

# Precisión y eficiencia computacional en la simulación de inundaciones costeras: comparación entre los modelos Iber y SFINCS

**Bryan Pérez León**E-MAIL: [perezleonbryan856@gmail.com](mailto:perezleonbryan856@gmail.com)

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría

**Luis F. Córdova López**E-MAIL: [cordova@tesla.cujae.edu.cu](mailto:cordova@tesla.cujae.edu.cu)

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría

## RESUMEN

Este estudio presenta una comparación entre los modelos hidrodinámicos Iber y SFINCS para la simulación de inundaciones costeras. Ambos modelos fueron aplicados a un mismo dominio utilizando una serie temporal hipotética del nivel total del mar con una duración de 10 horas y resolución temporal de un minuto, diseñada para representar un evento extremo con un nivel máximo de 3,29 m sostenido durante 3 horas. Se analizaron el comportamiento temporal del calado en puntos de observación, la extensión espacial de la inundación, el área inundada y los tiempos de simulación. Los resultados muestran una alta coherencia entre Iber B y SFINCS A en la evolución del calado y en la extensión de la inundación cuando se emplean resoluciones espaciales comparables. Sin embargo, las configuraciones de menor resolución en SFINCS presentan reducciones en la extensión de la inundación y retrasos en su propagación. Asimismo, SFINCS muestra tiempos de simulación significativamente menores, evidenciando su alta eficiencia computacional.

**PALABRAS CLAVE:** *inundación costera, Iber, SFINCS, modelación numérica, eficiencia computacional*

## Accuracy and computational efficiency in coastal flood simulation: comparison between Iber and SFINCS

### ABSTRACT

This study presents a comparison between the hydrodynamic models Iber and SFINCS for the simulation of coastal flooding. Both models were applied to the same computational domain using a hypothetical time series of total sea level with a duration of 10 hours and a temporal resolution of one minute, designed to represent an extreme event with a maximum level of 3.29 m sustained for three hours. The analysis focused on the temporal evolution of water depth at observation points, the spatial extent of flooding, the flooded area, and simulation times. Results show a high level of agreement between Iber B and SFINCS A in both water-depth evolution and flood extent when comparable spatial resolutions are used. However, lower-resolution SFINCS configurations show reductions in flood extent and delays in inundation propagation. Additionally, SFINCS exhibits significantly shorter simulation times, highlighting its high computational efficiency.

**KEYWORDS:** *coastal flooding, Iber, SFINCS, numerical modelling, computational efficiency*

## 01 INTRODUCCIÓN

Las inundaciones costeras representan uno de los riesgos naturales más relevantes en zonas litorales, intensificados por el ascenso del nivel medio del mar. Estos eventos se producen cuando la marea y la marejada ciclónica—originada por los vientos de los ciclones tropicales y las bajas presiones atmosféricas— permiten la penetración



02-02-2025– RECIBIDO:

APROBADO: 08-07-2025

Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

del agua hacia tierra firme. A ello se suma el oleaje, cuyo comportamiento depende de sus características y de la batimetría de la costa, propagándose hacia la costa y, al romper, generando un ascenso de la masa de agua sobre el perfil costero, lo que amplifica el impacto de la inundación (Córdova de Horta et al., 2025). Pueden tener efectos devastadores en las sociedades, las economías y el medio ambiente al afectar zonas costeras bajas y densamente pobladas (Wadey et al., 2015).

Los ciclones tropicales (CT) y los ciclones extratropicales (CTE) son la causa de las inundaciones costeras más graves. Por ejemplo, el huracán Harvey, en 2017, es una de las tormentas más costosas en la historia de Estados Unidos, con daños estimados en 125 000 millones de dólares (Benito et al., 2025). Estudios realizados por Knutson et al. (2015) evidencian que, para la cuenca del Atlántico Norte, la intensidad de los CT aumentará mientras que su frecuencia disminuirá.

Este contexto ha impulsado el desarrollo y la aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos capaces de simular procesos de inundación costera con un alto nivel de detalle espacial y temporal. Tradicionalmente, estos modelos resuelven las ecuaciones completas de aguas someras, permitiendo representar de manera precisa la propagación del flujo, la interacción con la topografía y los gradientes de velocidad y profundidad del agua (Bates et al., 2010).

En respuesta a los altos costes computacionales de los modelos completos de inundación, se han desarrollado aproximaciones simplificadas que omiten términos menos críticos de las ecuaciones de flujo superficial, permitiendo simulaciones eficientes y manteniendo representaciones adecuadas de la inundación para aplicaciones a gran escala y sistemas de alerta temprana. Diversos estudios han mostrado que estas simplificaciones físicas pueden reducir el coste computacional de los modelos tradicionales, al tiempo que reproducen con razonable precisión la extensión de inundaciones en dominios extensos (Bates et al., 2010; Guo et al., 2021).

En este marco, el modelo Iber se ha consolidado como una herramienta robusta para la simulación bidimensional de inundaciones mediante la resolución completa de las ecuaciones de aguas poco profundas sobre mallas no estructuradas, siendo ampliamente utilizado en estudios fluviales y costeros por su capacidad para representar con detalle la hidrodinámica del flujo (Bladé et al., 2014). Por otro lado, el modelo SFINCS (*Super-Fast INundation of CoastS*) ha sido desarrollado específicamente para la simulación eficiente de inundaciones costeras y compuestas, integrando una formulación simplificada que permite reducir de forma significativa los tiempos de cálculo, manteniendo una adecuada representación de los procesos dominantes (Benito et al., 2025; Leijnse et al., 2021).

En este sentido, el presente trabajo se enfoca en la comparación del desempeño de los modelos Iber y SFINCS en la simulación de inundaciones costeras, con el fin de analizar sus capacidades y limitaciones.

## 02 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Descripción del área de estudio

La sección de costa utilizada en el estudio forma parte del municipio Habana del Este, ubicado en la provincia de La Habana, en la región nororiental de la capital de Cuba. Su orientación abierta hacia el noreste expone directamente esta franja costera a la acción de marejadas asociadas tanto a ciclones tropicales como a frentes fríos, los cuales constituyen los principales forzantes meteorológicos responsables de las inundaciones costeras recurrentes en la zona.

### 2.2. Topobatimetría

Se dispone de un modelo topobatimétrico que abarca profundidades desde aproximadamente 13 m hasta el límite de la franja costera emergida, cubriendo un tramo costero comprendido entre la calle 12 en Santa María del Mar (límite occidental) y la Punta de Guanabo (límite oriental), lo que representa una extensión aproximada de 6 km de línea de costa. El modelo fue generado a partir de datos LIDAR y presenta una resolución espacial horizontal de 1 m, lo que permite una representación detallada de la topografía y batimetría del área de estudio (Fig. 2.1).

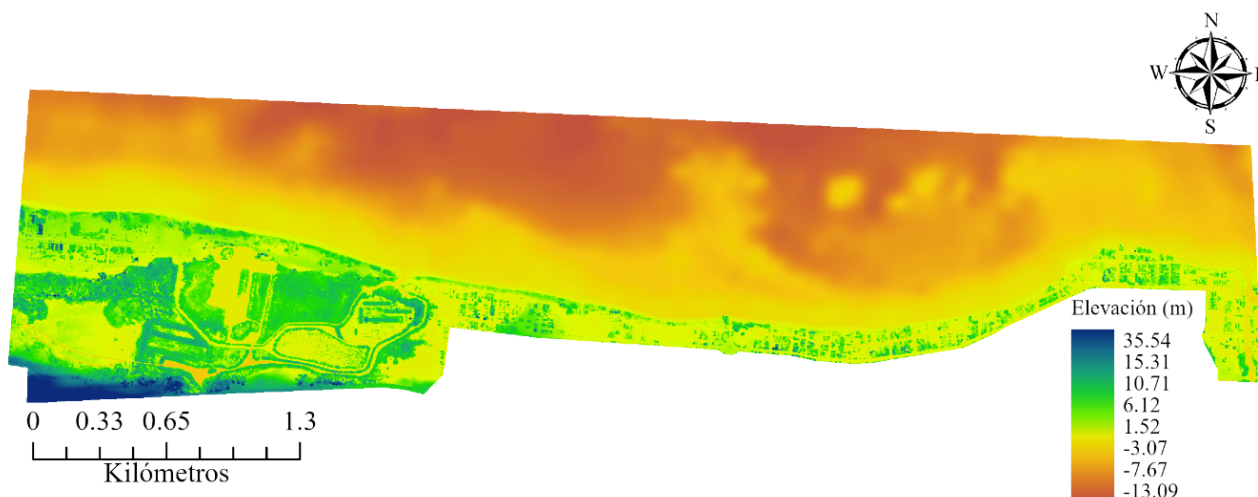


Figure 2.1. Topobatemetría del área de estudio.

### 2.3. Iber

Iber es un modelo numérico bidimensional desarrollado para la simulación de flujos con superficie libre y procesos de transporte bajo condiciones no estacionarias (Sañudo et al., 2020). Su módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones bidimensionales de aguas someras mediante un esquema de volúmenes finitos sobre mallas computacionales no estructuradas. Este solucionador incorpora un esquema numérico especialmente diseñado para aplicaciones hidrológicas, lo que permite la simulación acoplada de procesos de escorrentía superficial (hidrológicos) e inundación (hidráulicos) de forma simultánea (Cea & Bladé, 2015; Sañudo et al., 2020). Las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento que gobiernan el modelo se presentan en las ecuaciones (2.1)–(2.3):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = R - i \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{h} + \frac{1}{2} g h^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = -g h \frac{\partial z_b}{\partial x} - g n^2 \frac{|q| q_x}{h^{7/3}} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{h} + \frac{1}{2} g h^2 \right) = -g h \frac{\partial z_b}{\partial y} - g n^2 \frac{|q| q_y}{h^{7/3}} \quad (2.3)$$

donde  $h$  representa la profundidad del agua,  $q_x$  y  $q_y$  son las componentes del caudal unitario en las direcciones  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $|q|$  es su módulo,  $z_b$  corresponde a la elevación del fondo,  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $R$  representa la intensidad de la precipitación e  $i$  la tasa de infiltración. En Iber, estas variables se resuelven en el marco de las ecuaciones bidimensionales de aguas someras, lo que permite una representación explícita de los procesos hidrodinámicos y su acoplamiento con los forzantes hidrológicos en entornos urbanos y costeros (Sanz-Ramos et al., 2025).

### 2.4. SFINCS

SFINCS (*Super-Fast INundation of CoastS*) es un modelo basado en procesos de complejidad intermedia y alta eficiencia computacional, capaz de simular inundaciones compuestas en zonas costeras. El modelo fue desarrollado por Maarten van Ormondt y se basa en el modelo LFP descrito por Bates et al. (2010). Su aplicación principal es la simulación de inundaciones compuestas a lo largo de líneas de costa de cientos a miles de kilómetros de extensión de forma computacionalmente eficiente.

La eficiencia computacional del modelo se logra mediante la inclusión exclusiva de los procesos esenciales que controlan la inundación compuesta, implementados en un solucionador numérico simple y rápido. De forma pre-

determinada, el modelo resuelve las ecuaciones inerciales locales (LIE; *SFINCS-LIE*) e incorpora formulaciones simplificadas para representar procesos de infiltración, descargas fluviales, precipitación y esfuerzos del viento. El modelo puede ser forzado mediante series temporales de nivel del agua en el límite costero para incluir la influencia de los niveles marinos y, de forma indirecta, los efectos asociados al oleaje, restringiendo el dominio de cálculo a la franja costera inmediata y a la zona continental inundable, con el fin de mejorar la eficiencia computacional. Para representar adecuadamente los procesos de sobrepaso por oleaje y la inundación asociada, puede activarse la advección mediante la resolución de una formulación simplificada de las ecuaciones de aguas someras (*SSWE*; *SFINCS-SSWE*). Adicionalmente, el desempeño numérico del modelo se optimiza mediante el uso de precisión simple y una sobrecarga computacional limitada (Leijnse et al., 2021).

La implementación original de las ecuaciones de aguas someras promediadas en la vertical en SFINCS consiste en un sistema desacoplado formado por una ecuación de continuidad bidimensional y dos ecuaciones unidimensionales de cantidad de movimiento. El sistema está compuesto por tres ecuaciones y tres incógnitas: el nivel del agua,  $\eta$ , y los flujos en las direcciones  $x$  e  $y$ ,  $q_x$  y  $q_y$ , respectivamente. Al desprestigiar los términos de advección, Coriolis y viscosidad, especificar el término de fricción y emplear una linealización de las ecuaciones, se obtiene la formulación de las ecuaciones inerciales locales en forma conservativa (Bates et al., 2010; Leijnse, 2018):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + gn^2 \frac{|q_x| q_x}{h^{7/3}} = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + gn^2 \frac{|q_y| q_y}{h^{7/3}} = 0 \quad (2.6)$$

con  $h = \eta + d$ , donde  $\eta$  es la elevación de la superficie libre (m) con respecto al nivel de referencia  $z = 0$ ,  $h$  es la profundidad del agua (m) y  $d$  es la profundidad del fondo (m). Los términos  $q_x$  y  $q_y$  representan los flujos en las direcciones  $x$  e  $y$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ). El parámetro  $n$  corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning ( $\text{s m}^{-1/3}$ ) y  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ). El término  $\partial \eta / \partial t$  reemplaza a  $\partial h / \partial t$  debido a que el nivel del fondo se considera constante en el tiempo (sin morfodinámica).

## 2.5. Establecimiento de los modelos

Con el objetivo de evaluar la influencia de la resolución espacial y del esquema de mallado en los resultados de la simulación, se establecieron cinco configuraciones de modelación para la comparación entre Iber y SFINCS. En el caso del modelo Iber, se definieron dos configuraciones. La primera (*Iber A*) empleó un esquema de doble mallado, compuesto por una malla principal en la zona terrestre con una resolución espacial de 3 m y una malla secundaria de transición con resolución de 10 m, la cual se extiende desde la cota 0 hasta aproximadamente 50 m mar adentro. La segunda configuración (*Iber B*) utilizó una malla uniforme con resolución de 3 m, definida a partir de la cota 0 hacia el interior del dominio terrestre.

Para el modelo SFINCS se implementaron tres configuraciones independientes, con resoluciones espaciales de 3, 5 y 10 m, respectivamente. En todos los casos, el dominio de cálculo se definió a partir de una profundidad inicial de 2 m en el sector marino, extendiéndose hacia tierra para la simulación de la inundación costera.

La Tabla 2.1 resume las principales características de cada configuración de modelación, incluyendo el tipo de malla, la resolución espacial, la rugosidad de Manning y el número total de nodos empleados.

Table 2.1. Características de cada configuración de modelación.

| Configuración | Malla                  | Resolución | Rugosidad de Manning ( $s\ m^{-1/3}$ ) | Cantidad de nodos |
|---------------|------------------------|------------|----------------------------------------|-------------------|
| Iber A        | Doble no estructurada  | 3 m y 10 m | 0,023                                  | 329 472           |
| Iber B        | Simple no estructurada | 3 m        | 0,023                                  | 313 631           |
| SFINCS A      | Estructurada           | 3 m        | 0,023                                  | 362 464           |
| SFINCS B      | Estructurada           | 5 m        | 0,023                                  | 130 526           |
| SFINCS C      | Estructurada           | 10 m       | 0,023                                  | 32 816            |

2.6. Forzamiento considerado en las simulaciones

En la configuración de ambos modelos se empleó como forzamiento una serie temporal hipotética del nivel total del mar, con una resolución temporal de un minuto y una duración total de 10 horas (Fig. 2.2). La serie fue diseñada para representar un evento extremo, definiéndose un nivel máximo del mar de 3,29 m, sostenido durante un período de 3 horas. Este forzamiento se impuso en el límite costero de los respectivos dominios de cálculo y permitió analizar la respuesta hidrodinámica simulada por cada modelo.

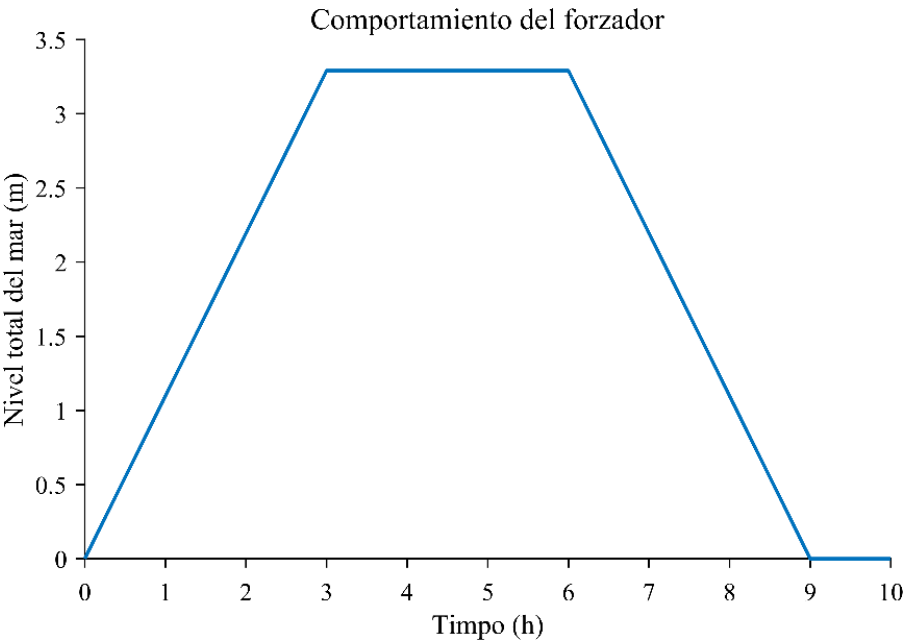


Figure 2.2. Comportamiento temporal del forzamiento empleado en las simulaciones.

03 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el análisis del comportamiento de la inundación costera se definieron puntos de observación estratégicamente distribuidos dentro del área de estudio. La selección de estos puntos respondió al objetivo de representar distintos sectores de la franja costera y áreas urbanas vulnerables, permitiendo una evaluación integral de la dinámica de la inundación simulada por los modelos.

En total, se establecieron cuatro puntos de observación (Fig. 3.1): PO-1, ubicado en la desembocadura del río Boca Ciega; PO-2, en Guanabo, en la intersección de la calle 3ra y la calle 472; PO-3, en Guanabo, en la intersección de la calle 3ra y la calle 492; y PO-4, en Guanabo, en la intersección de la calle 1ra A y la calle 500. Estos puntos fueron empleados para analizar la evolución temporal del calado y comparar el desempeño de los modelos numéricos.



Figure 3.1. Localización de los puntos de observación utilizados para el análisis de los resultados.

### 3.1. Análisis del comportamiento de la inundación

La Figura 3.2 muestra la evolución temporal del calado en los diferentes puntos de observación definidos dentro del área de estudio. En términos generales, los resultados obtenidos presentan un comportamiento similar entre los modelos analizados, evidenciándose tres fases principales en la dinámica de la inundación: un incremento inicial del calado durante las primeras horas de simulación, un período de estabilización asociado al nivel máximo del forzamiento y una fase final de descenso cuando el nivel del mar comienza a disminuir.

Durante las primeras horas de la simulación se observa un incremento progresivo del calado en todos los puntos de observación, el cual se produce aproximadamente durante las dos primeras horas como respuesta al aumento del nivel del mar impuesto en el límite costero del dominio. Posteriormente, los valores de calado se mantienen relativamente constantes durante el período en el que el nivel máximo del mar permanece sostenido en la serie de forzamiento.

En general, la configuración Iber A alcanza valores de calado superiores a los registrados por el resto de los modelos. Este comportamiento se asocia principalmente a la configuración del dominio y al doble mallado empleado, donde la malla secundaria se extiende hacia el sector marino, permitiendo un mayor desarrollo de la onda antes de alcanzar la línea de costa. Como consecuencia, se generan niveles de agua superiores a los definidos en la serie temporal de forzamiento.

En el punto de observación PO-1, el modelo Iber B y las tres configuraciones del modelo SFINCS presentan un comportamiento muy similar. Las series muestran un ascenso progresivo del calado hasta alcanzar valores cercanos a 3,29 m, manteniéndose posteriormente estables durante gran parte del período de máxima inundación. Las diferencias entre las simulaciones en este punto son mínimas, lo que sugiere una alta coherencia entre los modelos en la representación de la dinámica de la inundación en este sector.

En los restantes puntos de observación se identifican diferencias más notables entre las simulaciones. En PO-2, se observa una clara divergencia entre las configuraciones de SFINCS con respecto a Iber B, destacándose que la configuración SFINCS C no registra valores de inundación en este punto. En PO-3, las configuraciones SFINCS A y SFINCS B presentan comportamientos similares, alcanzando valores de calado cercanos a 2,7 m, mientras que SFINCS C registra valores considerablemente menores, con máximos próximos a 2 m.

Las mayores diferencias entre modelos se observan en el punto PO-4, donde la discrepancia entre Iber B y SFINCS A resulta más evidente. Asimismo, se observa que en la configuración SFINCS B el inicio de la inundación se registra aproximadamente 20 minutos más tarde en comparación con SFINCS A, mientras que en la configuración SFINCS C el inicio del proceso de inundación ocurre aproximadamente dos horas después. Este retraso en el inicio de la inundación también se aprecia en otros puntos de observación, donde la configuración SFINCS C presenta tiempos de respuesta más tardíos respecto al resto de los modelos analizados.

En conjunto, estos resultados evidencian que la resolución espacial del modelo SFINCS influye significativamente en la representación temporal y en la magnitud de los calados simulados, observándose que resoluciones más gruesas tienden a retrasar el inicio de la inundación y a reducir los valores máximos alcanzados.

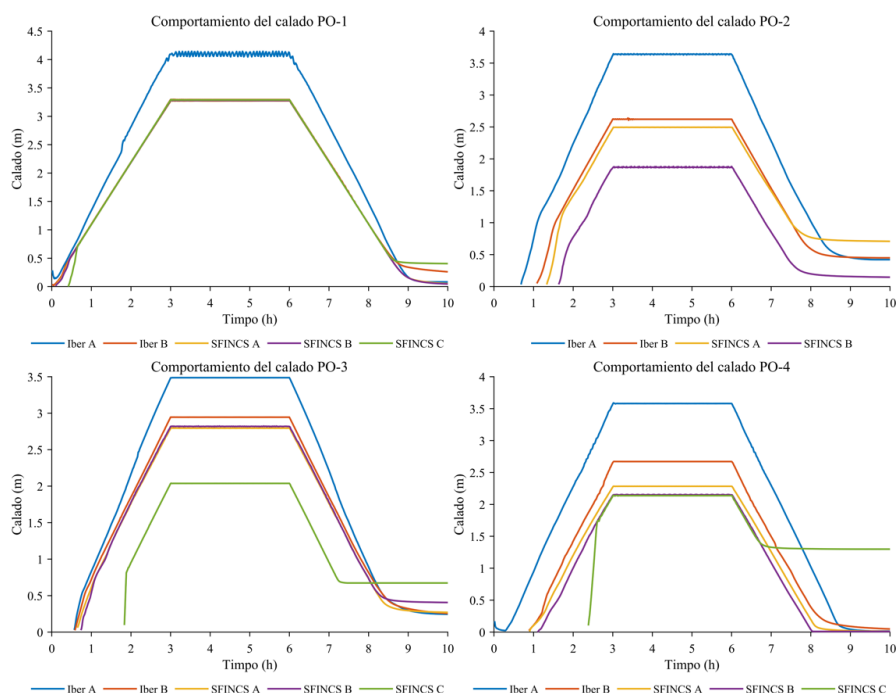


**Figure 3.2.** Evolución temporal del calado en los puntos de observación para las distintas configuraciones de modelación.

### 3.2. Análisis de errores entre modelos

Como se observa en la Tabla 3.1, los valores de error absoluto promedio (MAE) y raíz del error medio cuadrático (RMSE) muestran diferencias entre los puntos de observación al comparar los resultados del modelo Iber B con SFINCS A. El punto de observación PO-1 presenta las menores discrepancias, con un MAE de 0,04 m y un RMSE de 0,09 m, lo que confirma el comportamiento prácticamente idéntico observado en las curvas temporales. El mayor nivel de discrepancia se observa en el PO-4, donde se obtiene un MAE de 0,25 m y un RMSE de 0,24 m. Este comportamiento es consistente con lo mostrado en la Figura 4, donde se identifican diferencias más notables en la magnitud del calado entre las simulaciones.

Estas diferencias están asociadas al tipo de malla de cómputo empleada y a las particularidades de la formulación numérica de cada modelo. No obstante, los resultados muestran que las discrepancias entre Iber B y SFINCS A se mantienen dentro de un rango inferior a 0,30 m para ambos parámetros analizados, lo que evidencia una alta consistencia en la representación de la dinámica de inundación costera bajo condiciones de forzamiento equivalentes.

**Table 3.1.** Comparación de errores entre los modelos Iber B y SFINCS A.

| PO | MAE (m) | RMSE (m) |
|----|---------|----------|
| 1  | 0,04    | 0,09     |
| 2  | 0,15    | 0,19     |
| 3  | 0,10    | 0,10     |
| 4  | 0,25    | 0,24     |

### 3.3. Análisis del área inundada

La Figura 3.3 muestra la comparación de las líneas de máxima extensión de la inundación obtenidas con las diferentes configuraciones de los modelos Iber y SFINCS. La configuración Iber A presenta una extensión de inundación mayor respecto al resto de los modelos, lo cual puede atribuirse a la configuración del dominio y al doble mallado empleado, que permite un mayor desarrollo de la onda antes de alcanzar la línea de costa.

Por su parte, Iber B y SFINCS A muestran una alta similitud en la extensión de la inundación, evidenciando un comportamiento espacial consistente entre ambos modelos cuando se emplean resoluciones comparables. En contraste, las configuraciones SFINCS B y SFINCS C muestran una reducción progresiva en la extensión de la inundación hacia el interior del dominio. Este comportamiento evidencia la influencia de la resolución espacial del modelo, donde el uso de mallas más gruesas tiende a limitar la propagación de la inundación en tierra. No obstante, es importante señalar que el hecho de que la línea de máxima extensión alcance determinadas zonas no implica necesariamente que toda el área comprendida hasta ese límite se encuentre completamente inundada. Esto se debe a las características topográficas del terreno y a la presencia de edificaciones y otras estructuras urbanas que condicionan localmente la propagación del flujo.

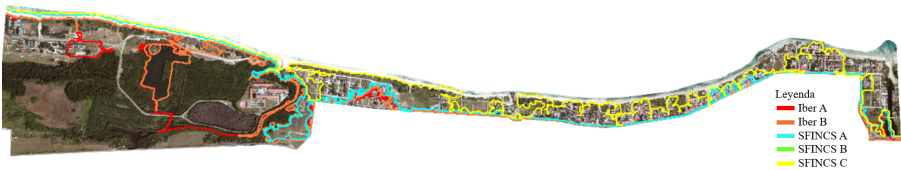


Figure 3.3. Comparación de la extensión máxima de inundación.

Como se muestra en la Tabla 3.2, la configuración Iber A presenta la mayor área inundada, alcanzando 87,71 ha, seguida por Iber B con 84,53 ha. Por su parte, el modelo SFINCS A muestra un área inundada menor (57,77 ha), mientras que las configuraciones SFINCS B y SFINCS C presentan reducciones significativas, con 19,7 ha y 3,09 ha, respectivamente. Esta tendencia evidencia la influencia de la resolución espacial del modelo en la estimación del área inundada, observándose que resoluciones más gruesas tienden a subestimar la propagación de la inundación hacia el interior del dominio.

Table 3.2. Área total inundada.

| Configuración | Área inundada (ha) |
|---------------|--------------------|
| Iber A        | 87,71              |
| Iber B        | 84,53              |
| SFINCS A      | 57,77              |
| SFINCS B      | 19,70              |
| SFINCS C      | 3,09               |

3.4. Tiempo de simulación

Como se observa en la Tabla 3.3, las configuraciones de los modelos presentan diferencias tanto en la discretización espacial como en los tiempos de simulación. En el caso de Iber, las simulaciones se realizaron con mallas no estructuradas de alta resolución, alcanzando 329 472 nodos en Iber A y 313 631 nodos en Iber B, lo que se traduce en tiempos de simulación entre 19 y 11,75 minutos. Por su parte, SFINCS emplea mallas estructuradas con un número de nodos que varía en función de la resolución espacial, desde 362 464 nodos en SFINCS A (3 m) hasta 32 816 nodos en SFINCS C (10 m). A pesar de manejar un número de nodos comparable o incluso superior en la configuración de mayor resolución, los tiempos de simulación del modelo SFINCS resultan considerablemente menores, con valores de 4,48 min, 1,8 min y 0,82 min para las configuraciones A, B y C, respectivamente. Estos resultados evidencian la elevada eficiencia computacional del modelo SFINCS, asociada a su formulación de física reducida, en contraste con Iber, que resuelve de forma más completa las ecuaciones hidrodinámicas.

Table 3.3. Tiempo de simulación de las diferentes configuraciones.

| Configuración | Tiempo (min) |
|---------------|--------------|
| Iber A        | 19           |
| Iber B        | 11,75        |
| SFINCS A      | 4,48         |
| SFINCS B      | 1,8          |
| SFINCS C      | 0,82         |

04 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian que ambos modelos reproducen de manera consistente la dinámica general de la inundación costera bajo condiciones de forzamiento equivalentes. En particular, la comparación entre Iber B y SFINCS A muestra una alta correspondencia en la evolución temporal del calado y en la extensión espacial de la inundación cuando se emplean resoluciones espaciales comparables.

Las diferencias observadas entre configuraciones se relacionan principalmente con la resolución espacial de las mallas de cálculo. En el caso de SFINCS, la disminución progresiva de la resolución (de 3 m a 10 m) se traduce en una reducción significativa tanto de la extensión como del área inundada, lo que evidencia la influencia de la discretización espacial en la representación de la topografía y en la propagación del flujo hacia el interior del dominio.

En cuanto a la eficiencia computacional, los tiempos de simulación muestran diferencias claras entre los modelos analizados. Las configuraciones de Iber presentan tiempos de 19 min y 11,75 min, mientras que SFINCS requiere 4,48 min, 1,8 min y 0,82 min para las resoluciones de 3 m, 5 m y 10 m, respectivamente. Estos resultados muestran que, aun utilizando resoluciones similares, SFINCS presenta tiempos de cálculo considerablemente menores, lo que resalta el potencial de los modelos de física reducida para la evaluación rápida de escenarios de inundación costera.

En conjunto, los resultados indican que SFINCS constituye una herramienta eficiente para estudios de inundación costera, especialmente en aplicaciones donde se requieran múltiples simulaciones o evaluaciones rápidas, mientras que Iber permite una representación hidrodinámica más detallada de los procesos de inundación.

05 REFERENCES

Bates, P. D., Horritt, M. S., & Fewtrell, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1–2), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.027>

Benito, I., Aerts, J. C. J. H., Ward, P. J., Eilander, D., & Muis, S. (2025). A multiscale modelling framework of coastal flooding events for global to local flood hazard assessments. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(7), 2287–2315. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-2287-2025>

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: Herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

Cea, L., & Bladé, E. (2015). A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. *Water Resources Research*, 51(7), 5464–5486. <https://doi.org/10.1002/2014WR016547>

Córdova de Horta, D., Pardo Picazo, M. Á., Prats Rico, D., & Córdova López, L. F. (2025). Modelado dinámico de inundaciones compuestas en áreas urbanas costeras. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 15(1), e1889–e1889.

- Guo, K., Guan, M., & Yu, D. (2021). Urban surface water flood modelling – a comprehensive review of current models and future challenges. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2843–2860. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021>
- Knutson, T. R., Sirutis, J. J., Zhao, M., Tuleya, R. E., Bender, M., Vecchi, G. A., Villarini, G., & Chavas, D. (2015). Global projections of intense tropical cyclone activity for the late twenty-first century from dynamical downscaling of cmip5/rcp4.5 scenarios. *Journal of Climate*, 28(18), 7203–7224. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0129.1>
- Leijnse, T. (2018). Computationally efficient modelling of compound flooding due to tropical cyclones with the explicit inclusion of wave-driven processes. <https://repository.tudelft.nl/record/uuid:53037d4d-d7a9-4f71-9b22-8c329f2b384c>
- Leijnse, T., van Ormondt, M., Nederhoff, K., & van Dongeren, A. (2021). Modeling compound flooding in coastal systems using a computationally efficient reduced-physics solver: Including fluvial, pluvial, tidal, wind- and wave-driven processes. *Coastal Engineering*, 163, 103796. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2020.103796>
- Sañudo, E., Cea, L., & Puertas, J. (2020). Modelling pluvial flooding in urban areas coupling the models iber and swmm. *Water*, 12(9), 2647. <https://doi.org/10.3390/w12092647>
- Sanz-Ramos, M., Sañudo, E., López-Gómez, D., García-Feal, O., Bladé, E., & Cea, L. (2025). Evolución de la modelización numérica bidimensional del flujo en lámina libre a través del software iber. *Ingeniería del Agua*, 29(2), 114–131. <https://doi.org/10.4995/ia.2025.23259>
- Wadey, M., Haigh, I. D., Nicholls, R. J., Brown, J., Horsburgh, K., Carroll, B., Gallop, S., Mason, T., & Bradshaw, E. (2015). A comparison of the 31 january–1 february 1953 and 5–6 december 2013 coastal flood events around the uk. *Frontiers in Marine Science*, 2, 84. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00084>

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### ORCID de los autores

Bryan Pérez León <https://orcid.org/0009-0000-5820-5234>  
Luis F. Córdova López <https://orcid.org/0000-0001-8175-6819>