{50} = 0,32$  mm.

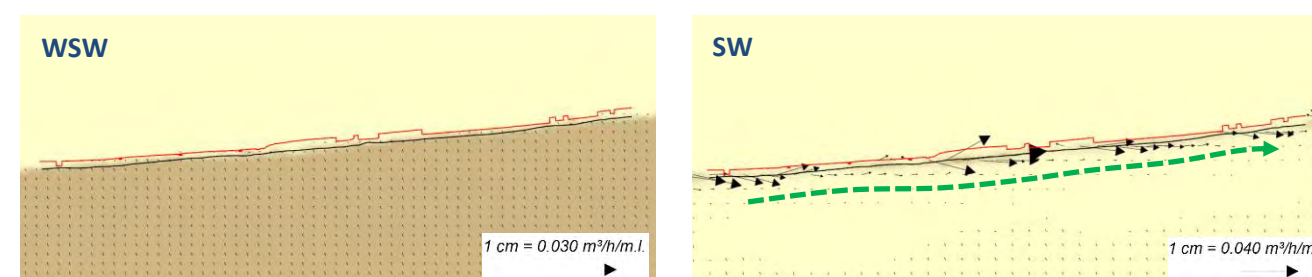
Con el modelo se obtienen resultados sobre el vector transporte de sedimentos que nos permite cuantificar magnitudes y sentido del transporte. Se ha aplicado el modelo de Soulsby- Van Rijn (1997), que es una expresión analítica experimental que aproxima de manera bastante aproximada a la formulación para ola - corriente de Van Rijn, evaluando tanto el transporte por fondo como por suspensión sobre el fondo horizontal (se considera el efecto de la pendiente por fondo el inicio del transporte). Para la aplicación del modelo, las ecuaciones se resuelven mediante un modelo de diferencias finitas sobre una malla rectangular.

### 5.2.2. Resultados del modelo numérico

Debido a la complejidad de la morfodinámica de la zona de rompientes existe una metodología que permite calcular con mayor aproximación el transporte de sedimentos en las zonas costeras. Esta metodología consiste en determinar patrones de propagación y rotura del oleaje, obtención de los tensores de radiación, calcular las corrientes de oleaje a partir de este tensor y finalmente, calcular el transporte de sedimentos inducido de manera conjunta por el oleaje y las corrientes.

Según la salida gráfica del modelo EROS, ver Figura 23, la dirección del transporte varía en función del oleaje propagado. Para oleajes procedentes de levante el transporte es hacia el W (sentido positivo, +, según el criterio adoptado), y para oleajes de poniente el transporte es hacia el E (sentido negativo, -). Los porcentajes de presentación son mayores para los oleajes procedentes de poniente, por ello el transporte neto es hacia el E.

Todos los resultados gráficos del modelado numérico de EROS, obtenidos para cada uno de los oleajes propagados se exponen en el Apéndice 1 de este anejo.



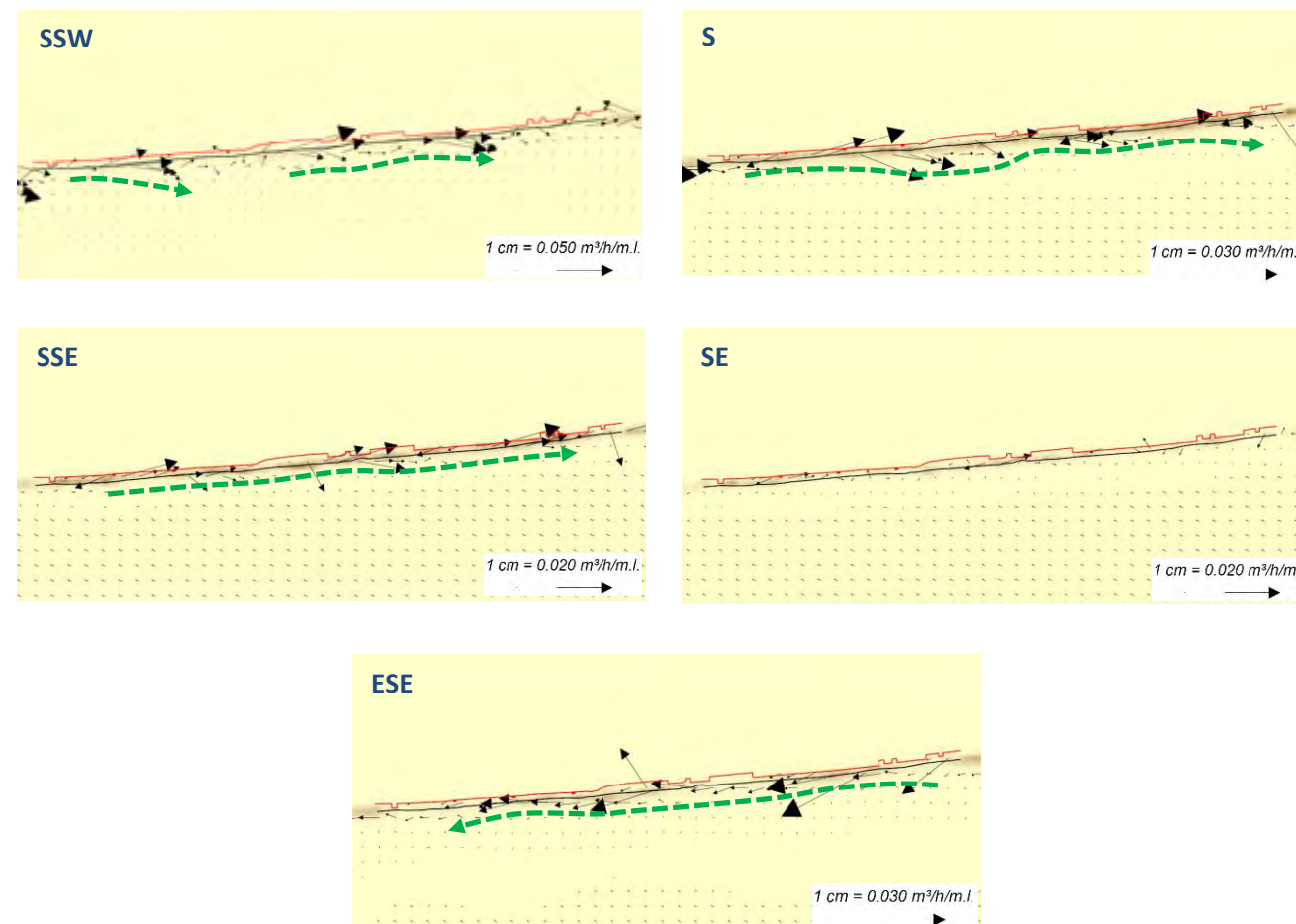


Figura 23. Vectores transporte de sedimentos correspondiente al oleaje morfológico

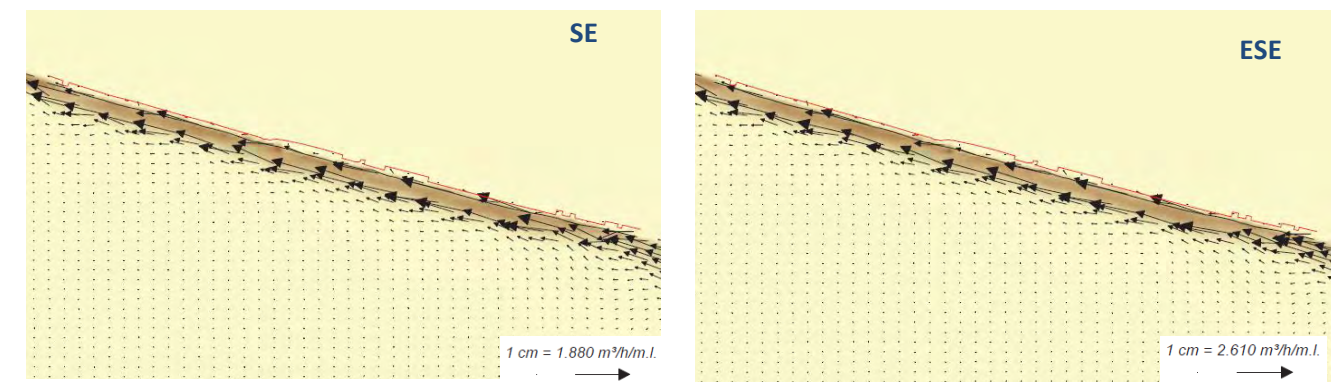
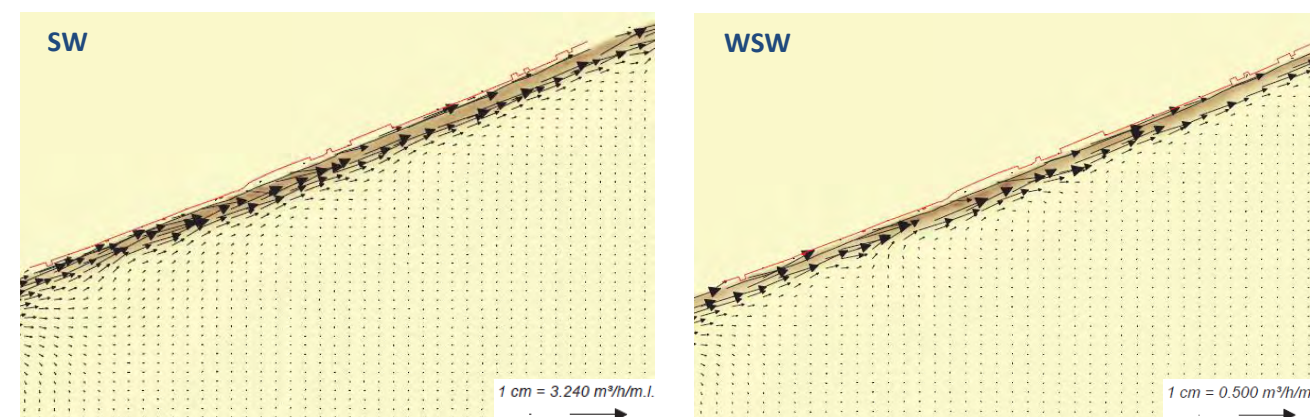


Figura 24. Vectores transporte de sedimentos correspondiente al oleaje  $H_{s12}$

Se ha realizado la integración espacial del campo de transporte de sedimentos (que presenta unidades de  $m^3/h/m$ ) a lo largo de dos perfiles transversales situados en los 2 extremos de la zona de estudio (P43 en el extremo de poniente y P3 en el extremo de levante), cuya ubicación puede apreciarse en la Figura 23, con objeto de poder calcular el transporte. Cada uno de los valores obtenidos para los 7 escenarios de oleaje analizados ha sido posteriormente ponderado por su frecuencia anual de presentación. Debe recordarse que el oleaje morfológico representa la energía de todos los oleajes y por tanto el valor de transporte de sedimentos obtenido sería representativo de un transporte medio. Los resultados obtenidos son los siguientes:

| m3/año            | HACIA EL E  | HACIA EL W | TOTAL NETO |
|-------------------|-------------|------------|------------|
| <b>Perfil P43</b> | -40,634.73  | 21,480.94  | -19,153.80 |
| <b>Perfil P3</b>  | -105,661.91 | 7.821,63   | -97,840.28 |

Tabla 10. Resultados del transporte de sedimentos obtenido con el programa EROS

Se observa que en el extremo de poniente de la zona de estudio el transporte longitudinal neto de sedimentos es de 20.000  $m^3/año$  en sentido W-E, mientras que en el extremo de levante donde las edificaciones se encuentran próximas a la línea de orilla, el transporte longitudinal neto de sedimentos es de unos 98.000  $m^3/año$  también en sentido W-E.

Debe tenerse en cuenta que este tipo de modelos de “corto plazo” son muy dependientes de la batimetría empleada en la modelación, de manera que cambios significativos en la misma pueden



suponer diferencias considerables en los resultados. Por todo ello su extrapolación para efectuar valoración a medio/largo plazo (por ejemplo, en la determinación del transporte medio anual) debe realizarse con cierta cautela. Asimismo, las tasas de transporte pueden variar de un año a otro, siendo muy elevadas durante años con fuertes temporales, y bajas durante años relativamente calmos (SPM, 1992).

No obstante lo anterior, los resultados obtenidos muestran una clara diferencia en la tasa de transporte litoral entre el extremo de poniente y el de levante siendo mucho más acusada en el extremo de levante, el cual se encuentra muy urbanizado. Esto pone de manifiesto que la playa no se encuentra en equilibrio existiendo una importante pérdida de material hacia levante.

## 6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA Y BALANCE SEDIMENTARIO

### 6.1. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

En las figuras a continuación se muestran diferentes fotografías aéreas de la zona de actuación entre los años 1973 y 2016, obtenidas de la base de datos del Instituto Nacional Geográfico.

En la primera fotografía (correspondiente al vuelo interministerial realizado entre los años 1973 y 1986) puede apreciarse que la costa apenas está urbanizada. En esa época, en la zona de Islantilla no se encuentra prácticamente ninguna edificación y La Antilla sí presenta viviendas en el interior formando un núcleo de población. No obstante, en ambas playas ya se pueden apreciar la existen de viviendas aisladas y muy próximas a la línea de costas, ubicadas sobre la arena de la playa. Estas construcciones pertenecían a los pescadores que se asentaron en la zona para trabajar como braceros en la pesca de arrastre y de la sardina que han convivido, durante más de un siglo con las familias que pasaban los meses estivales en la playa y que han fomentado que poco a poco este municipio haya ido creciendo dejando como huella la barriada de los pescadores de la actual playa lepera.

En las fotografías tomadas entre los años 2005 y 2016, se observa distintos anchos de playa debido a las regeneraciones que se han ido realizando en esta playa durante las últimas décadas. A partir de la construcción del dique de poniente de encauzamiento del río Guadiana los bajos asociados a su desembocadura han ido evolucionando: creciendo y moviéndose hasta alcanzar el estado actual. Esta

reordenación afectó a la playa de La Antilla provocando graves procesos erosivos. Ante esta situación, en 1990 se vertieron 1.300.000 m<sup>3</sup> en la playa de La Antilla y en 1997 fueron 330.000 m<sup>3</sup> en la playa de Islantilla. Durante el segundo semestre de 2002 la Dirección General de Costas realizó una nueva realimentación artificial de arena en la playa de la Antilla.



Figura 25. Playa de La Antilla-Islantilla entre los años 1973 y 1986



Figura 26. Playa de La Antilla-Islantilla. Vuelo fotogramétrico realizados entre los años 1980 y 1986



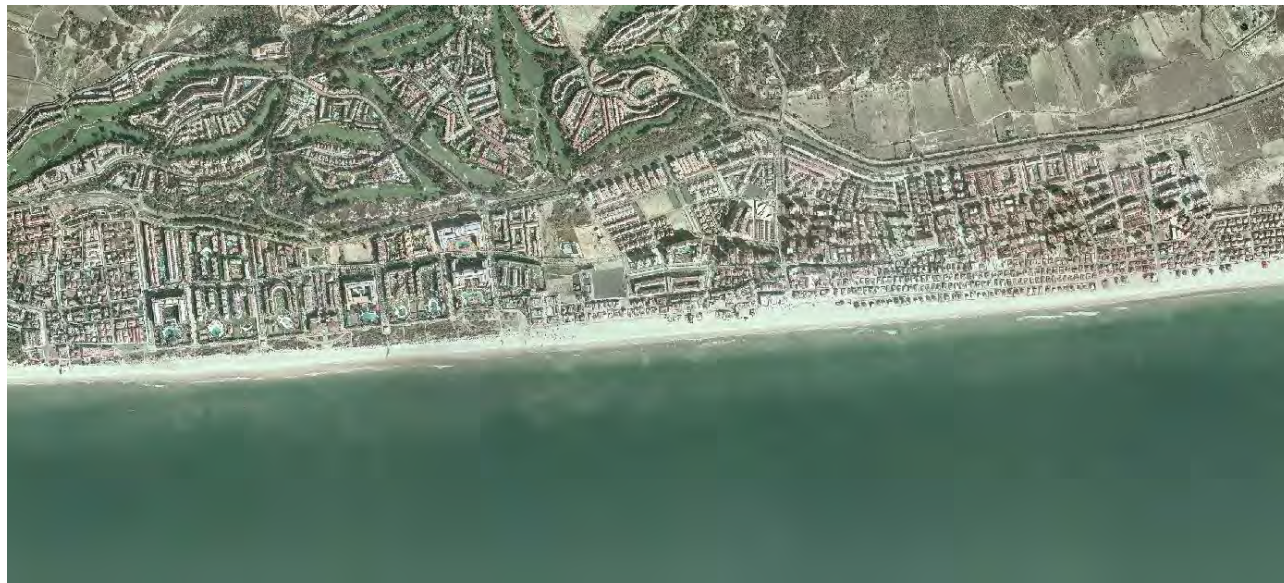


Figura 27. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2005

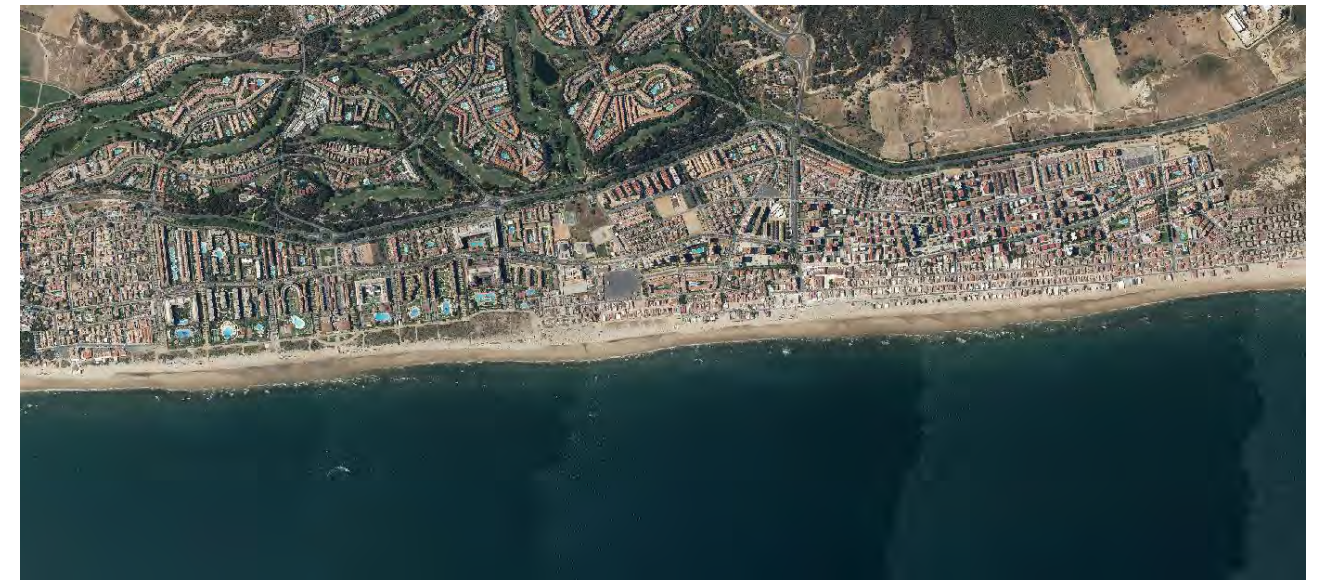


Figura 29. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2016

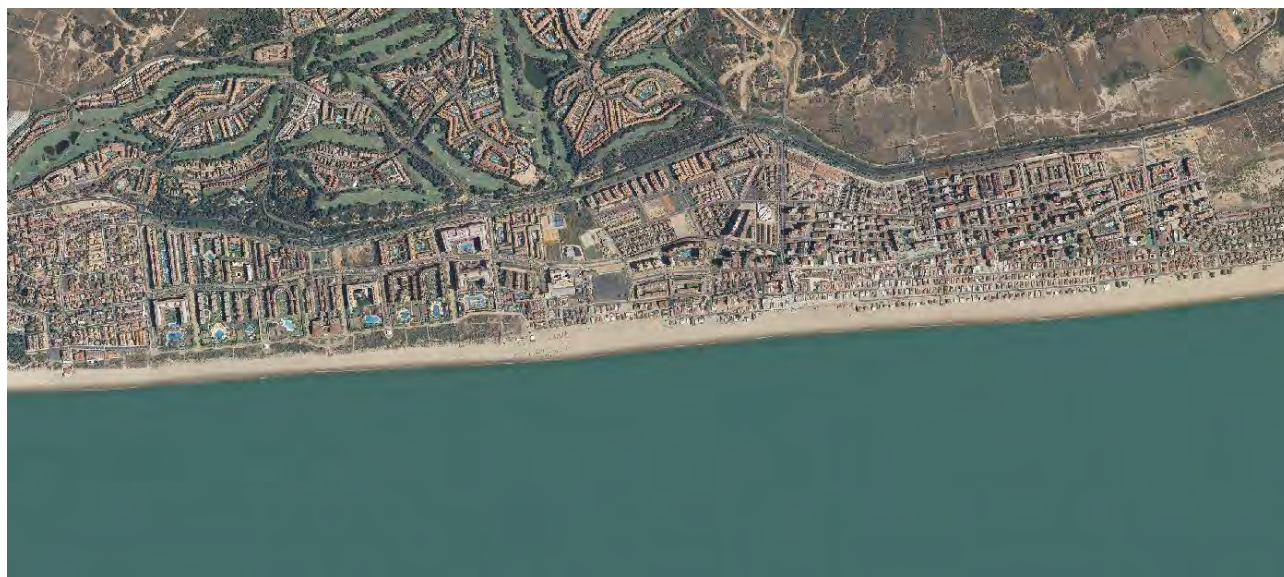


Figura 28. Playa de La Antilla-Islantilla. Año 2009

Mediante las imágenes satelitales mostradas en el apartado anterior, se ha analizado la evolución de la línea de pleamar viva observada. Como se muestra en la imagen a continuación, la línea de pleamar en el año 2013 se encuentra muy próxima a las construcciones.



Figura 30. Línea de pleamar viva en los últimos años



Considerando las líneas de pleamar mostradas en la figura anterior, se han estimado de manera orientativa la superficie de playa seca para cada año:

| Año  | Superficie aproximada (m <sup>2</sup> ) |
|------|---|
| 2005 | 204.000                                 |
| 2007 | 264.770                                 |
| 2009 | 300.391                                 |
| 2013 | 184.000                                 |

Tabla 11. Superficie de playa 2005 - 2013

Esta medición aproximada de referencia, que debe tomarse solamente como un valor cualitativo que refleja el retroceso que viene sufriendo la línea de orilla en los últimos años.

#### 6.1.1. Evolución futura de la línea de costa

Para analizar la evolución de la línea de costa a lo largo del tiempo en presencia del espigón proyectado se ha empleado el denominado “modelo de una línea”. Estos modelos son empleados para el análisis de playas en equilibrio dinámico, es decir, con transporte longitudinal no nulo.

Los modelos de una línea se fundamentan en el principio de conservación del volumen de arena entre dos perfiles de playa. Si la cantidad de material que ha sido introducida entre dichos perfiles es mayor que la que ha salido, la línea de costa avanza hacia el mar y viceversa.

Para poder aplicar el modelo de una línea es necesario aceptar las siguientes hipótesis:

- Los procesos de erosión o de crecimiento del litoral consisten en desplazamientos horizontales, hacia tierra o hacia la costa, respectivamente, del perfil transversal. (Figura 31).
- Los movimientos de sedimento suceden en una porción limitada del perfil. La frontera superior es la berma activa de la playa y la inferior es una cota suficientemente profunda a partir de la cual no se produce movimiento significativo de material (profundidad de cierre).

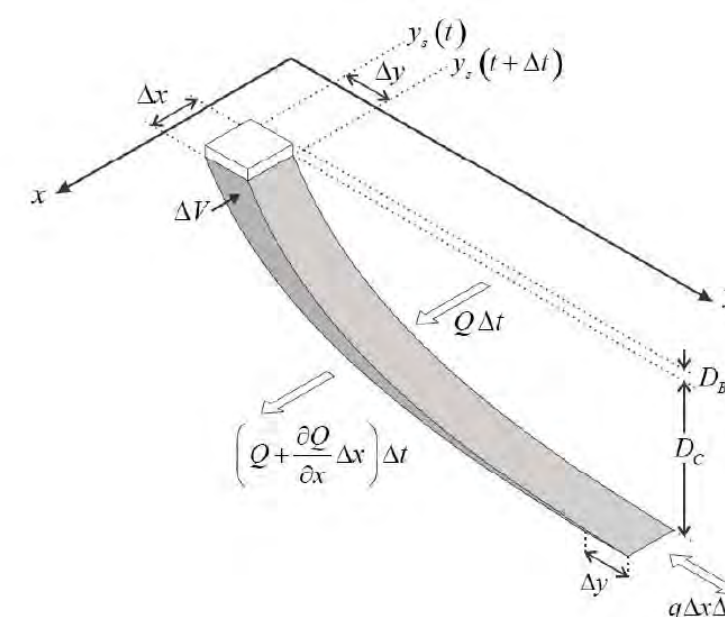


Figura 31. Esquema geométrico de la evolución de la línea de costa

La evolución de la línea de costa ante una barrera litoral o espigón viene dada por la siguiente expresión:

$$y(x, t) = \left( \sqrt{\frac{4Gt}{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Gt}\right) - |x| \operatorname{erfc}\left(\frac{|x|}{\sqrt{4Gt}}\right) \right) \tan \delta_b$$

Donde:

- G es el coeficiente de difusión que mide la escala temporal de los cambios de la línea de costa ante una perturbación (acción del oleaje).
- x,y,t ejes longitudinal, transversal y tiempo.
- $\delta_b$  es el ángulo de incidencia del oleaje.

#### 6.1.2. Resultados

Mediante el programa MATLAB, se ha integrado la fórmula anterior y se ha calculado la evolución de la línea de costa ante distintos oleajes incidentes, teniendo en cuenta las características geométricas del espigón proyectado, así como la profundidad de cierre del perfil y la altura de berma.

El gráfico a continuación muestra los resultados obtenidos para un oleaje medio con un ángulo de incidencia S3W. Tal y como se ha estudiado, el Flujo Medio de Energía incide con un ángulo que varía

entre 10 y 1 grados a lo largo de la línea de costa. En los puntos del extremo oriental de la playa, hacia el espigón proyectado, se tenía una incidencia de aproximadamente  $-3^\circ$ .

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

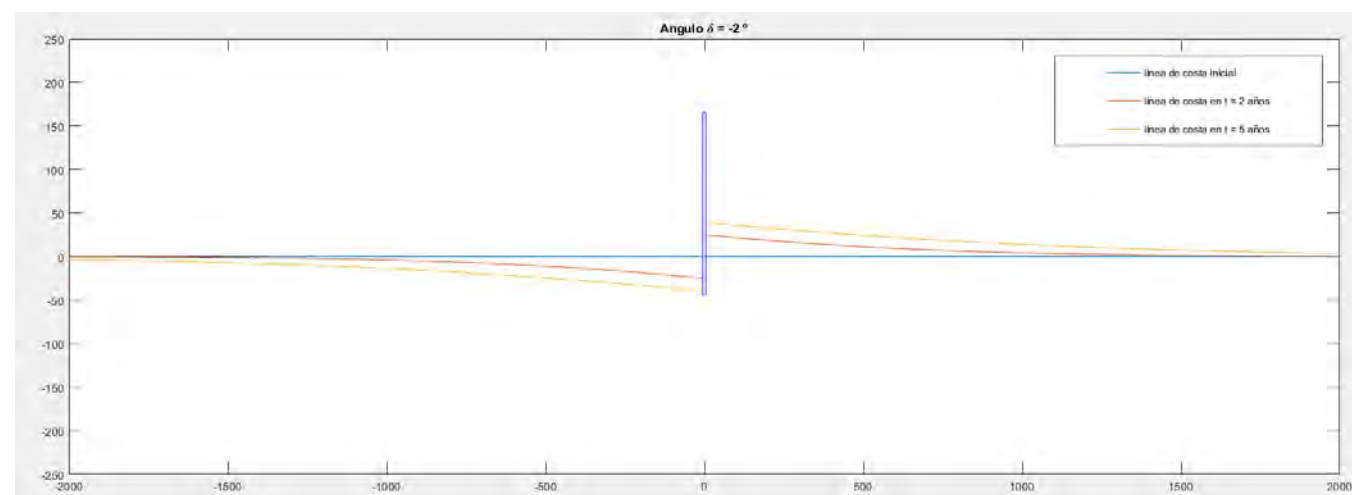


Figura 32. Evolución de la línea de costa. Oleaje incidente  $-3^\circ$

A continuación, se muestra la superposición de las salidas gráficas del modelo de una línea sobre imagen satelital de la zona de estudio junto con el espigón proyectado. Se observa el avance de la línea de orilla en la cara oeste del espigón, y el posible retroceso en la cara este. Se proyecta el espigón con resguardo suficiente de manera que la erosión producida nunca llegue a desconectarlo de la tierra.



Figura 33. Evolución de la línea de costa

En la figura anterior se observa que el área de influencia del espigón se extiende unos 900 m a ambos lados del espigón para una simulación de 5 años. El tramo de costa más beneficiado de la presencia del espigón es el tramo urbanizado que, a su vez, es el tramo donde actualmente tiene lugar la mayor erosión, por lo que el espigón contribuirá sustancialmente a la estabilización de esta zona de playa. La mitad occidental de la playa, donde se encuentra el cordón dunar, tiene una tasa de transporte menor, del orden de  $20.000 \text{ m}^3/\text{año}$ , por lo que su ritmo de erosión es más lento y podrá ser compensado con el material retenido.

Cabe destacar que la posición de la línea de orilla en un horizonte de 5 años es difícil que se alcance puesto que el material que se irá acumulando a barlomar será empleado para retroalimentaciones de la propia playa y perfilado de ésta según la necesidad. La función principal de este espigón no es el avance de la línea de orilla propiamente si no frenar la pérdida de material ocasionada por el arrastre longitudinal de sedimentos. El material que se irá depositando en el espigón será material procedente de la zona occidental de la playa por lo que el material aquí depositado tendrá que ser redistribuido periódicamente para evitar que la erosión en el tramo occidental avance. De este modo se evita tener que recurrir a fuentes externas de aportación de material y, además, se asegura la duración en el tiempo de los volúmenes vertidos.

De acuerdo al Shore Protection Manual (elaborado por US Army Corps of Engineers) la capacidad de retención de material de un espigón depende de la relación entre la profundidad de éste y el nivel mínimo del agua (BMVE): para profundidades mayores a 3 m el 100% del transporte longitudinal será retenido mientras que para profundidades comprendidas entre 1,2 y 3,0 m será retenido el 75%. En nuestro caso el pie del espigón se ha proyectado hasta la cota  $-2.50 \text{ m}$  (CA); teniendo en cuenta que la bajamar se encuentra a la cota  $-1.50 \text{ m}$  (CA), se tiene una profundidad de agua de 1 m por lo que la retención del transporte será menor al 75%.

En la modelación realizada se ha obtenido que durante los dos primeros años el material retenido será aproximadamente  $94.345 \text{ m}^3$ , de donde se deduce que la acumulación anual será del orden de  $47.000 \text{ m}^3/\text{año}$ . Teniendo en cuenta la tasa de transporte calculada anteriormente de  $100.000 \text{ m}^3/\text{año}$ , se tiene una retención del 47%.

## 6.2. BALANCE SEDIMENTARIO

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 10 se concluye que el balance sedimentario en esta zona es de 100.000 m<sup>3</sup>/año sentido W-E, y tras las modelaciones realizadas se tiene que la presencia del espigón retendrá aproximadamente el 47% (47.000 m<sup>3</sup>/año).

Se reitera, no obstante, que estos valores se han obtenido a partir de un tamaño de sedimento D<sub>50</sub> = 0,32 mm y una batimetría determinada. No obstante, tal y como se ha explicado anteriormente, en esta zona se han realizado rellenos de emergencia en los últimos meses por lo que es posible que la granulometría, así como la topobatimetría de la zona haya cambiado respecto a los datos de campo tomados en 2016 y el balance sedimentario actual sea diferente con la nueva granulometría.

## 7. DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Reglamento General de Costas (aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre) especifica en su artículo 93 que el Estudio de Dinámica Litoral incluirá un estudio de las dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.

En el **Anejo 12 Cambio Climático** del presente proyecto se ha llevado a cabo un estudio para la evaluación de los efectos del cambio climático en la zona de estudio. Dicho estudio se ha realizado a partir de la información disponible en el punto 079 del estudio Cambio Climático en la Costa Española (C3E) de la Oficina Española de Cambio Climático y ejecutado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria) en el marco de la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático.

Para un escenario B1 y un periodo de 50 años, tal y como recoge el Reglamento de costas, la variación absoluta de los principales factores de cambio relacionados con el clima, son:

- **HS<sub>media</sub>** (incremento de la altura de la ola significativa): **-0,9 cm.**
- **HS<sub>12</sub>** (incremento de la altura de la ola significativa asociada a 12 horas): **-4,6 cm.**
- **Dir<sub>Fe</sub>** (incremento de la dirección media del flujo de energía del oleaje): **-2,65 °**
- **MM<sub>50</sub>** (incremento de la marea meteorológica asociada a TR 50 años): **-2,03 cm.**
- **A<sub>η</sub>** (Incremento del nivel medio del mar): **16,50 cm.**

La modificación del clima marítimo en la zona de estudio (representada por estos últimos valores) se traduce fundamentalmente en los siguientes efectos:

- Variación de la Cota de Inundación (ΔCI).
- Retroceso de la playa como consecuencia del incremento del nivel del mar (RE1).

A partir de los datos obtenidos se pueden calcular estos efectos.

### 7.1. VARIACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN

La **variación de la cota de inundación de la playa** puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta CI = \Delta MM + \Delta \eta + 0,0396 \cdot (gT^2/2\pi)^{0,5} \cdot \Delta H_s/H_s^{0,5}$$

Donde obtendríamos:

| Variación de la cota de inundación |              |           |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| ΔMM                                | -2.030       | cm        |
| Δη                                 | 16.500       | cm        |
| Hs2%                               | 2.800        | m         |
| Tp                                 | 6.905        | s         |
| ΔHs                                | 4.600        | cm        |
| <b>ΔCI</b>                         | <b>14.91</b> | <b>cm</b> |

### 7.2. MÁXIMO RETROCESO DE LA PLAYA DEBIDO AL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR

El máximo retroceso de la playa debido al incremento del nivel del mar puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$RE_1 = \Delta \eta \cdot (1,57 \cdot H_{s12})^{1,5} \cdot (0,51 \cdot w^{0,44})^{-1,5} / (1,57 \cdot H_{s12} + B)$$

Donde obtendríamos:

| Retroceso máximo de la playa | RE <sub>1</sub> |
|------------------------------|-----------------|
| D <sub>50</sub>              | 0.500 mm        |
| w                            | 0.068 m/s       |
| B                            | 2.500 m         |
| H <sub>512</sub>             | 3.500 m         |
| RE <sub>1</sub>              | 4.29 m          |

Hay que tener en cuenta que la medida de retroceso de la playa es un valor medio para una playa abierta como es el caso de La Antilla-Islantilla.

### 7.3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Los resultados obtenidos de los factores que influyen en la playa con los cambios que se prevén del cambio climático deberán ser tenidos en cuenta para las futuras actuaciones sobre la misma. El incremento de la anchura de la playa que se proyecte debe ser mayor que a los valores obtenidos de retroceso para que la situación a 50 años no sea peor que la situación actual de la playa. Con las aportaciones de arena se espera obtener una anchura de playa de 70 metros que restando el retroceso de la línea de orilla calculado sigue quedando un ancho superior a 60 m. Este retroceso de la playa junto con el aumento de la cota de inundación afectará a las edificaciones que actualmente se encuentran en primera línea de La Antilla, dentro del DPMT, la cuales ya en la actualidad son alcanzadas por los temporales.

Con respecto al espigón, éste se ha proyectado rebasable con una cota de coronación en arranque 30 cm sobre la línea de pleamar actual y 2,35 metros por encima del nivel medio del mar. Con la subida del nivel medio prevista para esta zona de casi 15 cm, el espigón, que tiene una vida útil de 25 años continuará cumpliendo su función en las corrientes marinas para reducir el transporte longitudinal de sedimento de la playa.

## 8. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS

### 8.1. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS

Con objeto de cubrir las necesidades del proyecto en cuanto a escollera y todo uno, se han localizado cinco canteras, la mayoría de las cuales, exceptuando una en materiales volcánicos, están explotando grauvacas del carbonífero.

Las características más relevantes de las canteras estudiadas se resumen en la siguiente tabla:

| Denominación       | Material | Reservas                         | Distancia a la obra | Localidad   | Productos   |
|--------------------|----------|----------------------------------|---------------------|-------------|---|
| SARAPICO           | Grauvaca | Ilimitadas a efectos de proyecto | 25 Km               | Cartaya     | Todo uno, zahorra artificial, suelos seleccionados, escollera     |
| MEBIONUBA          | Grauvaca | Ilimitadas a efectos de proyecto | 25,5 Km.            | Cartaya     | Todo uno, Zahorra artificial, escollera                           |
| EL CAMPILLO        | Diabasa  | Ilimitadas a efectos de proyecto | 42 km               | Niebla      | Zahorra artificial, zahorra natural, todo uno, gravas, escolleras |
| PEDRAZA            | Grauvaca | Ilimitadas a efectos de proyecto | 19,3 km             | Villablanca | Zahorra artificial, zahorra natural, todo uno                     |
| FUENTE DE LA ZORRA | Grauvaca | Ilimitadas a efectos de proyecto | 43 km               | Gibraleón   | Escolleras, todo uno, zahorra natural, zahorra artificial         |

Tabla 12. Relación de canteras próximas al área de estudio

En el **Anejo 04. Geología y geotecnia** se incluye un análisis detallado de las canteras propuestas.

### 8.2. PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASE DE ARENAS

Para la aportación de arena se prevé la realización de dragados del fondo marino en un yacimiento ubicado frente a Punta Umbría, a profundidades de entre 8 y 12 m.



Sobre este yacimiento se han realizado análisis granulométricos, así como de materia orgánica y de calidad de los sedimentos, resultando favorable para su aporte a playas. El informe correspondiente con las características del sedimento y análisis realizados se adjunta en el **Anejo 08. Búsqueda y caracterización de préstamos** del presente proyecto.

## 9. PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

En el Estudio de Impacto Ambiental que acompaña el proyecto se analizan los impactos sobre el medio marino, así como las correspondientes medidas mitigadoras, correctoras y compensatorias.

## 10. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS

Se propone como medida de seguimiento de las actuaciones el levantamiento topo-batimétrico de la playa. Estos levantamientos se realizarán antes del inicio de las obras y pasados 1, 2 y 3 años, con objeto de poder analizar el eventual impacto. Para evitar desajustes estacionales en estos perfiles, deberán ser tomados preferiblemente en el mismo mes.

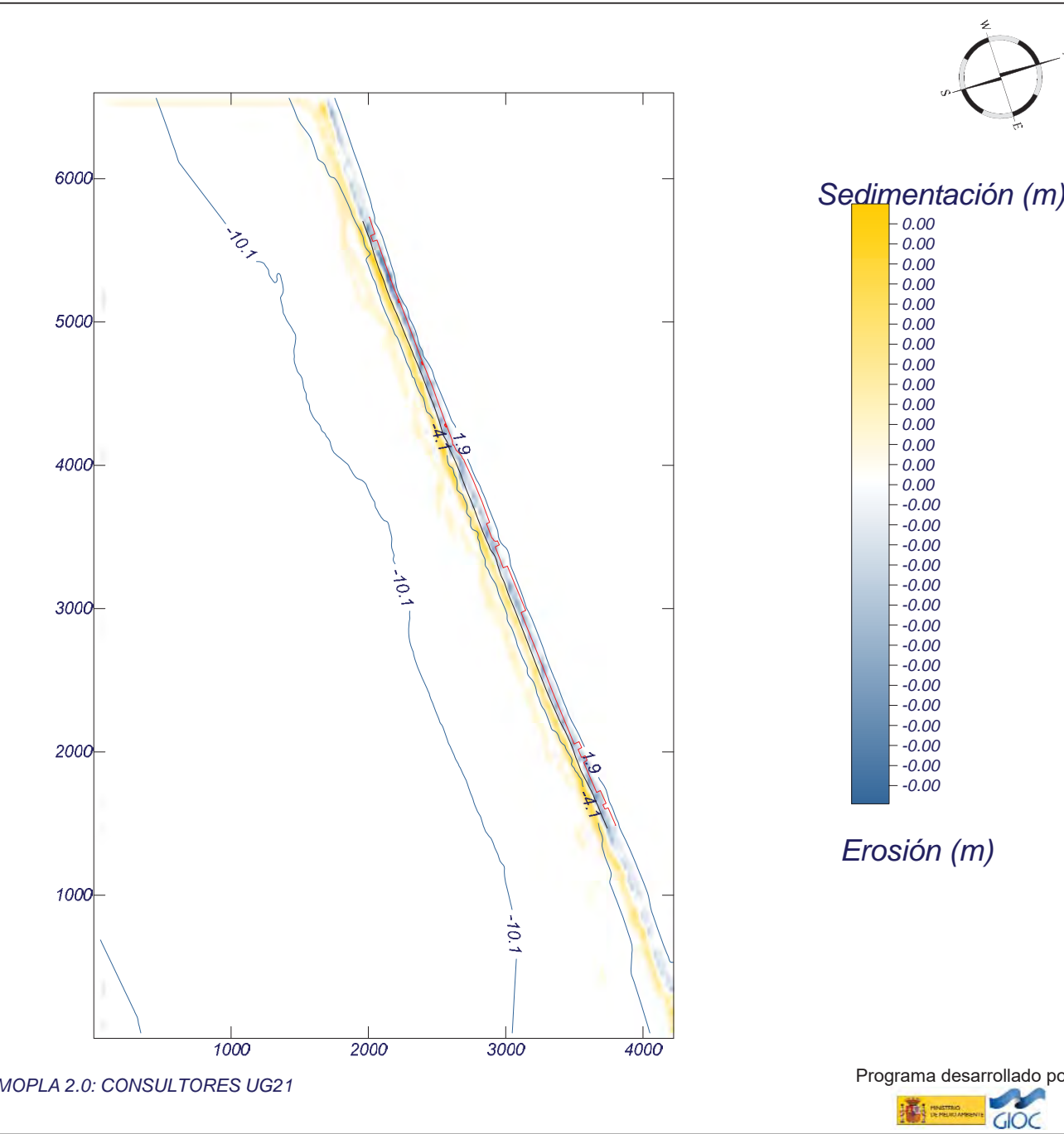
Respecto a los ambientales, el seguimiento se realizará tal y como se indica en el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) que acompaña el Estudio de Impacto Ambiental del presente proyecto.

## APÉNDICE I: RESULTADOS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

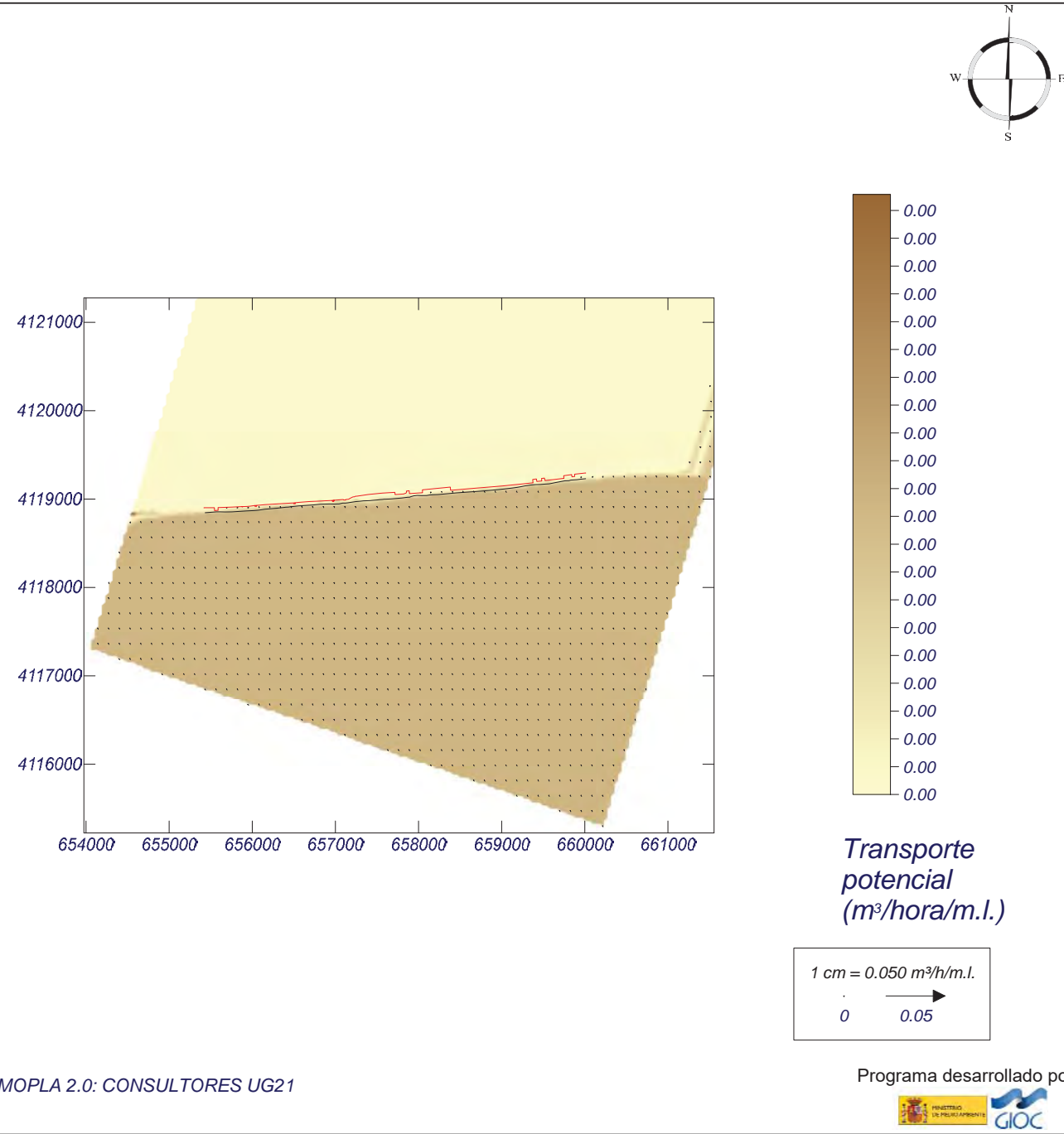
|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M301<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>01:</b> WSW Hsmorf = 0.58 m | Características de la simulación   |  |  |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 0.58 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.183 Hz (Tp: 5.46448 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -42° (S60.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M301<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>01:</b> WSW Hsmorf = 0.58 m | Características de la simulación   |  |  |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 0.58 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.183 Hz (Tp: 5.46448 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -42° (S60.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |

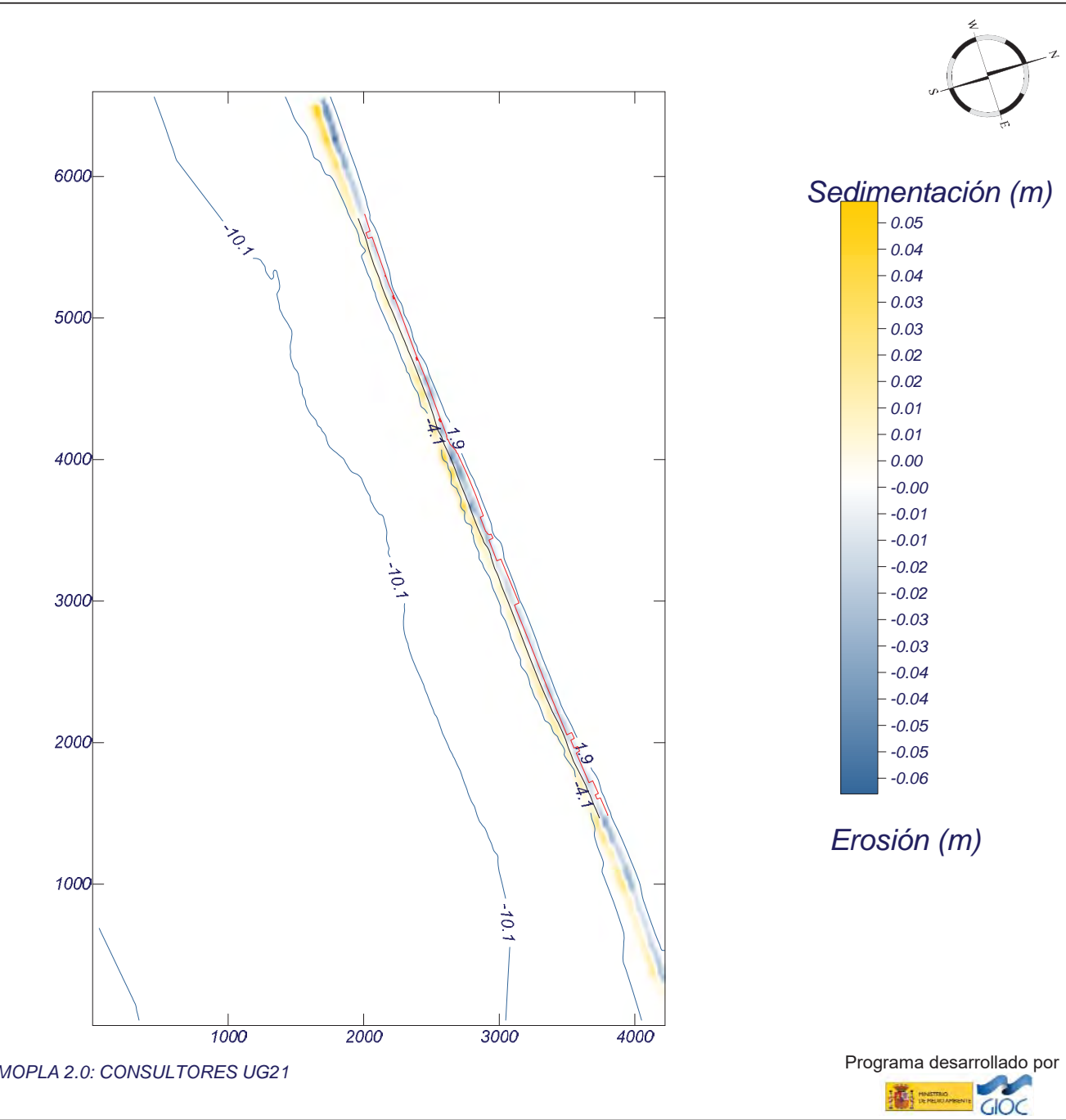




Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

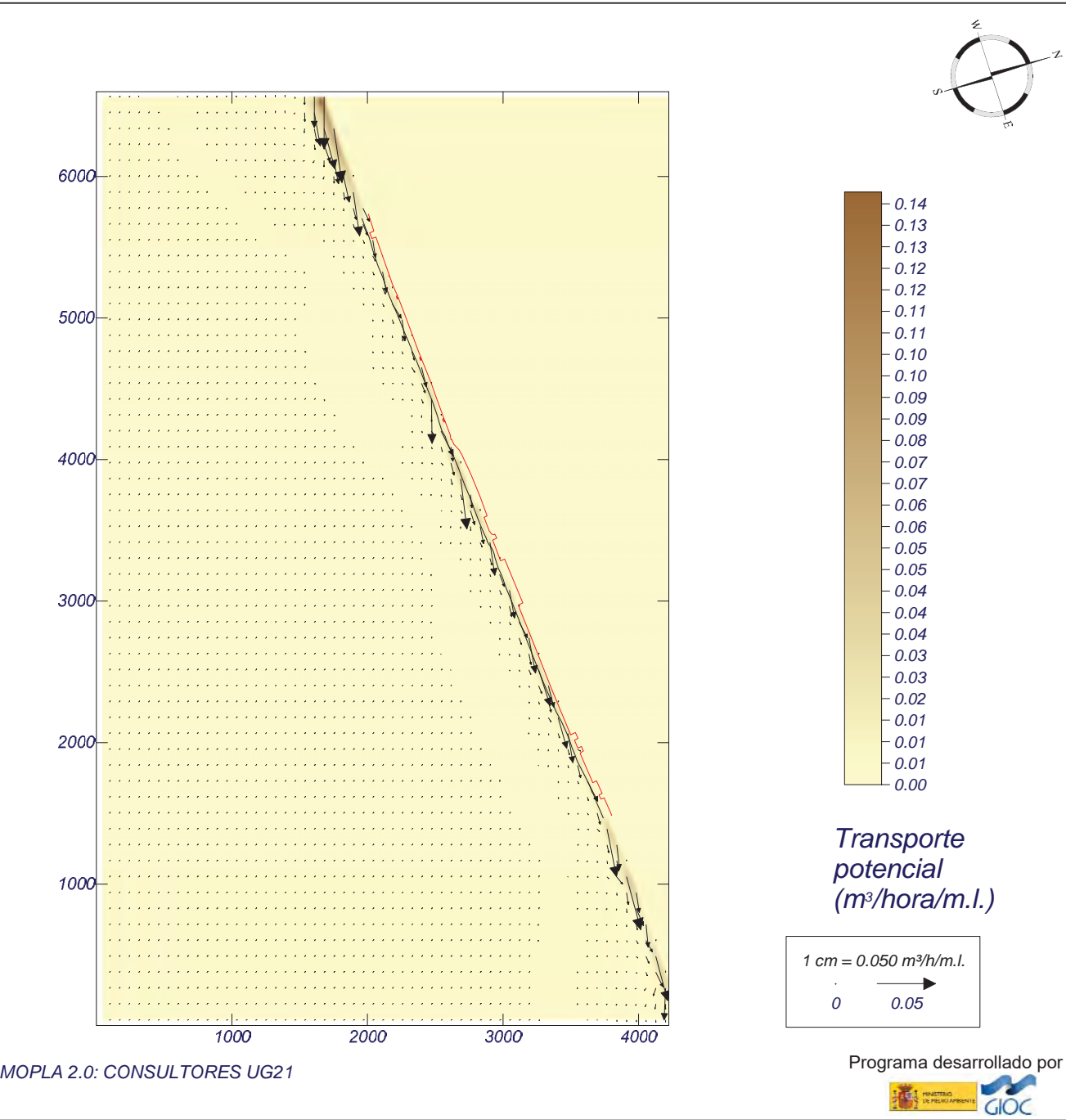
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M302<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>02:</b> SW Hsmorf = 1.23 m | Características de la simulación   |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.23 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.165 Hz (Tp: 6.06061 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -27° (S45.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

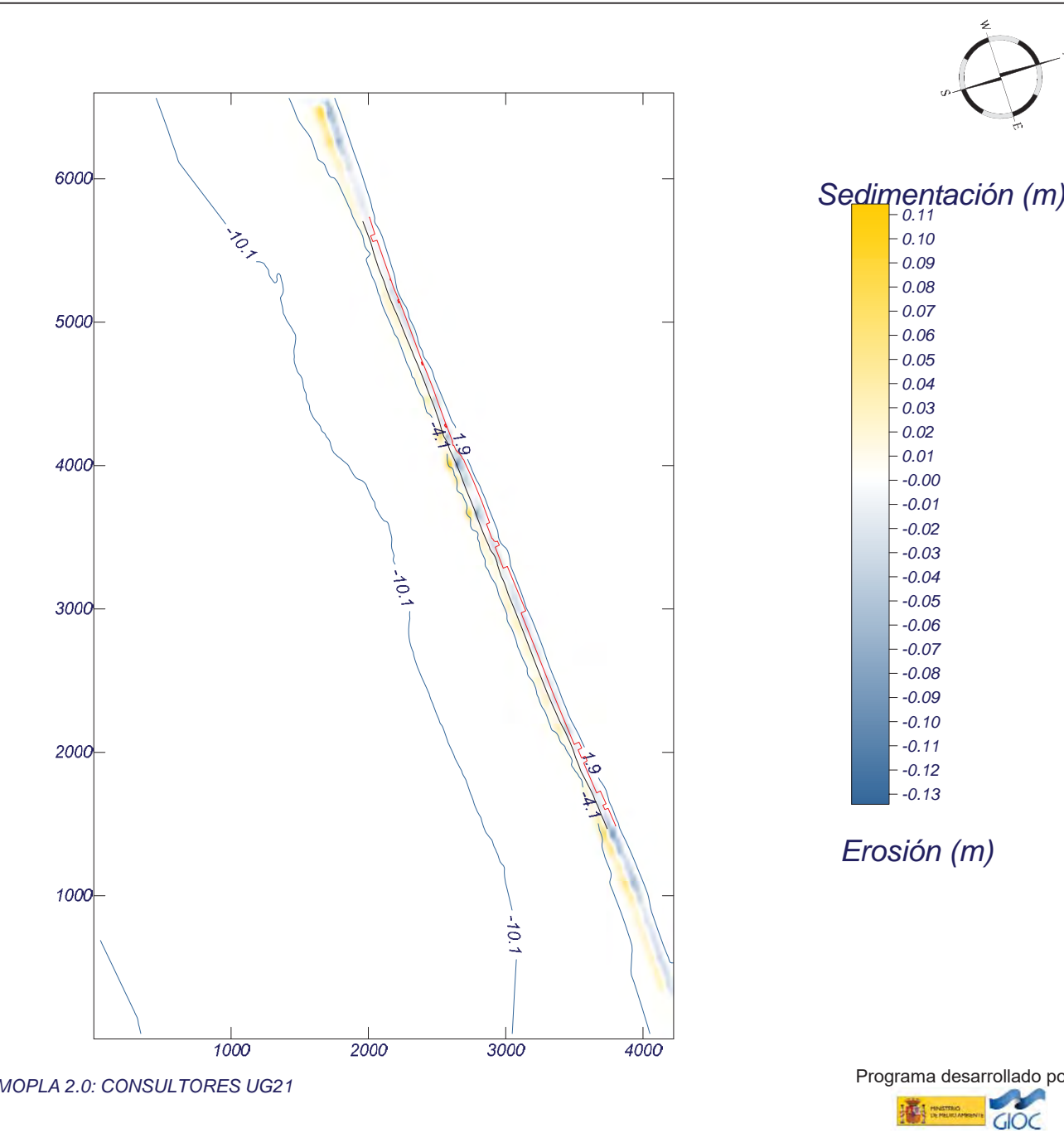
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M302<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>02:</b> SW Hsmorf = 1.23 m | Características de la simulación   |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.23 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.165 Hz (Tp: 6.06061 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -27° (S45.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

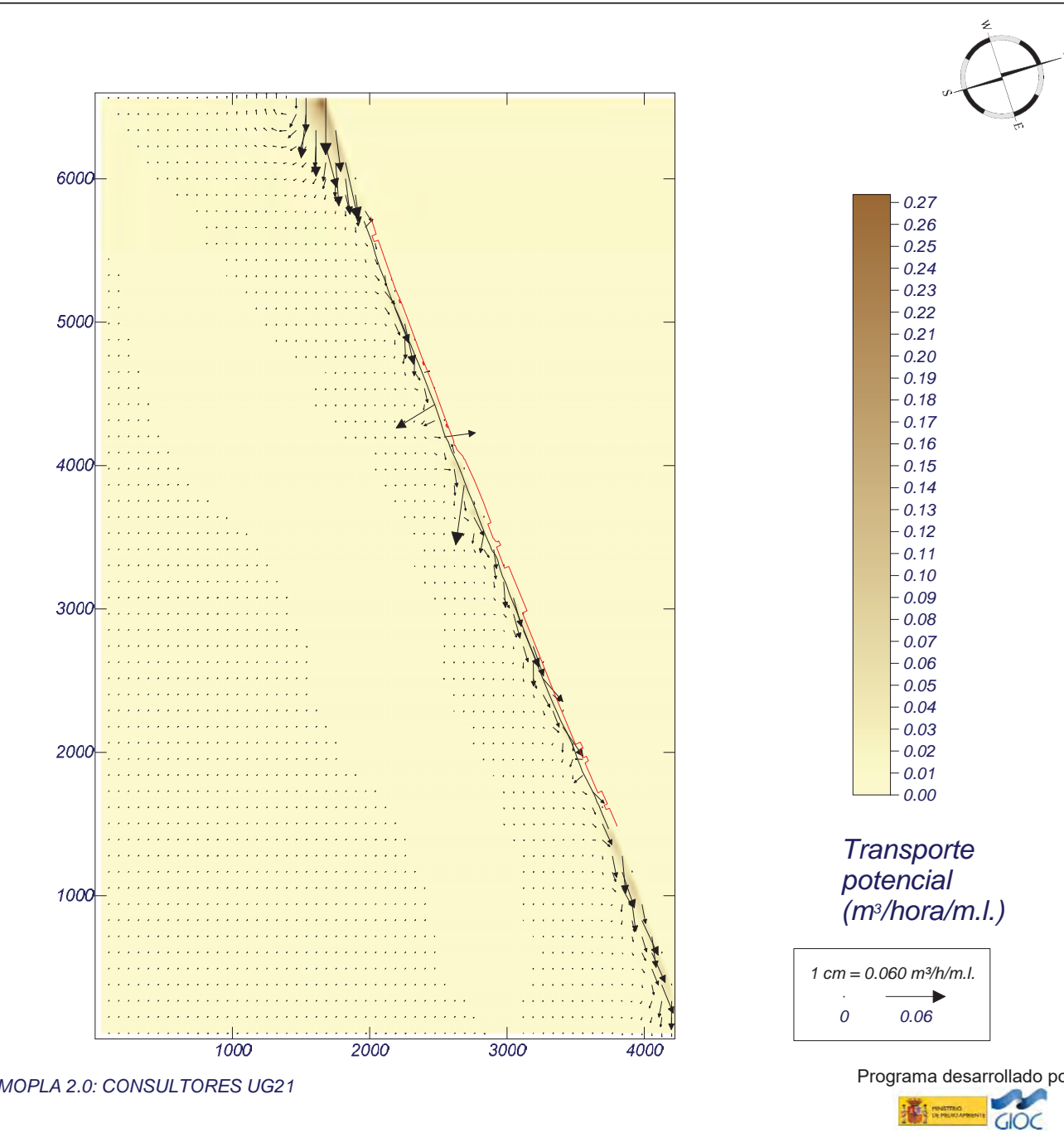
|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Caso espectral: M303</b><br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>03:</b> SSW Hsmorf = 1.50 m | Características de la simulación   |  |  |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.5 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.158 Hz (Tp: 6.32911 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

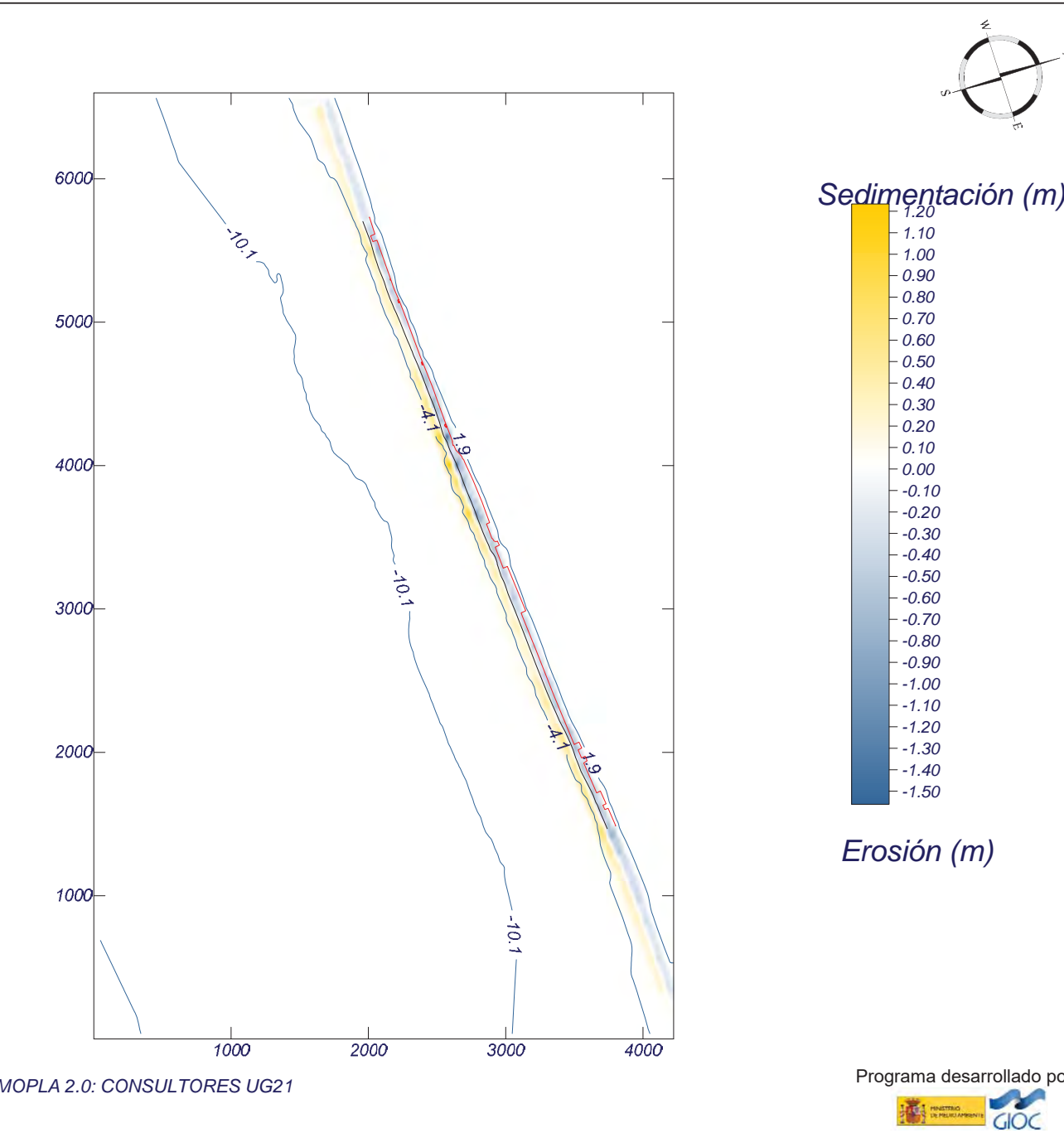
|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Caso espectral: M303</b><br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>03:</b> SSW Hsmorf = 1.50 m | Características de la simulación   |  |  |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.5 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.158 Hz (Tp: 6.32911 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

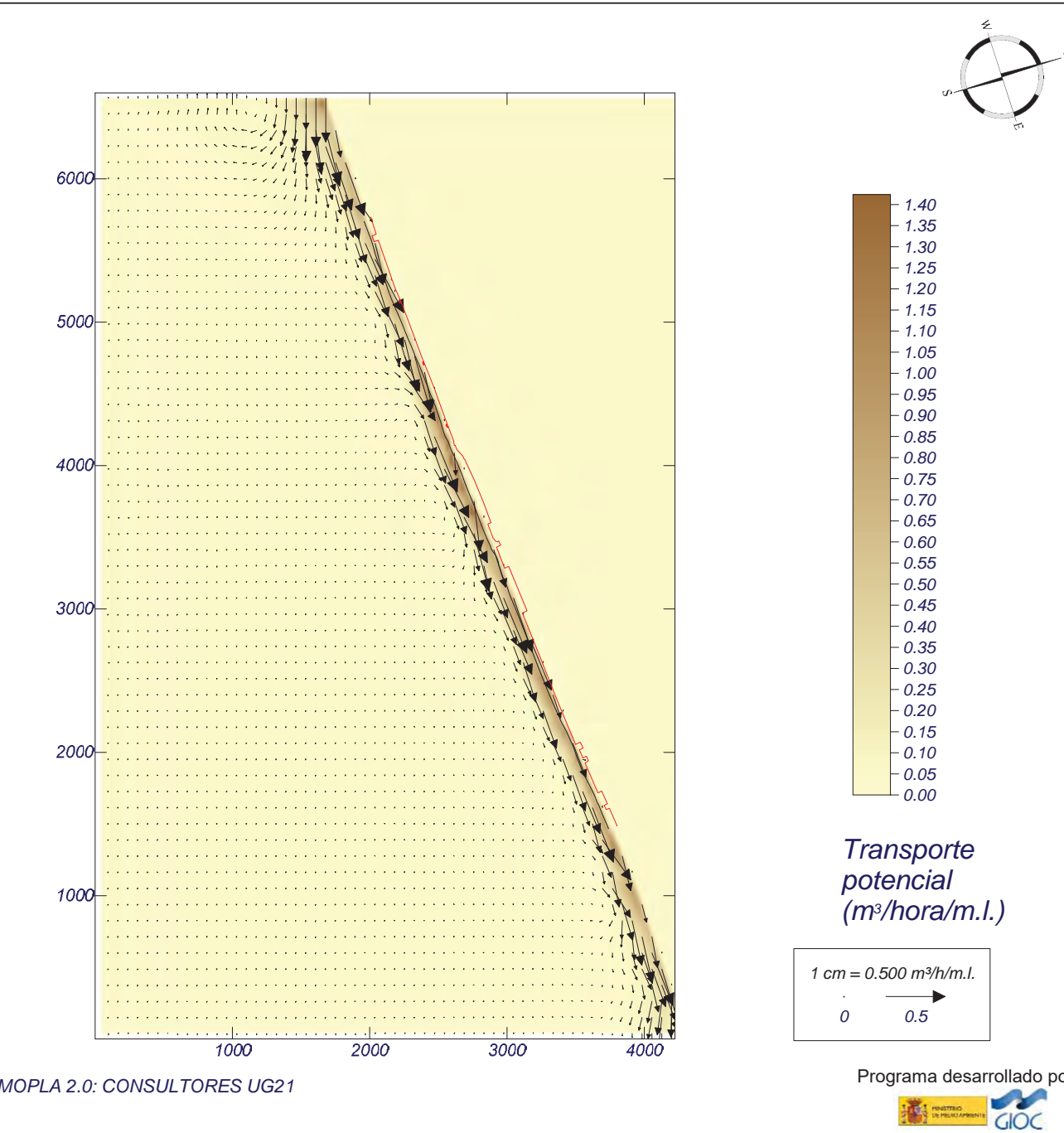
|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M311<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>11:</b> WSW Hs12 = 2.50 m | Características de la simulación  |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 2.5 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.135 Hz (Tp: 7.40741 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -42° (S60.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M311<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>11:</b> WSW Hs12 = 2.50 m | Características de la simulación  |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 2.5 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.135 Hz (Tp: 7.40741 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -42° (S60.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |

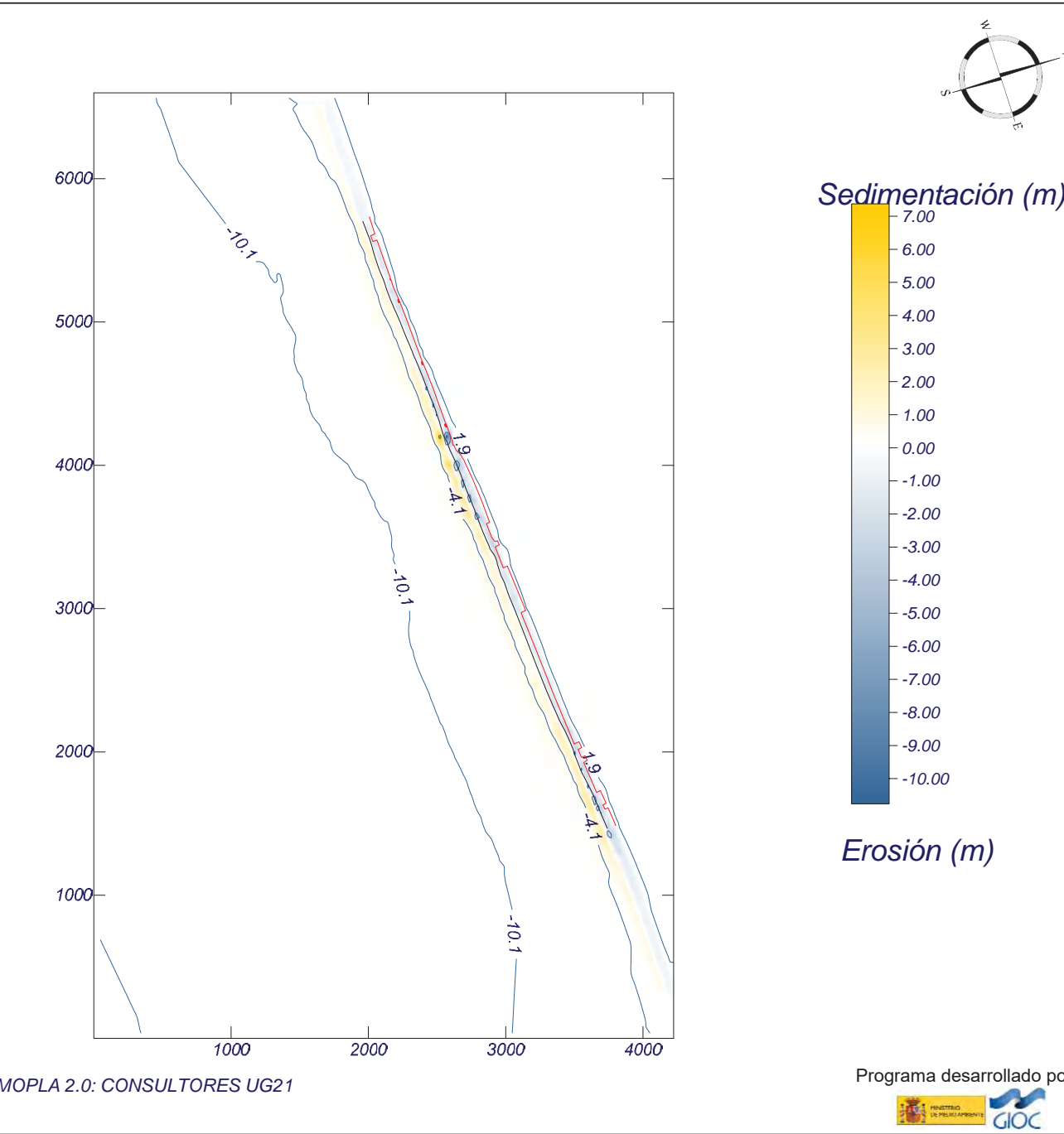




Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

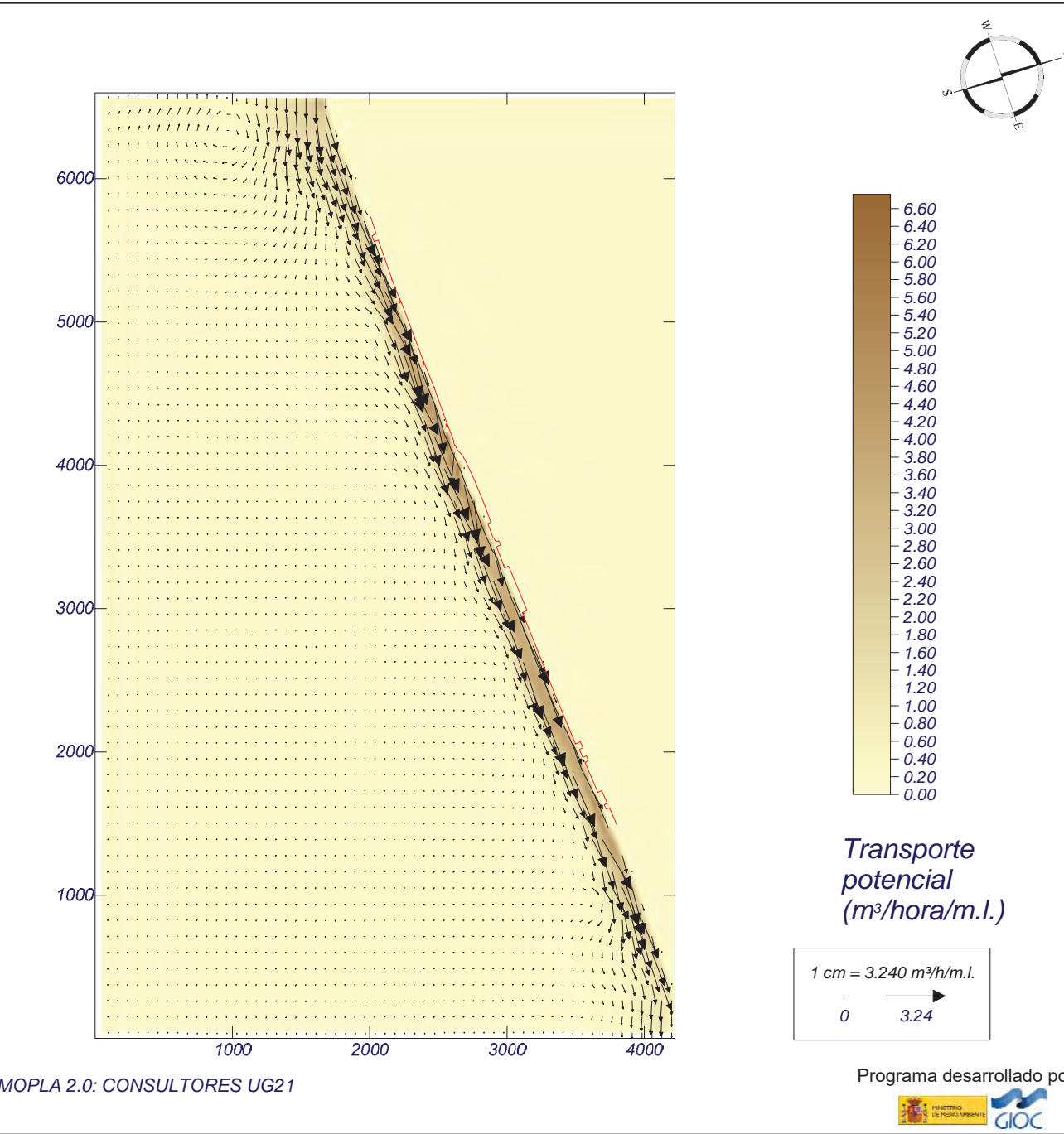
|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M312<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>12:</b> SW Hs12 = 4.00 m | Características de la simulación  |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 4 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.106 Hz (Tp: 9.43396 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -27° (S45.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

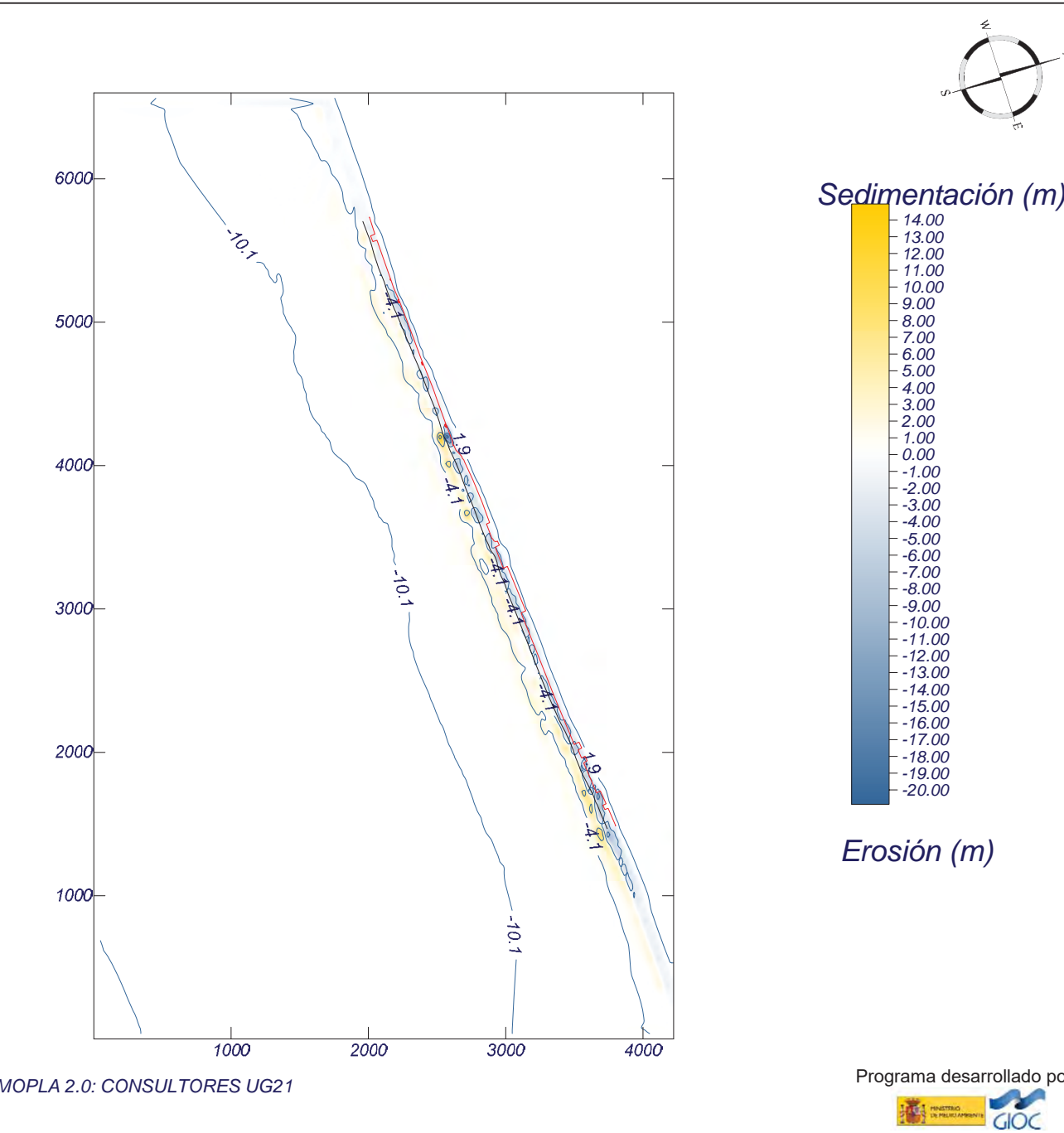
|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M312<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>12:</b> SW Hs12 = 4.00 m | Características de la simulación  |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 4 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.106 Hz (Tp: 9.43396 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -27° (S45.0W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

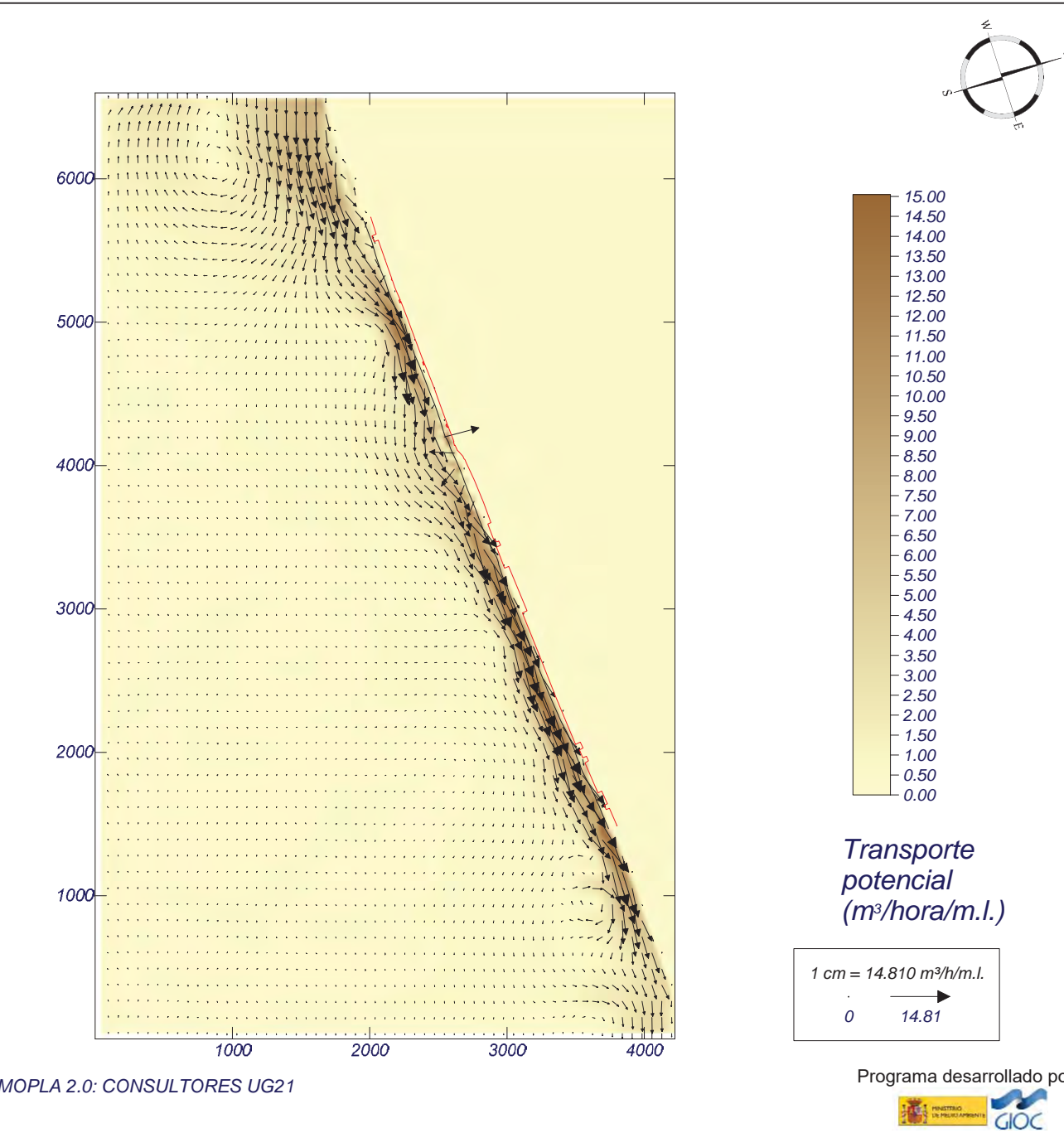
|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Caso espectral: M313</b><br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>13:</b> SSW Hs12 = 6.28 m | Características de la simulación  |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 6.28 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.073 Hz (Tp: 13.6986 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

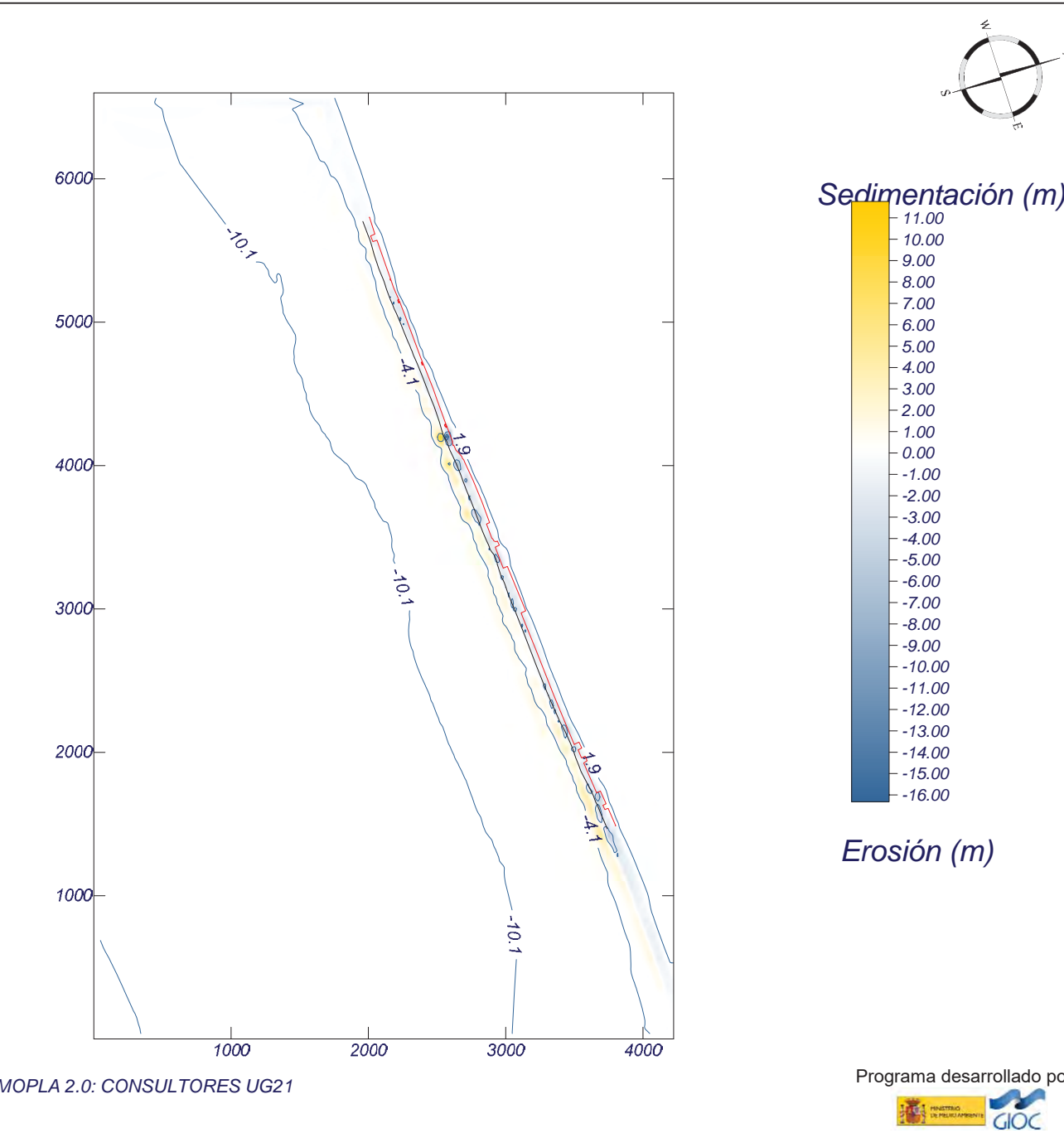
|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Caso espectral: M313</b><br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>13:</b> SSW Hs12 = 6.28 m | Características de la simulación  |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 6.28 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.073 Hz (Tp: 13.6986 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

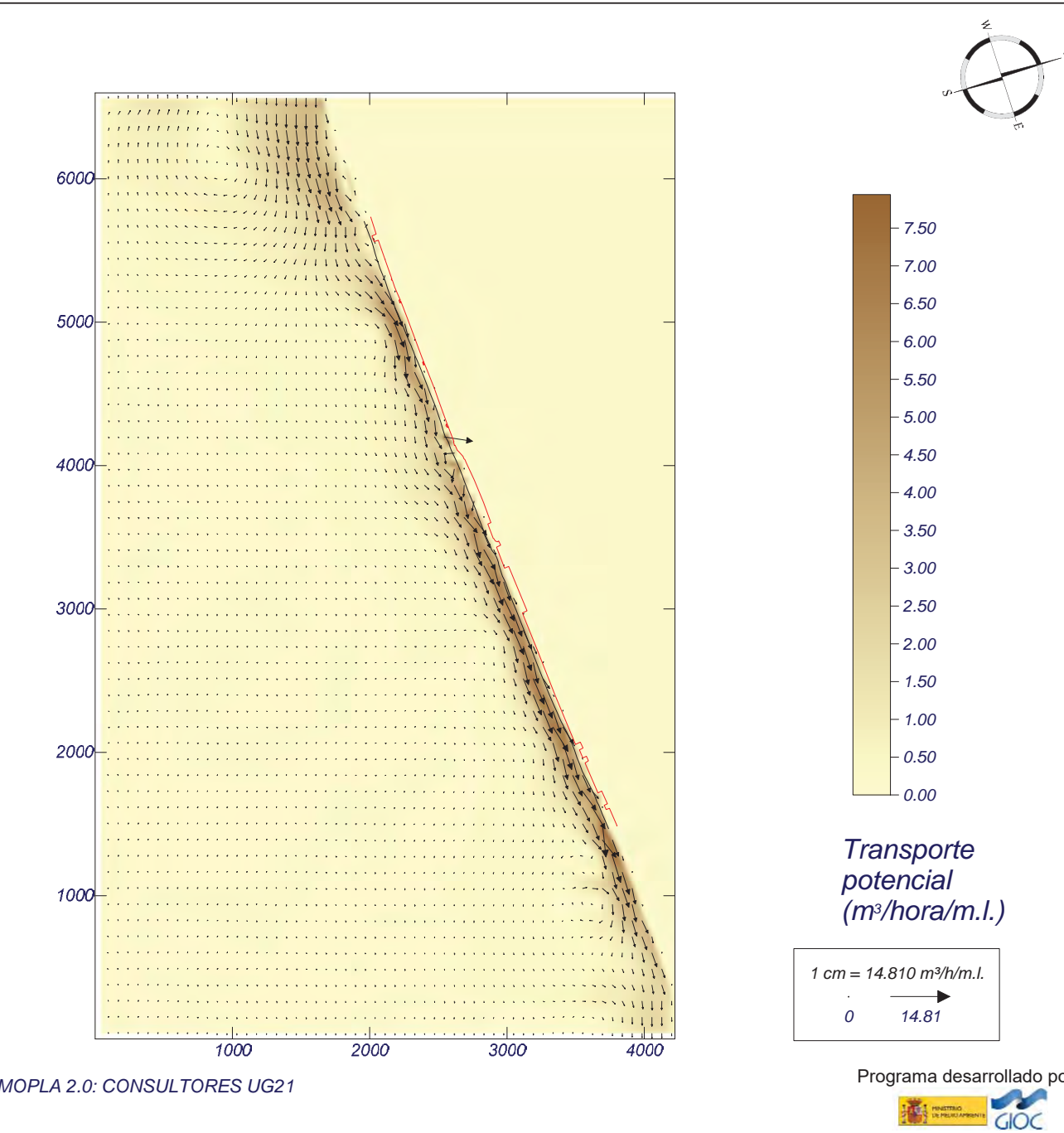
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M323<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>23:</b> SSW Hext = 6.81 m PM | Características de la simulación   |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>Caso espectral:</b> M323<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>23:</b> SSW Hext = 6.81 m PM | Características de la simulación   |  |  |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i> Soulsby |

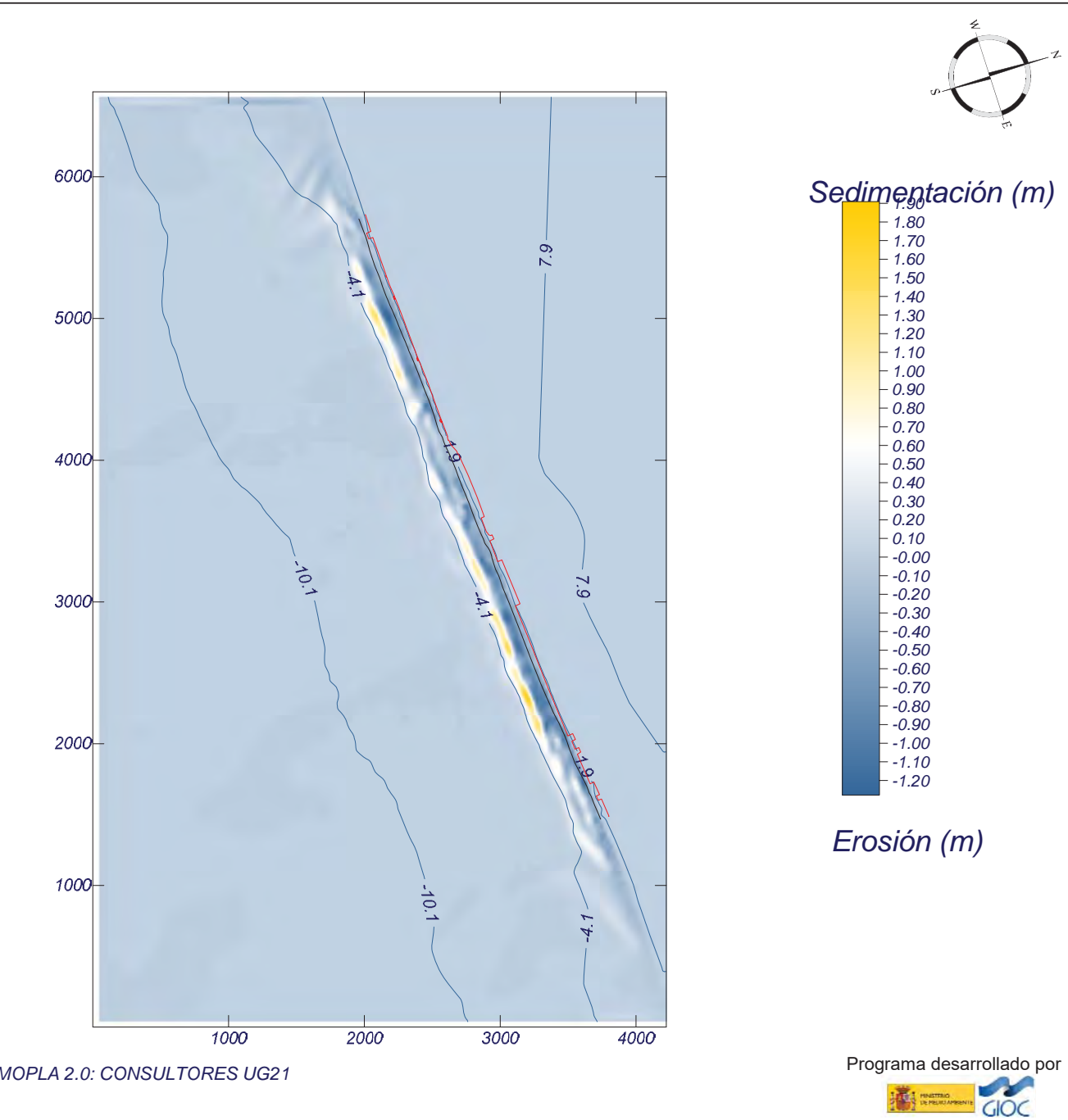




Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

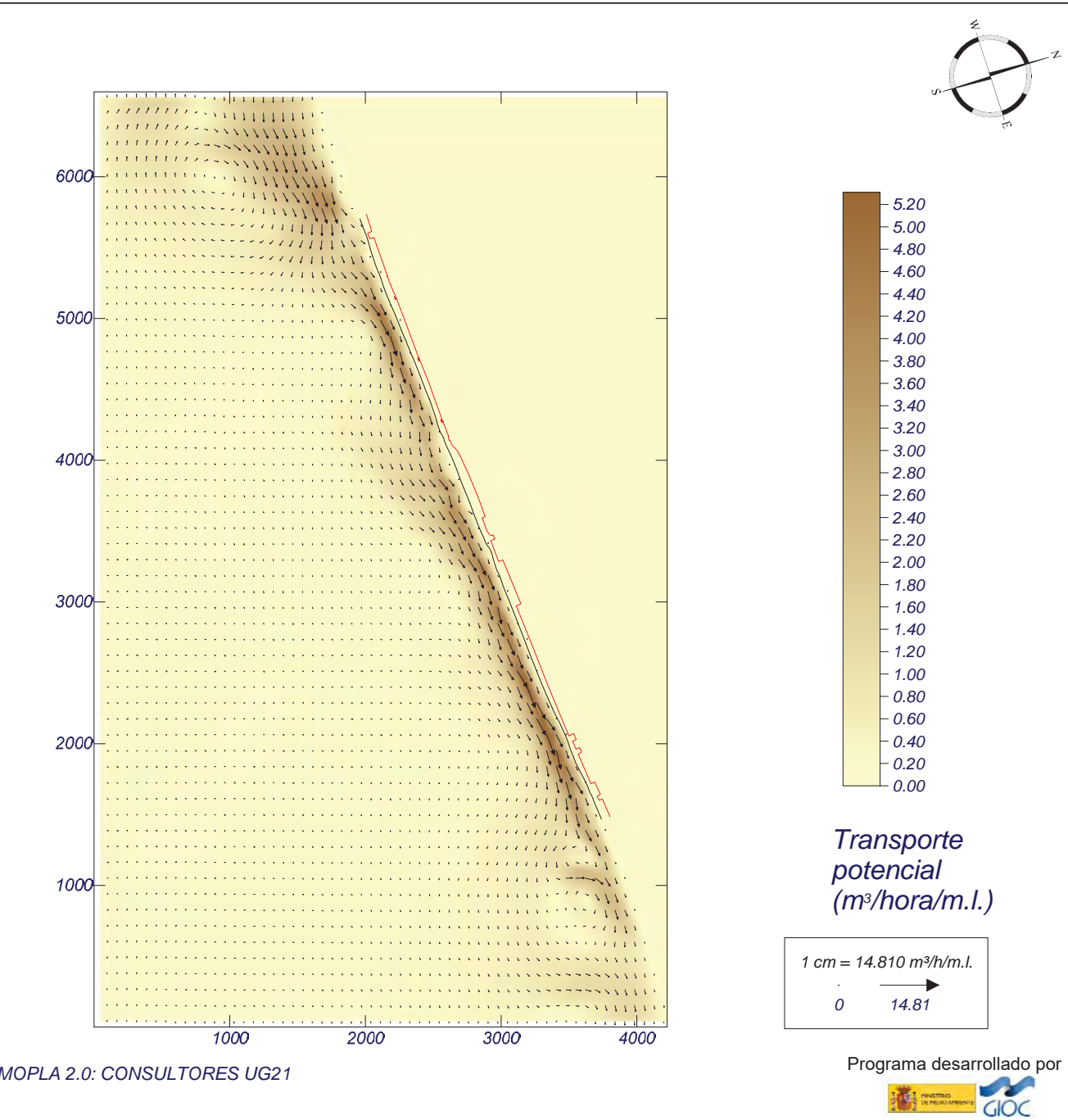
|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M329<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>29:</b> SSW Hext = 6.81 m NMM | Características de la simulación   |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br>Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br>Espectro direccional<br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br>Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br>Viscosidad de remolino<br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br>D50: 0.32 mm<br>Duración: 12.0 h<br>Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M329<br><b>M3:</b> Malla poniente M3<br><b>29:</b> SSW Hext = 6.81 m NMM | Características de la simulación   |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br>Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br>Espectro direccional<br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br>Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br>Viscosidad de remolino<br>ε: 12 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br>D50: 0.32 mm<br>Duración: 12.0 h<br>Formulación: Soulsby |

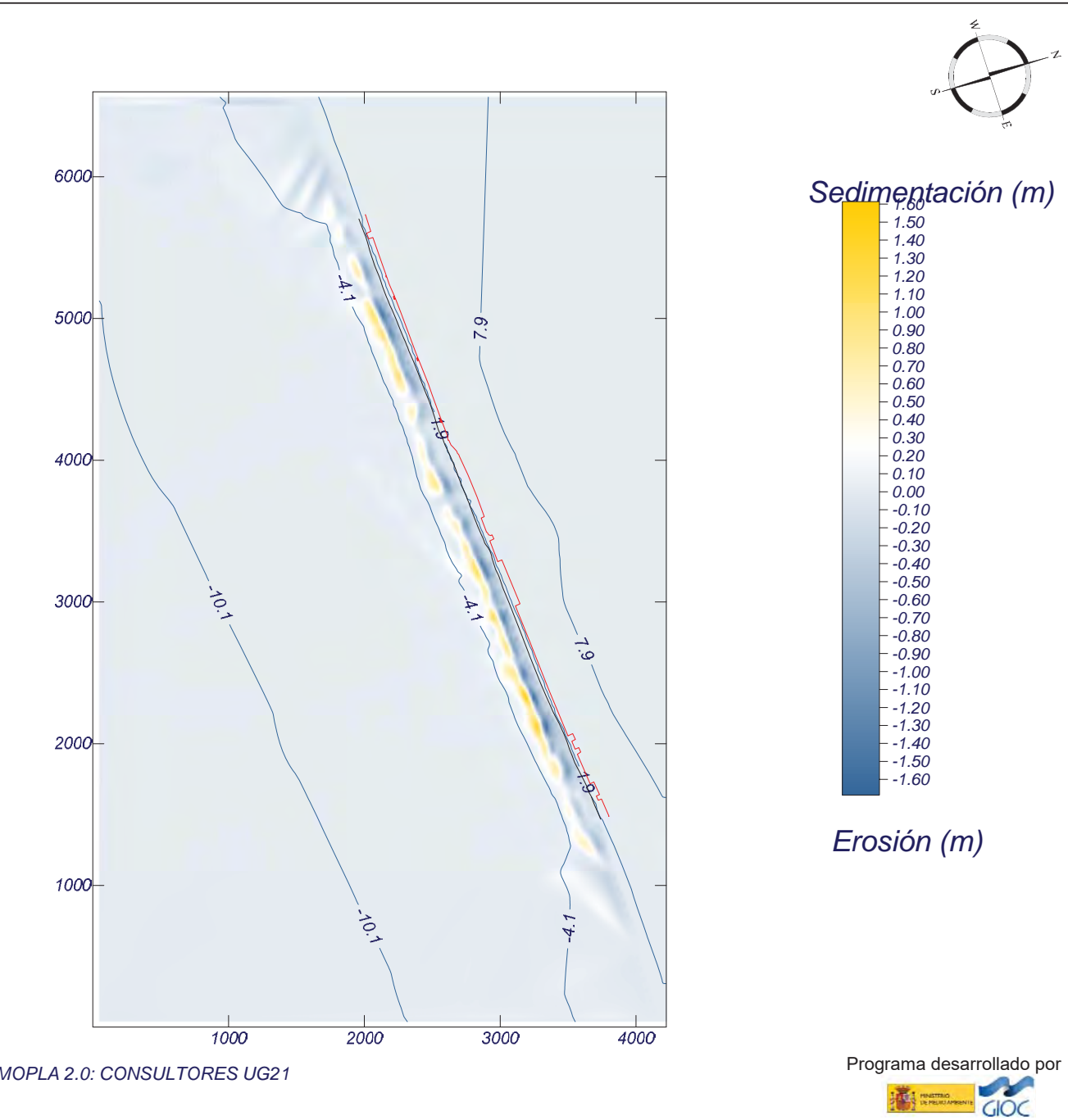


Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

Caso espectral: M330  
M3: Malla poniente M3  
30: SSW Hext = 6.81 m BM

| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| <b>Espectro direccional</b><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15  | Viscosidad de remolino<br>ε: 12 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |

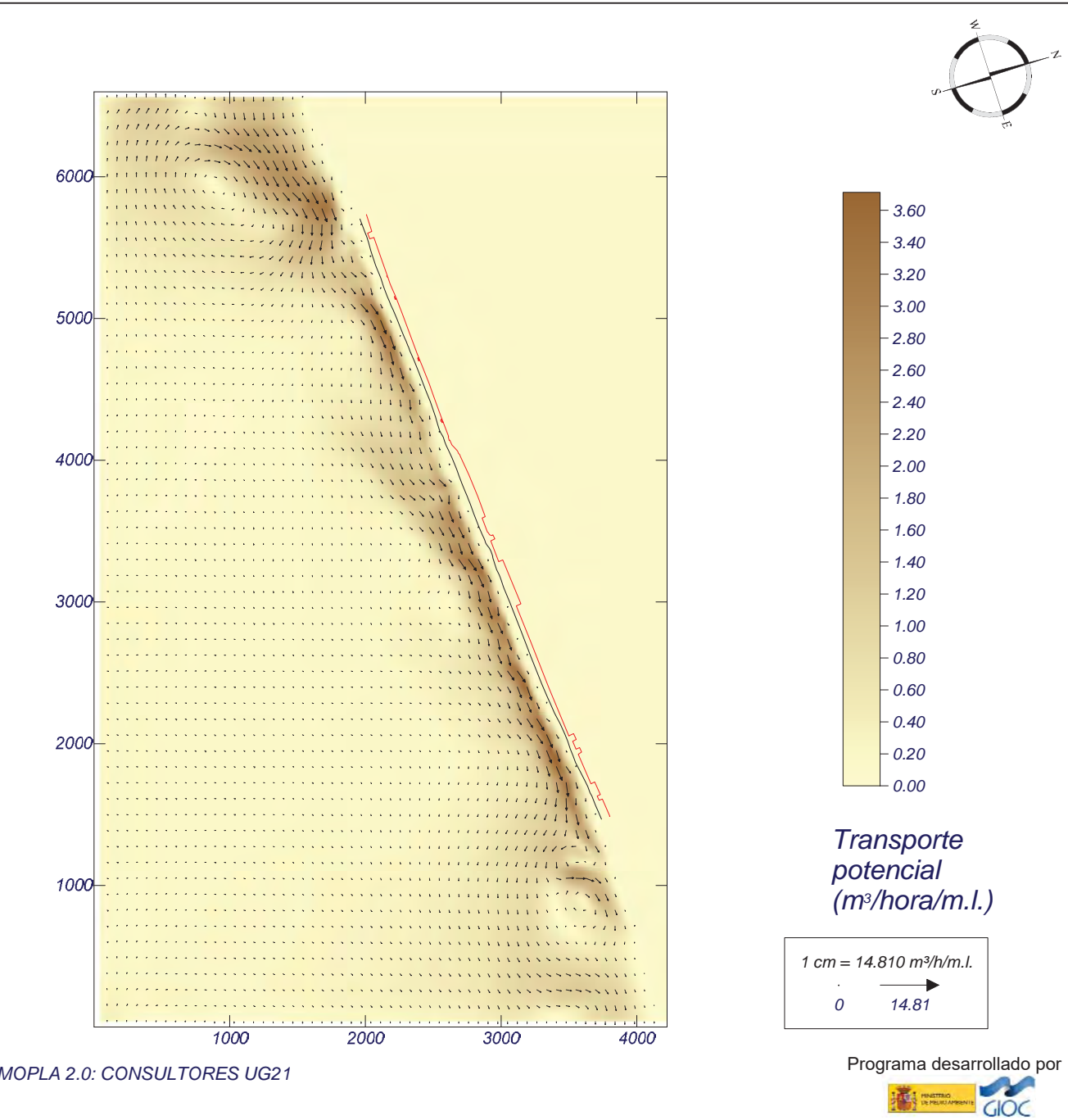


Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: M330  
M3: Malla poniente M3  
30: SSW Hext = 6.81 m BM

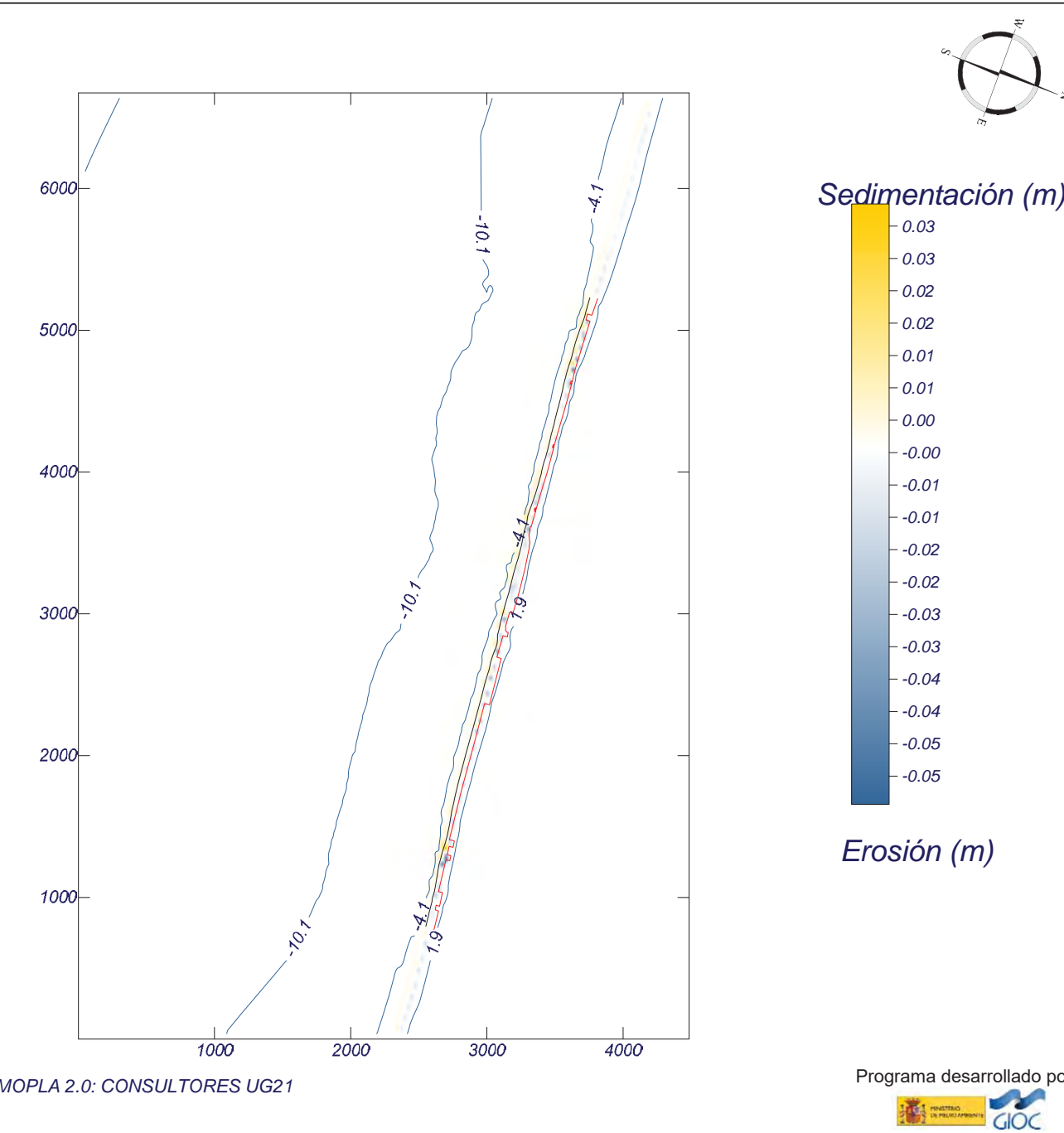
| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 6.81 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.0865 Hz (Tp: 11.5607 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| <b>Espectro direccional</b><br>θm: -4.5° (S22.5W)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15  | Viscosidad de remolino<br>ε: 12 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

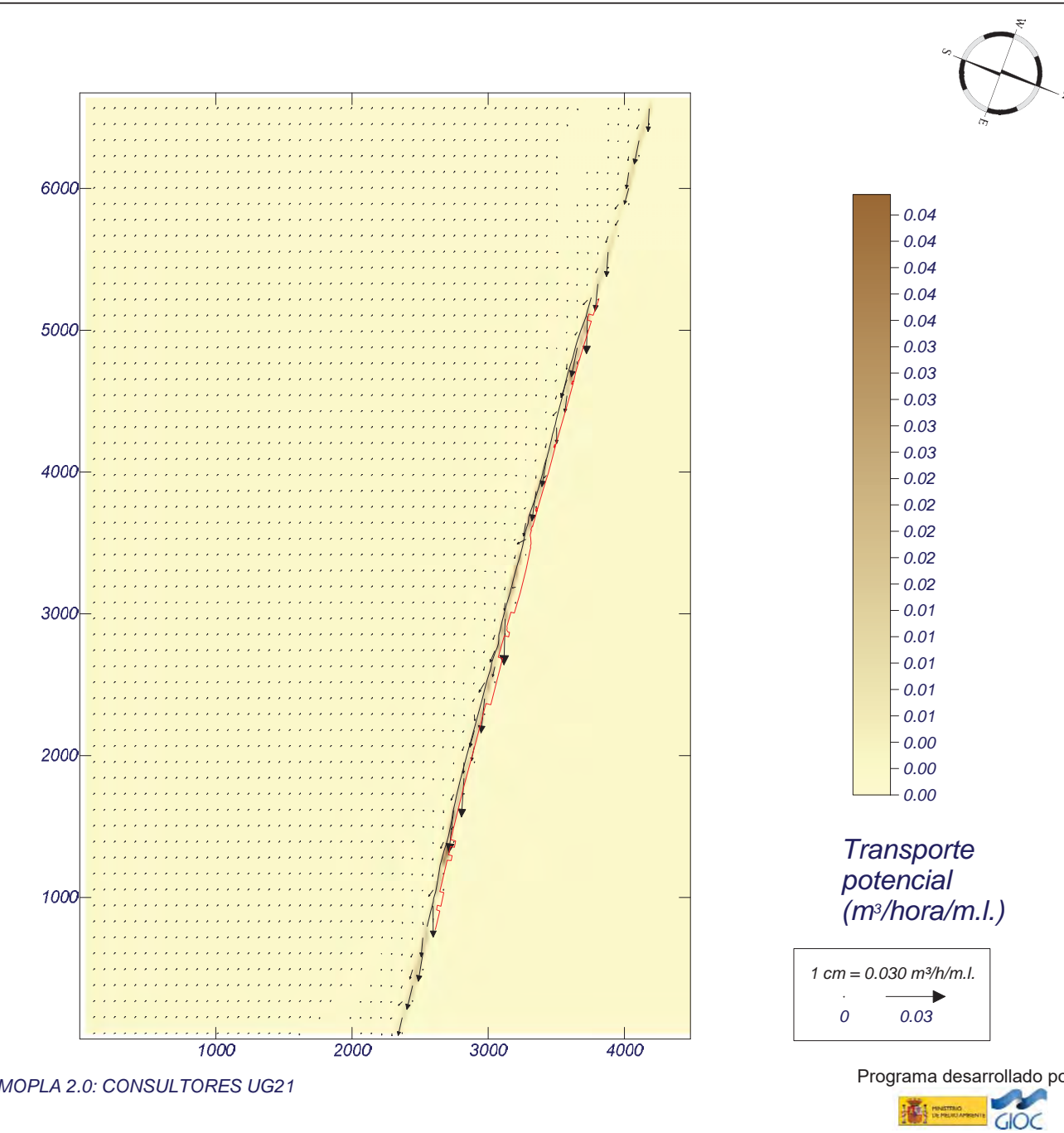
| <b>Caso espectral:</b> M605<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>05:</b> SSE Hsmorf = 1.01 m | Características de la simulación  |   |  |
|--|---|---|--|
|  | OLUCA-SP  | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|  | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 1.01 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.171 Hz (Tp: 5.84795 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 2.5° (S22.5E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

| <b>Caso espectral:</b> M605<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>05:</b> SSE Hsmorf = 1.01 m | Características de la simulación  |   |  |
|--|---|---|--|
|  | OLUCA-SP  | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|  | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 1.01 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.171 Hz (Tp: 5.84795 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 2.5° (S22.5E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |

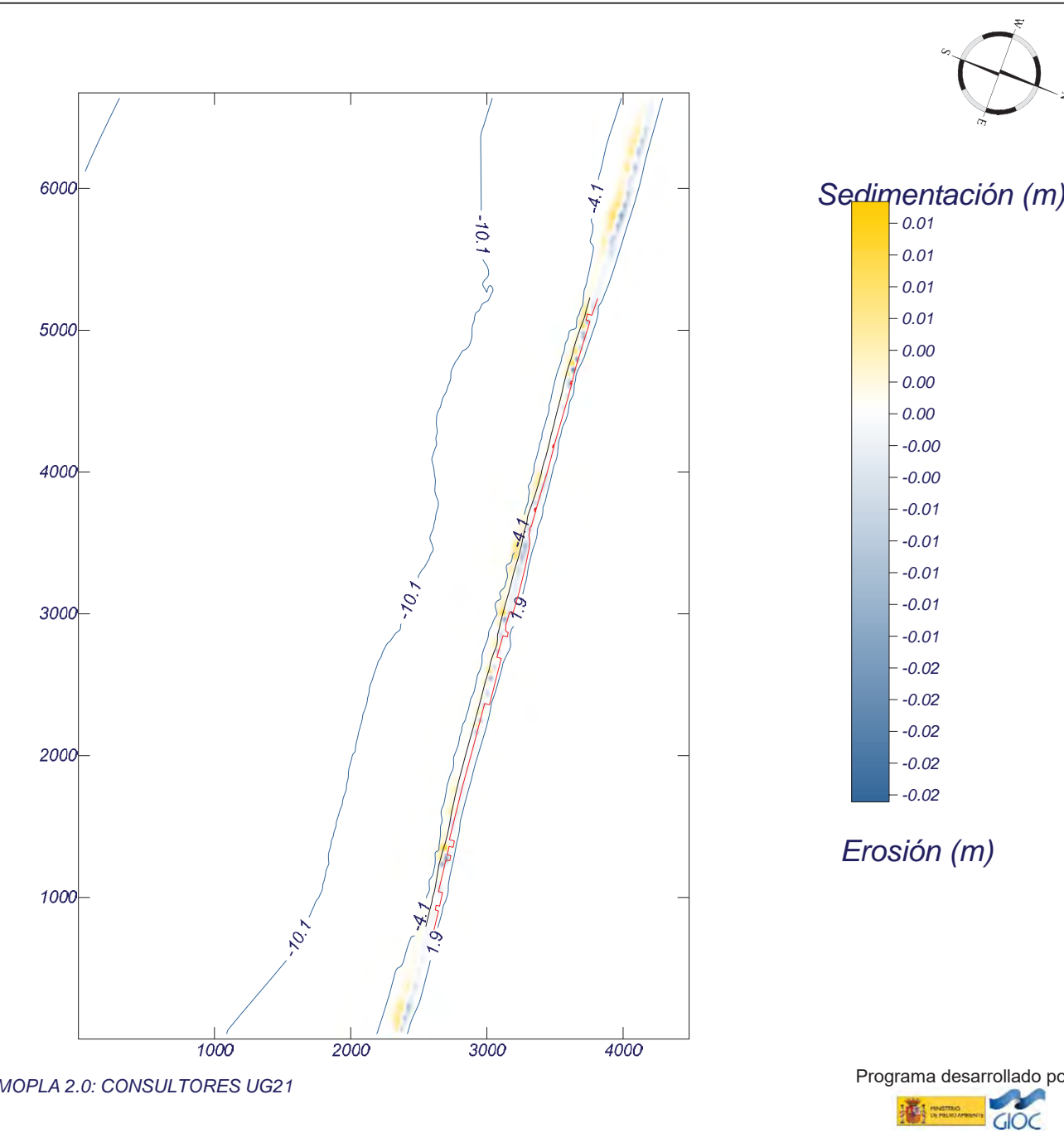




Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

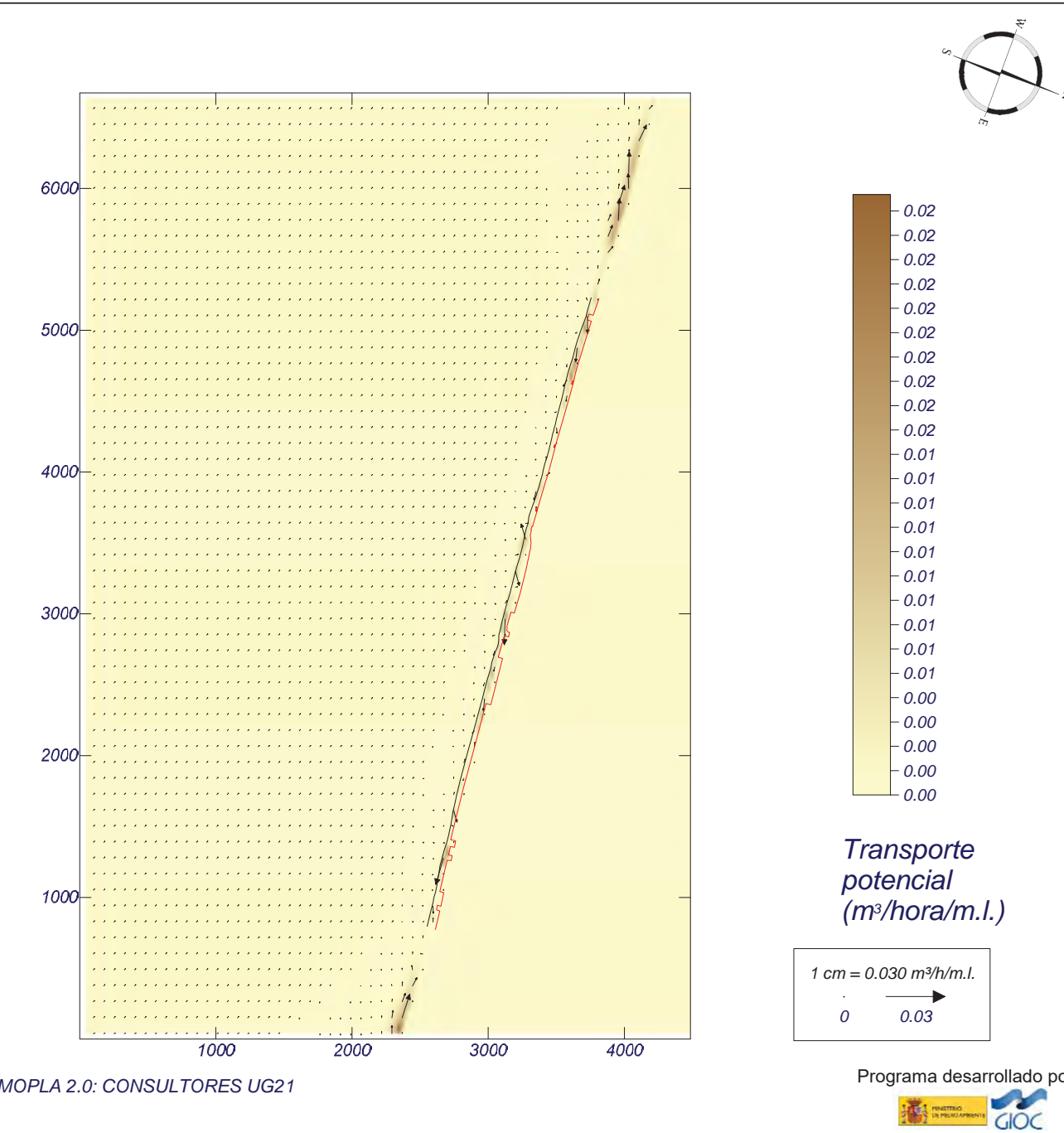
|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M606<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>06:</b> SE Hsmorf = 1.07 m | Características de la simulación   |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.07 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.17 Hz (Tp: 5.88235 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: 25° (S45.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 13 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

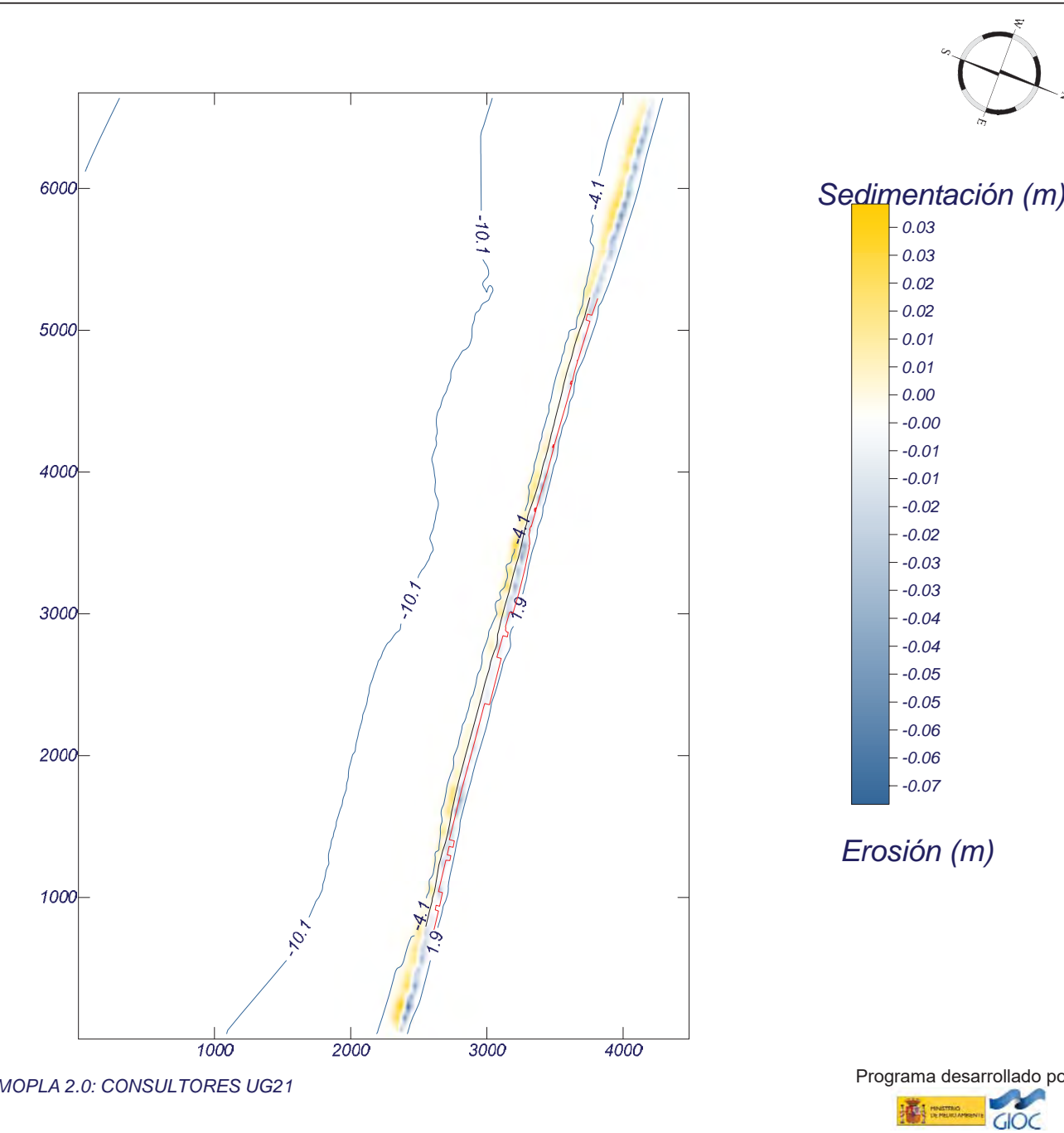
|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M606<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>06:</b> SE Hsmorf = 1.07 m | Características de la simulación   |  |   |
|   | <b>OLUCA-SP</b><br><i>Espectro frecuencial (TMA)</i><br>Hs: 1.07 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.17 Hz (Tp: 5.88235 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><i>Espectro direccional</i><br>θm: 25° (S45.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br><i>Rugosidad de Nikuradse</i><br>Kswc: 1 m<br><br><i>Viscosidad de remolino</i><br>ε: 13 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br><i>D50:</i> 0.32 mm<br><br><i>Duración:</i> 12.0 h<br><br><i>Formulación:</i><br>Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

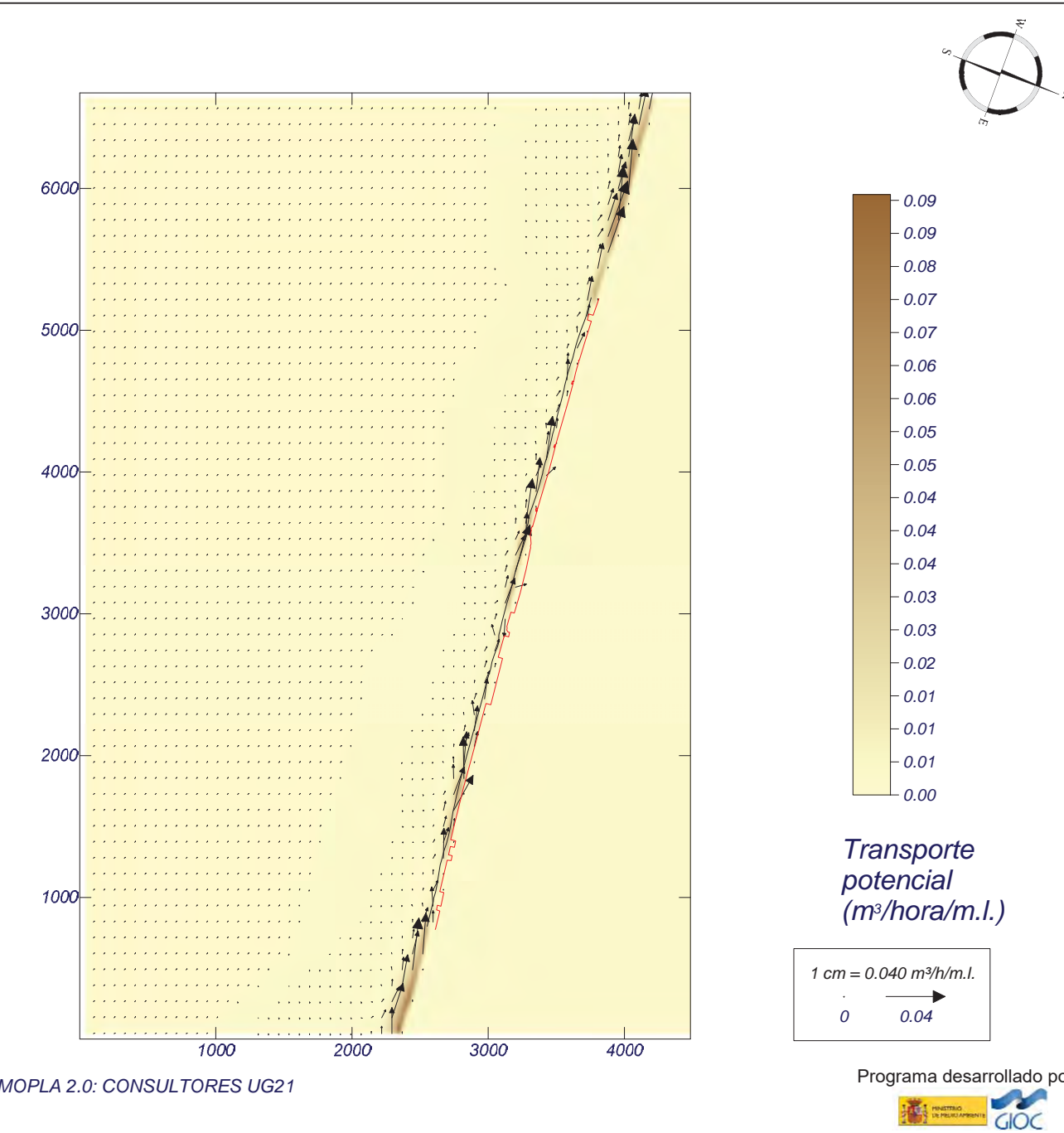
| <b>Caso espectral: M607</b><br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>07:</b> ESE Hsmorf = 1.32 m | Características de la simulación   |   |  |
|--|--|---|--|
|  | OLUCA-SP   | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|  | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 1.32 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.163 Hz (Tp: 6.13497 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 40° (S60.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

| <b>Caso espectral: M607</b><br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>07:</b> ESE Hsmorf = 1.32 m | Características de la simulación   |   |  |
|--|--|---|--|
|  | OLUCA-SP   | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|  | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 1.32 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.163 Hz (Tp: 6.13497 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 40° (S60.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |

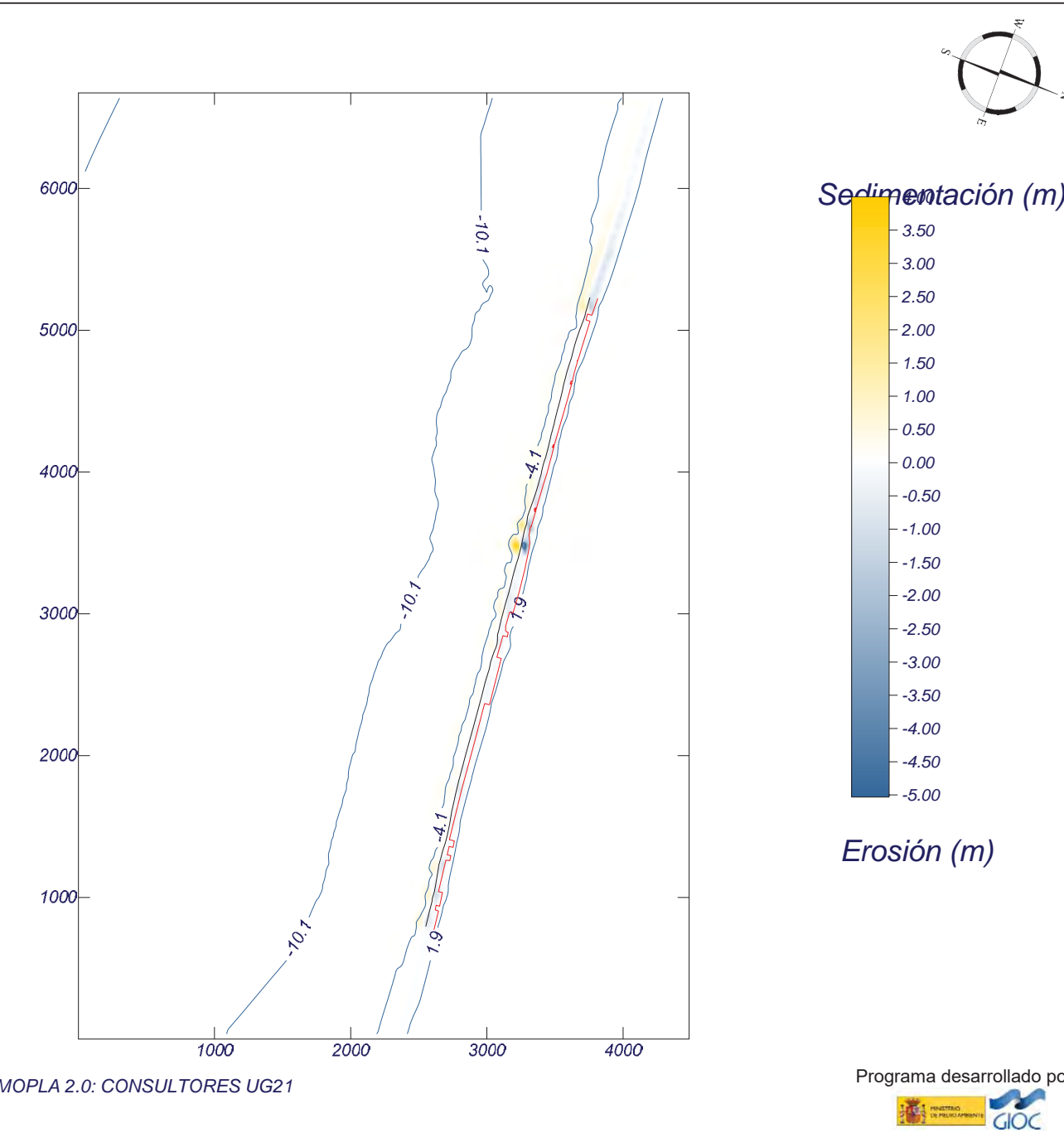


Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

Caso espectral: M615  
M6: Malla levante M3  
15: SSE Hs12 = 3.80 m

| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 3.8 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.109 Hz (Tp: 9.17431 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| <b>Espectro direccional</b><br>θm: 2.5° (S22.5E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15   | Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |

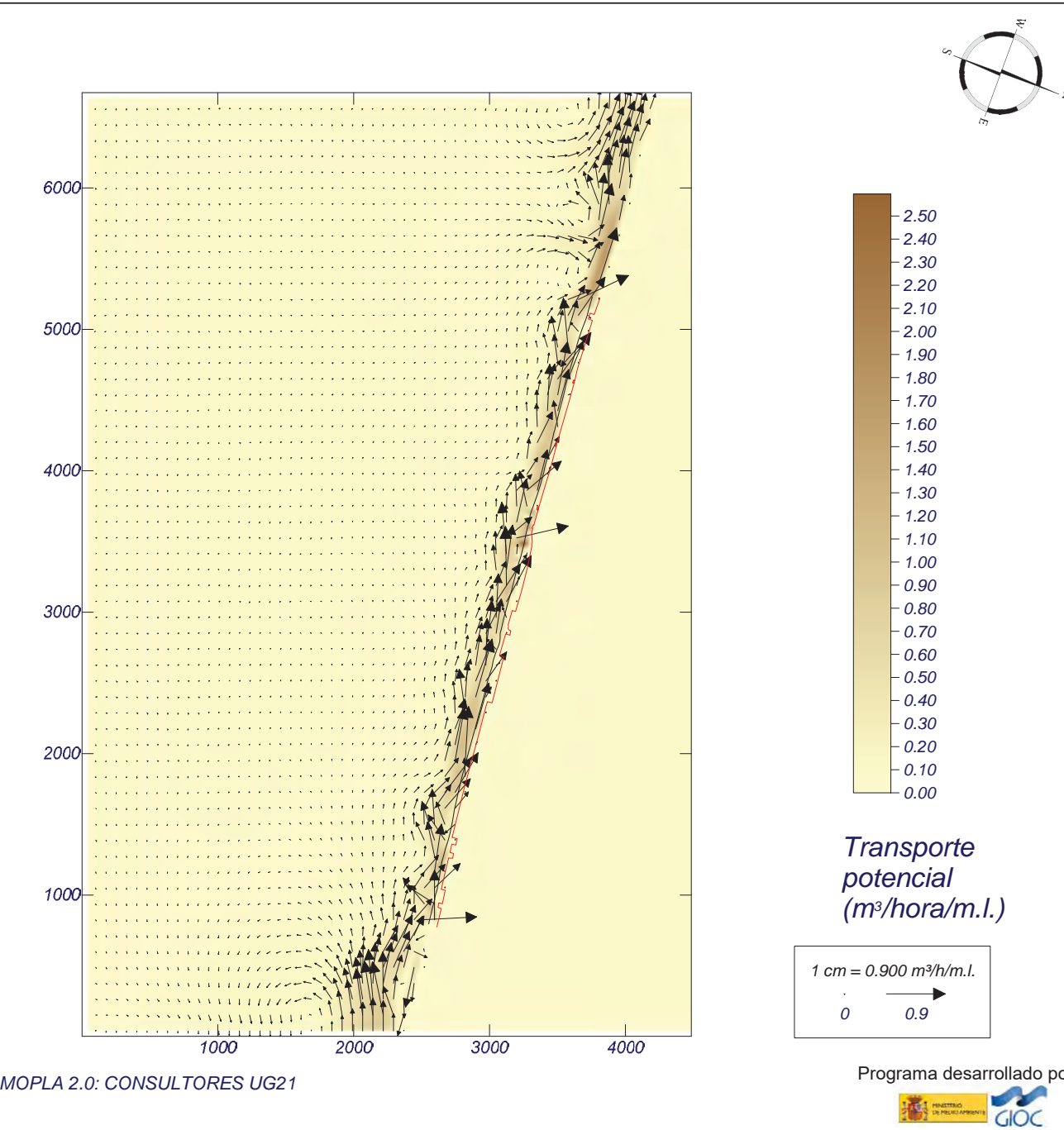


Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: M615  
M6: Malla levante M3  
15: SSE Hs12 = 3.80 m

| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 3.8 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.109 Hz (Tp: 9.17431 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| <b>Espectro direccional</b><br>θm: 2.5° (S22.5E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15   | Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |

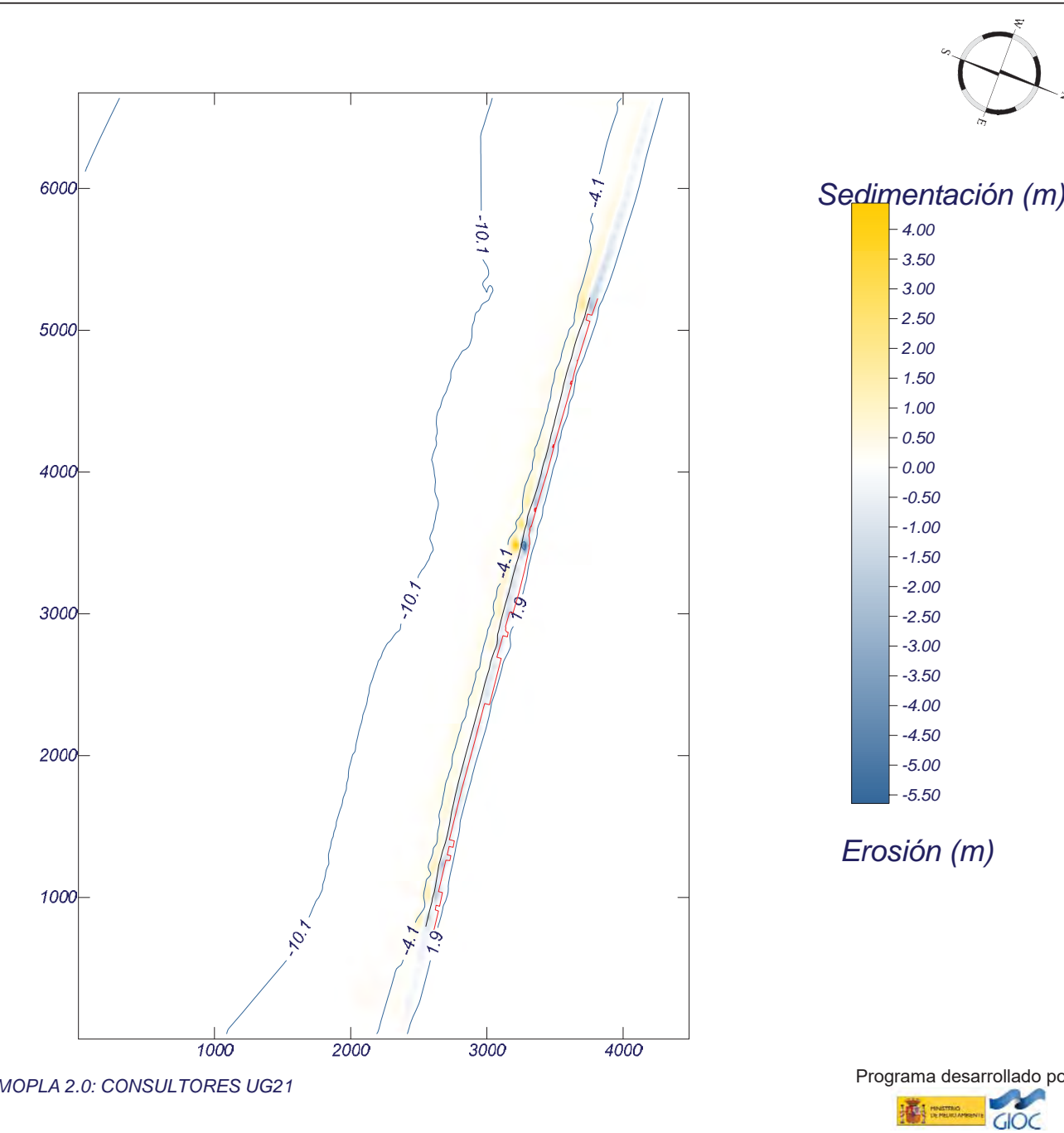




Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

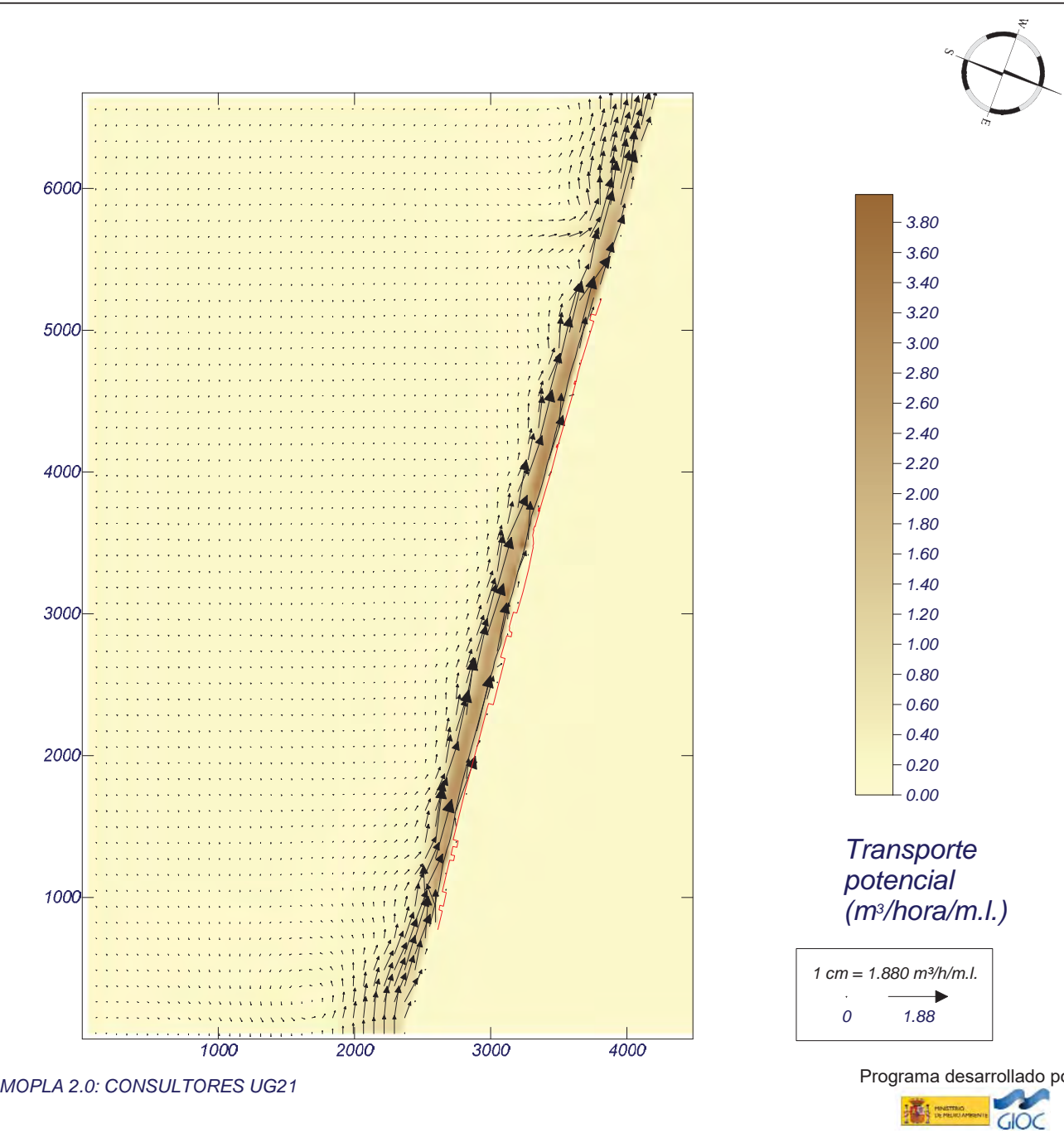
| <b>Caso espectral:</b> M616<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>16:</b> SE Hs12 = 3.76 m | Características de la simulación  |   |  |
|---|---|---|--|
|   | OLUCA-SP  | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|   | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 3.76 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.11 Hz (Tp: 9.09091 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 25° (S45.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

| <b>Caso espectral:</b> M616<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>16:</b> SE Hs12 = 3.76 m | Características de la simulación  |   |  |
|---|---|---|--|
|   | OLUCA-SP  | COPLA-SP  | MOPLA-SP   |
|   | <b>Espectro frecuencial (TMA)</b><br>Hs: 3.76 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.11 Hz (Tp: 9.09091 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br><b>Espectro direccional</b><br>θm: 25° (S45.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br><br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | D50: 0.32 mm<br><br>Duración: 12.0 h<br><br>Formulación: Soulsby |

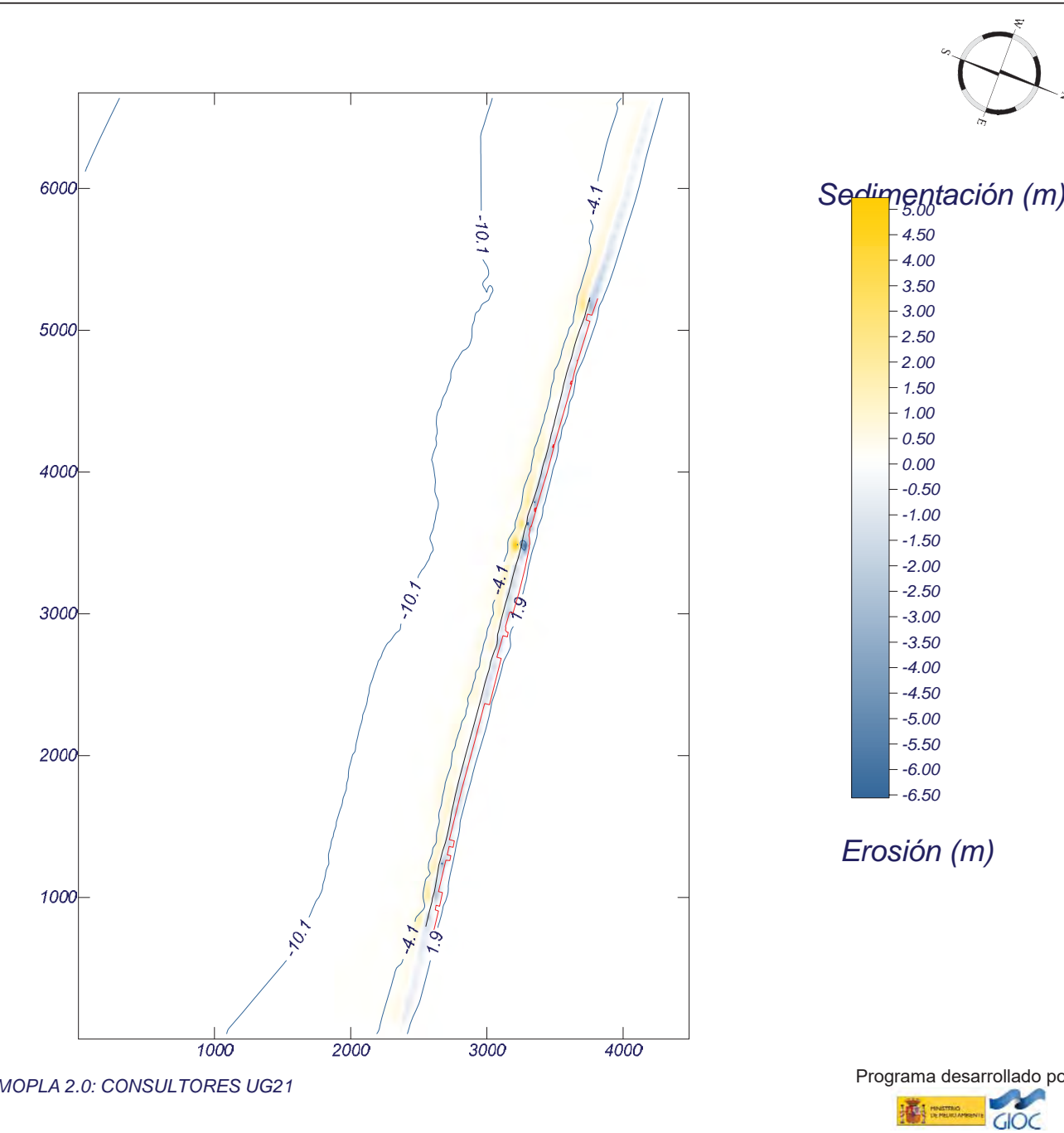


Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

Caso espectral: M617  
M6: Malla levante M3  
17: ESE Hs12 = 3.86 m

| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 3.86 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.108 Hz (Tp: 9.25926 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| Espectro direccional<br>θm: 40° (S60.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15   | Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |

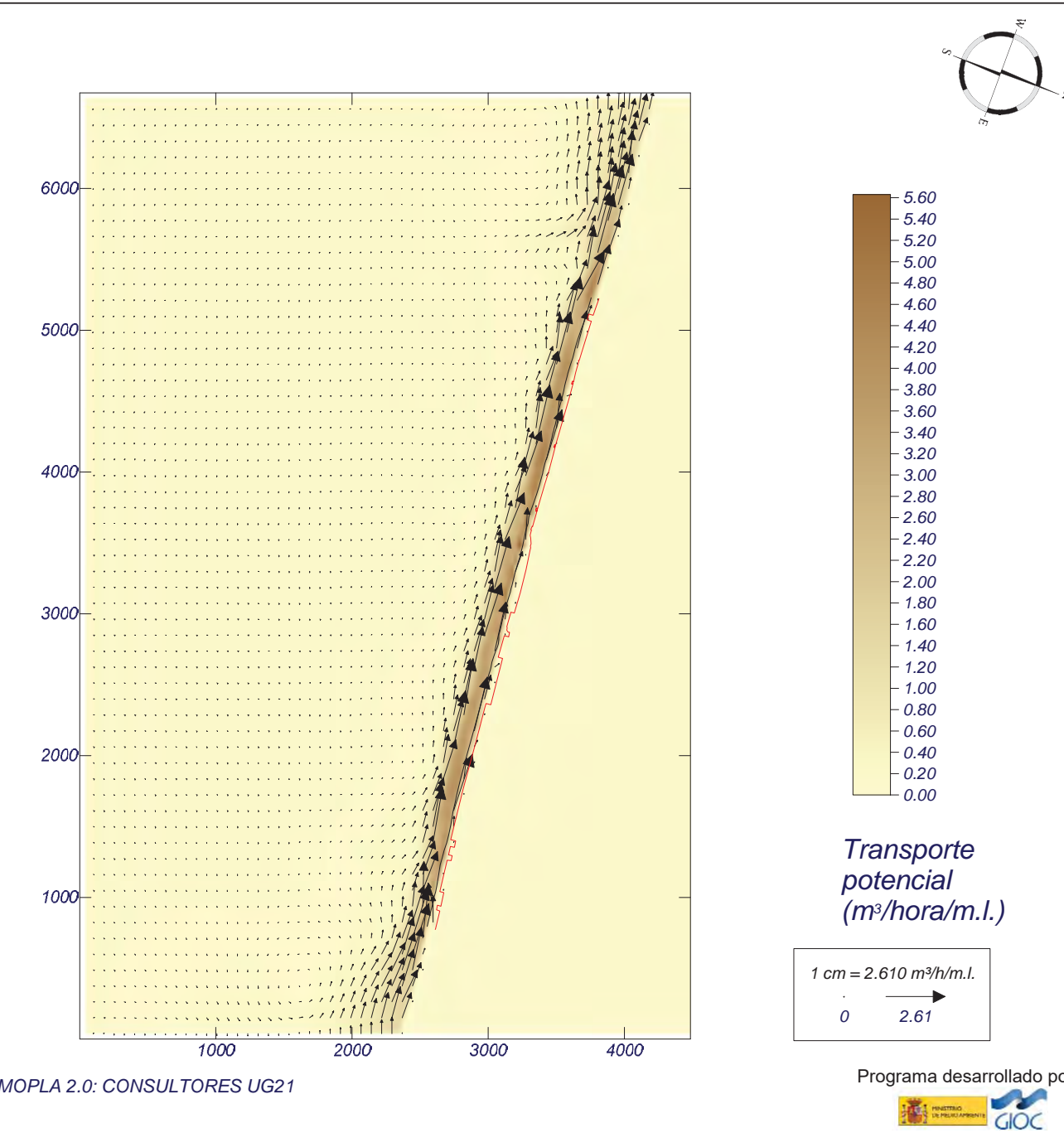


Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

Caso espectral: M617  
M6: Malla levante M3  
17: ESE Hs12 = 3.86 m

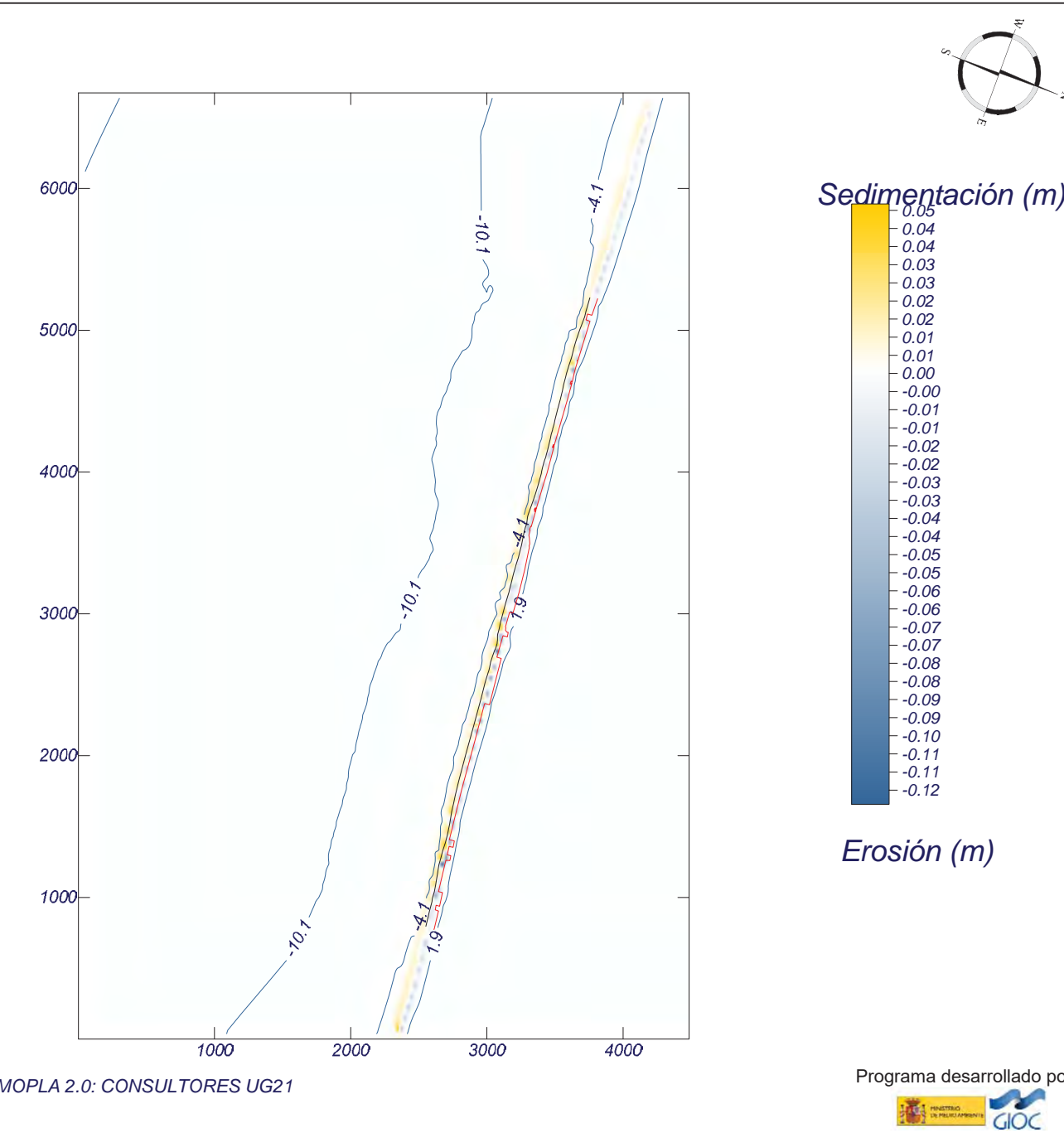
| Características de la simulación  |                                      |                      |
|---|--------------------------------------|----------------------|
| OLUCA-SP  | COPLA-SP                             | MOPLA-SP             |
| Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 3.86 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.108 Hz (Tp: 9.25926 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10 | Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m  | D50: 0.32 mm         |
| Espectro direccional<br>θm: 40° (S60.0E)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15   | Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | Duración: 12.0 h     |
|   |                                      | Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Topografía final y variación de la topografía

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M628<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>28:</b> S Hsmorf = 1.16 m | Características de la simulación  |  |   |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br>Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 1.16 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.1667 Hz (Tp: 5.9988 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br>Espectro direccional<br>θm: -20° (S)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br>Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br>D50: 0.32 mm<br>Duración: 12.0 h<br>Formulación: Soulsby |



Proyecto:

Gráfico: Gráfico combinado de vectores de transporte y magnitud

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <b>Caso espectral:</b> M628<br><b>M6:</b> Malla levante M3<br><b>28:</b> S Hsmorf = 1.16 m | Características de la simulación  |  |   |
|  | <b>OLUCA-SP</b><br>Espectro frecuencial (TMA)<br>Hs: 1.16 m<br>h: 50 m<br>fp: 0.1667 Hz (Tp: 5.9988 s)<br>γ: 3.3<br>Nº Comp.: 10<br>Espectro direccional<br>θm: -20° (S)<br>σ: 20° - Nº Comp.: 15 | <b>COPLA-SP</b><br>Rugosidad de Nikuradse<br>Kswc: 1 m<br>Viscosidad de remolino<br>ε: 13 m²/s | <b>MOPLA-SP</b><br>D50: 0.32 mm<br>Duración: 12.0 h<br>Formulación: Soulsby |

