



*Integrated COastal Alert System*



HUMANITARIAN AID AND CIVIL PROTECTION



A EU financed  
Prevention Project  
in Civil Protection - ECHO



# iCOAST

INTEGRATED COASTAL ALERT SYSTEM

To implement operational morphodynamic predictions, yielding timely and valuable intervention data to reduce coastal risk due to incoming storms.



[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)

Pag. 3



Pag. 16



Pag. 30



A EU financed Prevention Project in Civil Protection - ECHO





### At a glance

**Title:**  
*Integrated COastal Alert SysTem*

**Instrument:**  
*Prevention Projects in Civil Protection*

**Total Cost:**  
*634,310 €*

**EC Contribution:**  
*475,733 €*

**Duration:**  
*24 months*

**Start Date:**  
*01 December 2013*

**Consortium:**  
*7 partners from 3 countries*

**Project Coordinator:**  
*Dr. Vicente Gracia,  
Centre Internacional d'Investigació dels  
Recursos Costaners, CIIRC, Spain*

**Project Web Site:**  
*www.icoast.eu*

**Key Words:**  
*Early Warning, Wave Storm Impact,  
Coastal Risk, Quick Defence Measures,  
Morphodynamic Modelling, Coasts, Policy.*

## THE CHALLENGE

A significant part of the European Mediterranean coast is limited in its ability to deal with environmental, physical and hydro-meteorological hazards due to the presence of promenades, buildings, roads, railways, etc. In many cases, this occupation of the coastal domain has progressed under the assumption that the coastal fringe remains stable. This idea is probably reinforced by a gentle sea state during most of the year resulting in a false perception of security by society. However, high wave energetic conditions are not rare and can cause significant damages, when associated with high water levels. In the last 20 years, extreme storms have been responsible for at least 50 casualties (drowned swimmers and walkers caught/hit by waves) alone in the NW Spanish Mediterranean coast and for significant damages in coastal defences, harbours and infrastructures amounting to over 30M €.

The sea level rise induced by climate change will worsen this coastal flood vulnerability scenario and a considerable amount of people are expected to be threatened by coastal flooding in the years to come.

Thanks to advances in numerical tools and coastal observations, it is now possible to implement operational morphodynamic predictions (water and sediment fluxes) yielding timely and valuable intervention data to reduce coastal risk due to incoming storms.

The main objective of the iCoast (integrated COastal Alert SysTem) project is to develop a tool to address coastal risks caused by extreme waves and high sea water levels in European coastal areas. iCoast can be used as a coastal early warning system to forecast storm events and as a tool to help in the decision making processes of the interventions for managers. The main targets of iCoast are urban beaches and coastal defences and infrastructures where most of the casualties are reported. The system has been tested in the Spanish NW Mediterranean Coast.

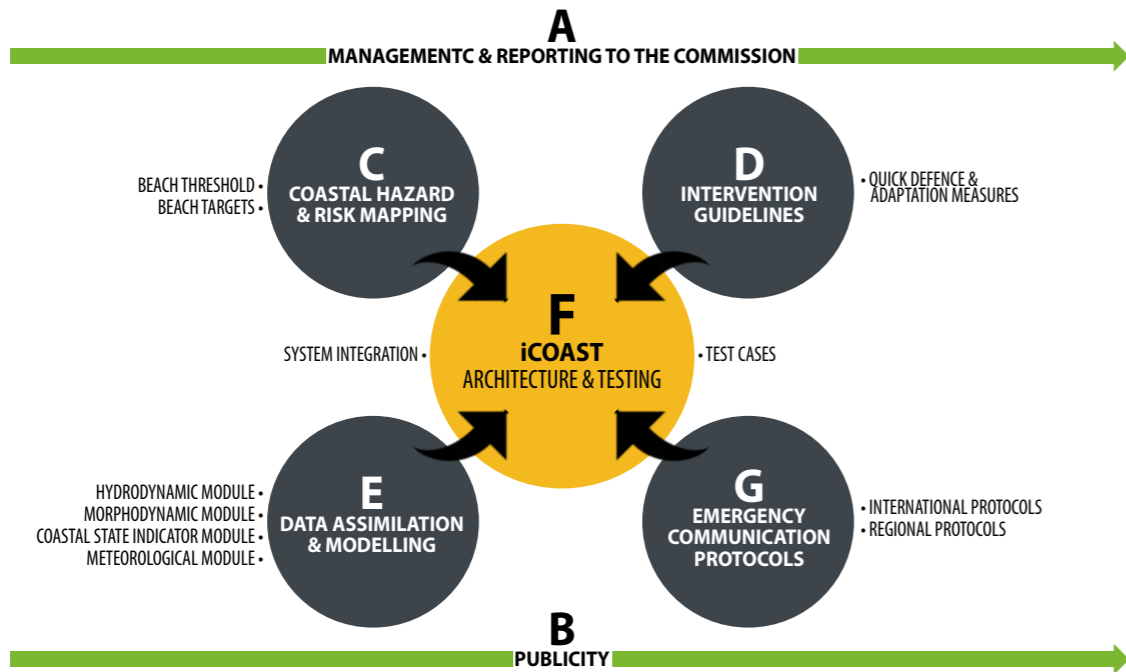


A EU financed Prevention Project in Civil Protection - ECHO

PROJECT DESCRIPTION

Project work breakdown structure

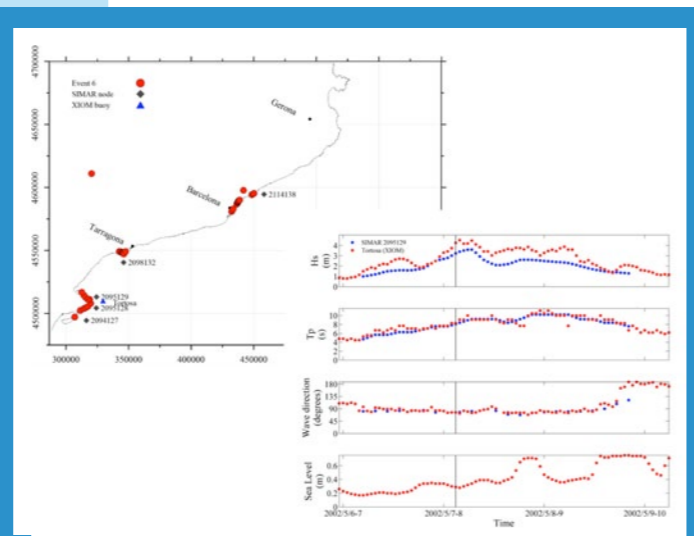
Whereas tasks **A)** and **B)** deal with Project Management and Publicity, the technical core of the project is structured in 5 main tasks: **C)** Coastal hazard and risk mapping, **D)** Intervention guidelines, **E)** Data assimilation and modelling, **F)** iCoast architecture and testing **G)** Emergency communication protocols.



The inventory of damages created in the Coastal hazard and risk mapping task has been used to identify iCoast beach targets. Moreover, their analysis provides valuable information on which are the thresholds that have to be exceeded to activate an alarm and are also used internally within iCoast to run more sophisticated models which usually are in a standby mode.

The core of iCoast is developed within the "Data assimilation and modelling" task where all the computing models are setup and validated. In parallel, a review of existing coastal risk management strategies is done within the "Intervention guidelines" task whose main objective is to propose a set of interventions in case of alarm to reduce the forecasted coastal risk. This activity relies on the results provided by the different models which are used in iCoast to better identify the Quick Defence/Adaptation (QD/AM) measures to be taken in case of a wave storm.

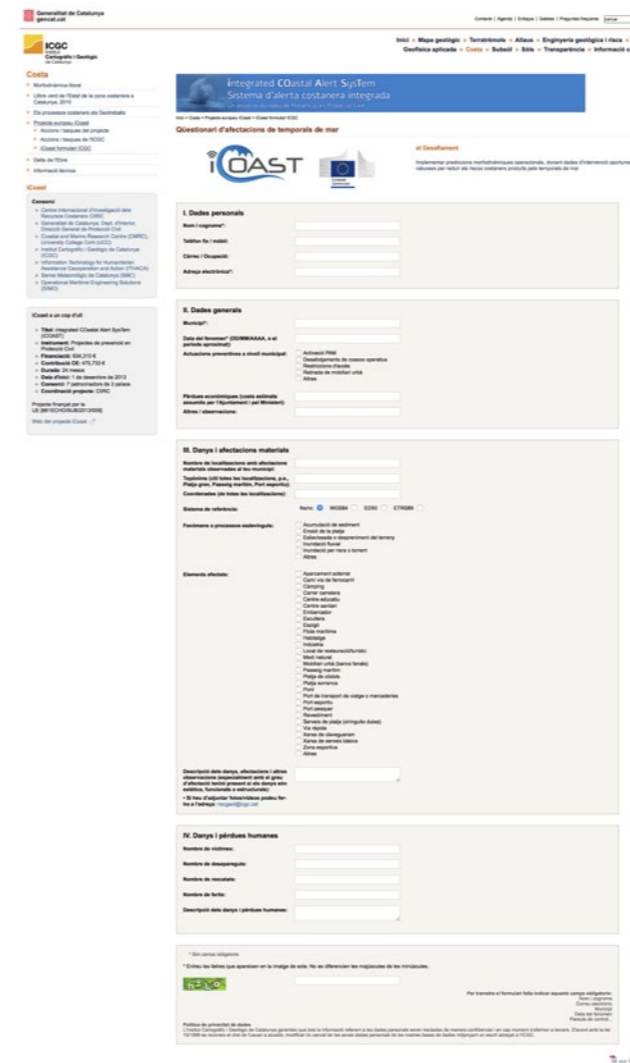
The architecture of the iCoast prototype, which includes the forecasting steps, how models will be interconnected, the timing and selection of areas of interest, how the information obtained by the system is processed and the activation of the alerts is covered within task F. Once coastal risks have been characterized, a definition of the protocols to act and/or inform users (also to be defined in terms of information that has to be provided) has been established within the Emergency Communication Protocols defined in task G.



**Figure 2** Temporal evolution of significant wave height, peak period, wave direction and water level during the storm event that took place between the 6th and 7th of May 2002. The black solid line indicates the day the damage was reported in the news.



COASTAL HAZARD AND RISK MAPPING



An inventory of coastal damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) has been gathered from newspaper archives (from 1900 to 2013) to define the coastal hazard landscape and to identify the beach targets of iCoast. The inventory is used to identify severe storm events and to create a hydrodynamic dataset in which the wave and mean water level characteristics are collected. As an example, *Figure 2* here below shows the hydrodynamic and reported damages of the event that took place between the 6th and 7th of May 2002.

This information is used to help on the definition of storm thresholds of damage triggering which activate different numerical models within iCoast.

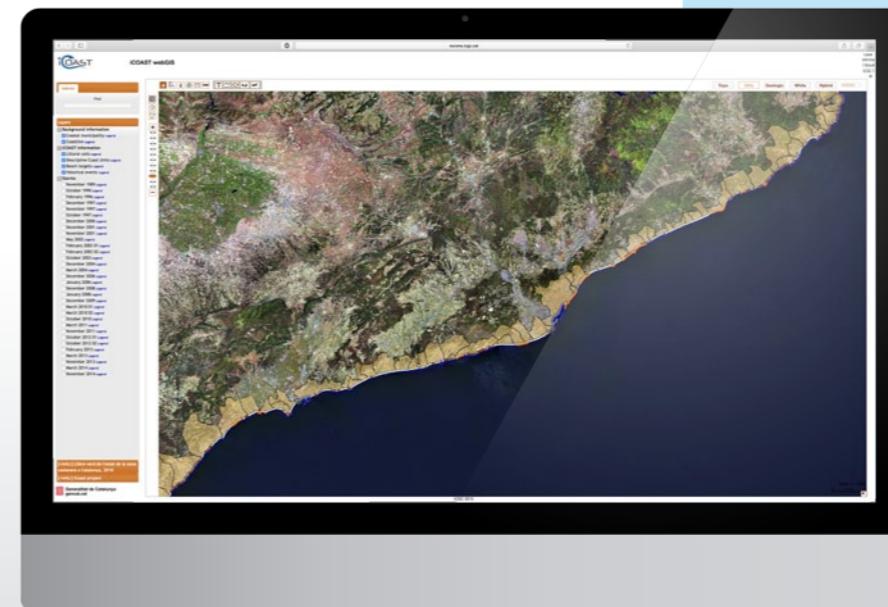
In order to gather information on new coastal damages and collect it into an inventory database, a web form (*Figure 3*) aimed at reporting storm effects during the wave storm season has been implemented for the use of municipal and civil protection technicians, who are asked to report on where, when, how and what storm damage has occurred.

The form includes the following fields:

- Personal data of the informer
- General data of the event
- Material damages
- Fatalities and injuries

The web form can be found at the following address [http://www.icg.cat/web/ca/icoast\\_form\\_icgc.html](http://www.icg.cat/web/ca/icoast_form_icgc.html)

**Figure 3** Web form aimed at reporting storm effects during the wave storm season



**Figure 4** iCoast webGIS, available at <http://siurana.icgc.cat/visorIGC/icoast.jsp>



INTERVENTION GUIDELINES

D

This task consists in the review of existing scientific and technical reports and involves recommendations for the best rapid-practice management of potential coastal disasters resulting from storminess and other extreme events, e.g., from tsunamis, oil and chemical spills. Rather than focussing on hard engineering solutions whose implementation require significant investments, high energy costs and can unleash undesirable side-effects due to the steadiness of such interventions, the task has focussed on identifying existing Quick Defence Measures and Quick Adaptation Measures (QDM/QAM). These solutions aim at reducing the coastal hazards in a timely and low-cost manner.

Urban coastal areas, often located in river estuary-low lying environments, are particularly vulnerable and likely to benefit from the use of these techniques. The measures, such as the rapid deployment of sand bag systems, bulldozed sand barriers, trenching, and/ or mobile re-usable flood barriers in the beach zone in front of high risk areas, use relatively simple technologies and are affordable to most coastal communities. A further distinct advantage of these measures is that they could help provide a longer life to existing fixed coast protection systems, in helping take the pressure of such defences at relatively low cost. However, the use of the approaches does require the set up and operation of a robust early warning system for coastal disaster events.



up to 8 days in advance. The second simulation refines the atmospheric outputs for the first 5 days by running the limited area model WRF-ARW at 15 km of grid length for SW Europe region. Finally, the third simulation, consisting on a nested run of WRF-ARW at 3 km for the whole Catalan Coast (NE Spain), furnishes the system with higher resolution data for the first 3 forecast days. The limited area models have been calibrated in order to address the wind overestimation detected at lower levels.

**The Meteorological Module**

The meteorological module is at the first step in the iCoast modelling part. It consists of a suite of numerical models that provides atmospheric information to feed the hydrodynamic and morphodynamic models. Additionally, the meteorological outputs can be used to derive the coastal indicators. The meteorological model configuration comprises 3 simulations. The first one provides meteorological data at a coarse resolution from the Global Forecast System (GFS)

**Table 1**  
Meteorological simulation characteristics. Grid length refers to the distance between points in the model, lead time to the time span forecasted, domain to the extension covered and model to the name of the model applied

Name	Grid length	Lead time	Domain	Model
Simulation 1	55 km	192 h	Europe	GFS/GEFS
Simulation 2	15 km	120 h	SW Europe	WRF/ARW
Simulation 3	3 km	72 h	NE Spain	WRF/ARW

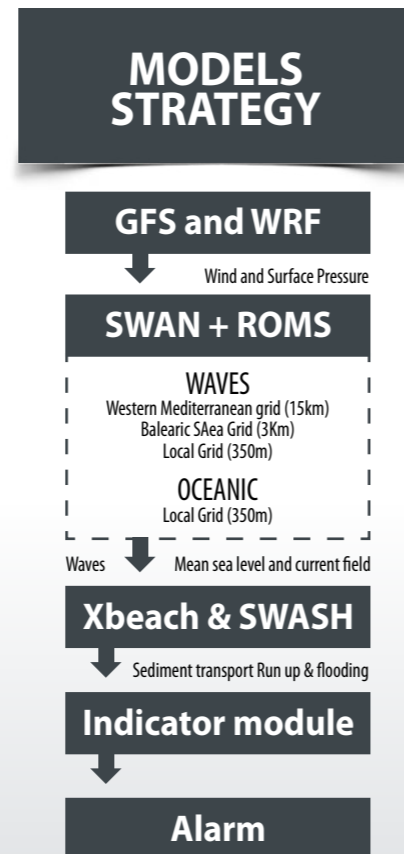
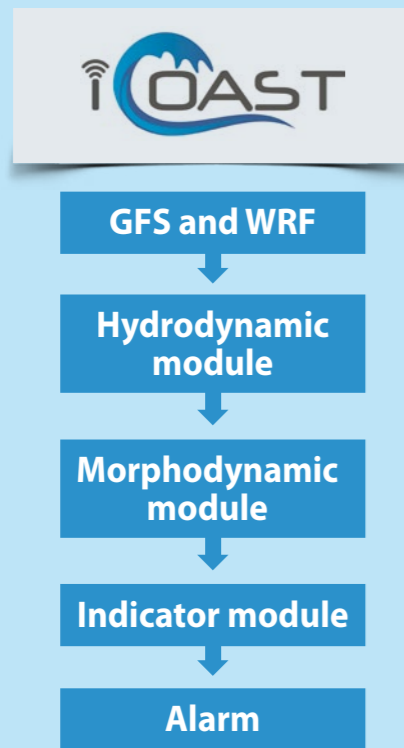
DATA ASSIMILATION AND MODELLING

E

This task performed the calibration/validation and adequacy of the different existing meteorological, hydrodynamic and morphodynamic models to be used within iCoast, performing simulations of selected extreme events defined in task C

"Coastal hazard and risk mapping". Moreover, a coastal state indicator module has been developed in order to properly aggregate the results of the models to finally define the level of alarm for a specific storm event.

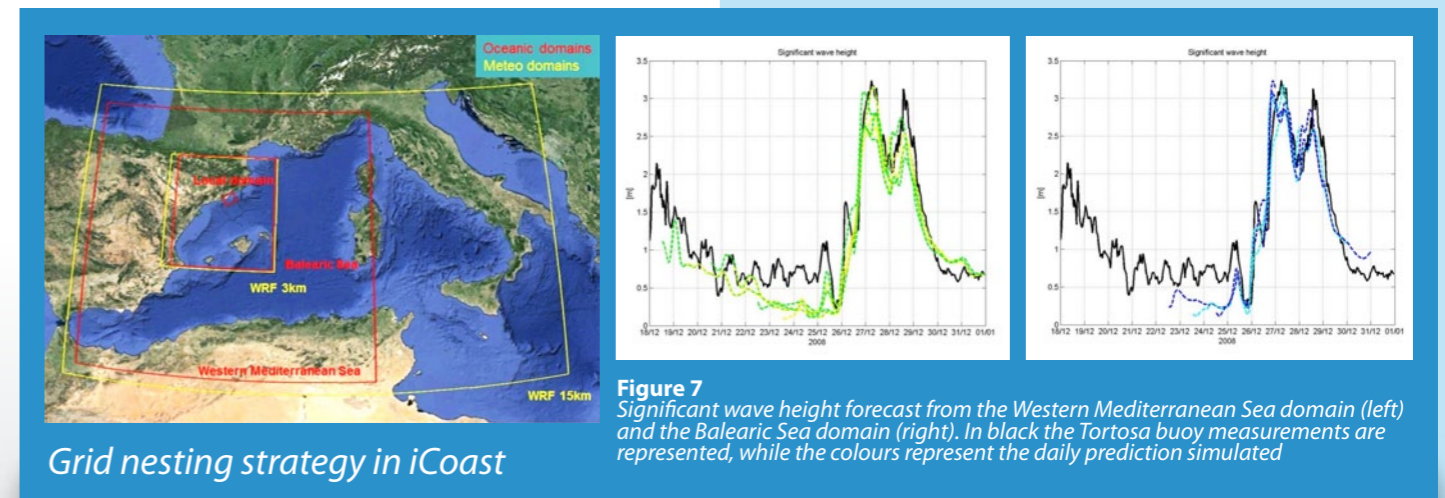
iCoast modelling framework



**The Hydrodynamic Module**

In order to forecast the wave field, sea level and ambient currents, the SWAN wave model and the ROMS oceanic model have been implemented in the area using a combination of the wind fields provided by the set of atmospheric models of Table 1 above. The hydrodynamic module supplies information about the waves and the sea level in a coarse grid 8 days in advance. If

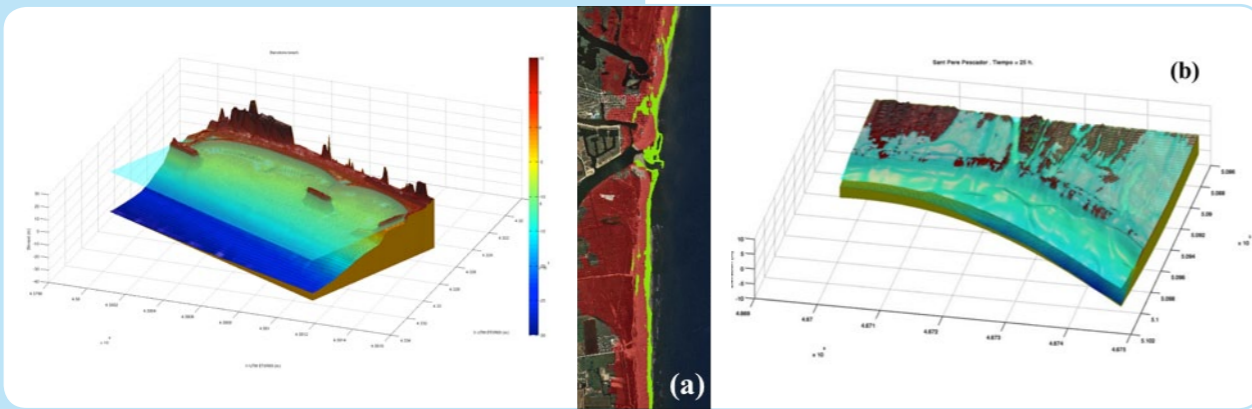
a storm is detected, more accurate information is provided 5 days in advance, including 3km resolution waves, currents and sea level information. In the affected local areas, high resolution information is available 3 days in advance. The results from the case test (December 2008) show that the hydrodynamic module is able to properly reproduce the wave conditions 8 days in advance, capturing the magnitude and the timing of the storm peak (Figure 7).



**Figure 7**  
Significant wave height forecast from the Western Mediterranean Sea domain (left) and the Balearic Sea domain (right). In black the Tortosa buoy measurements are represented, while the colours represent the daily prediction simulated

**The Morphodynamic Module**

The Morphodynamic module takes advantage of two complex open source numerical models: XBEACH and SWASH. The XBEACH model is used to evaluate wave impacts on beaches. The model describes the coastal processes that happen under extreme conditions, for a given coastal fringe, especially between the wave breaking zone and the emerged part of the beach. It reproduces the physics of the system in a 2DH domain (depth-averaged bidimensional flux). An example of the modelling outputs provided by the model within iCoast is shown in the following figure.



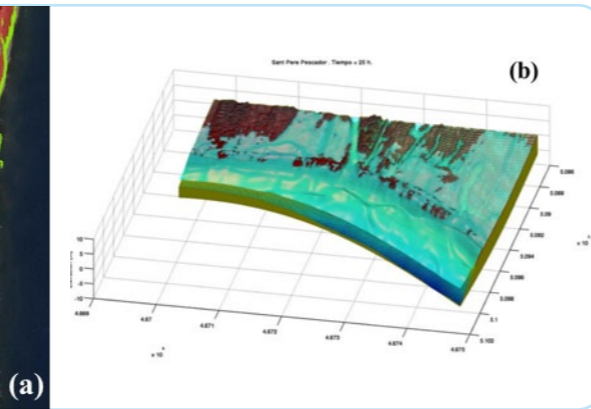
**Figure 8**  
Morphodynamic model of the Barceloneta beach (Barcelona)

**The Coastal State Indicator Module**

Coastal State Indicators (CSI) are key parameters providing end-users with information about coastal hazards and related impacts, in order to enhance the prediction, the monitoring and the mitigation of coastal risks. The full set of selected CSI is represented by eleven parameters; they include both physical variables used as trigger for meteorological and flood warnings from the majority of the operational National/Regional warning systems and further essential parameters, so called 'storm integrated' coastal-storm indicators, able to describe the physical processes that drive coastal damages, such as erosion, accumulation, flooding, destructions.

The model also has been used to test the sensitivity of a beach target to Sea Level Rise (SLR). Figure 9 (a) shows the impact of an extreme storm for present conditions (green) and by considering a SLR in the year 2100 (according to the RCP8.5 scenario). Figure 9 (b) shows a three-dimensional representation of the area for the year 2100.

The SWASH model solves the wave hydrodynamics in shallow water environments. This model is suitable for reproducing coastal and harbour environments where the possible hazards (overtopping, harbour agitation) require a time scale resolution of individual waves and there is no need to solve the bottom evolution of the beach.



**Figure 9**  
(a) in green coastal flood affectation of a high extreme event at Sant Pere Pescador Beach; red indicates the same event assuming a SLR of 0.6m. (b) 3D representation of the event.

**COASTAL STATE INDICATORS**

- Significant Wave Height (Hs)
- Wave Direction (WaD)
- Wave Peak Period (Tp)
- Mean Water Level (MWL)
- Wind Speed (WiS)
- Wind Direction (WiD)
- 24h Accumulated Precipitation
- Total Energy (TE)
- Total Energy Flux (TEF)
- Run Up Parametrization (RU1)
- Run Up Stockdon (RU2)

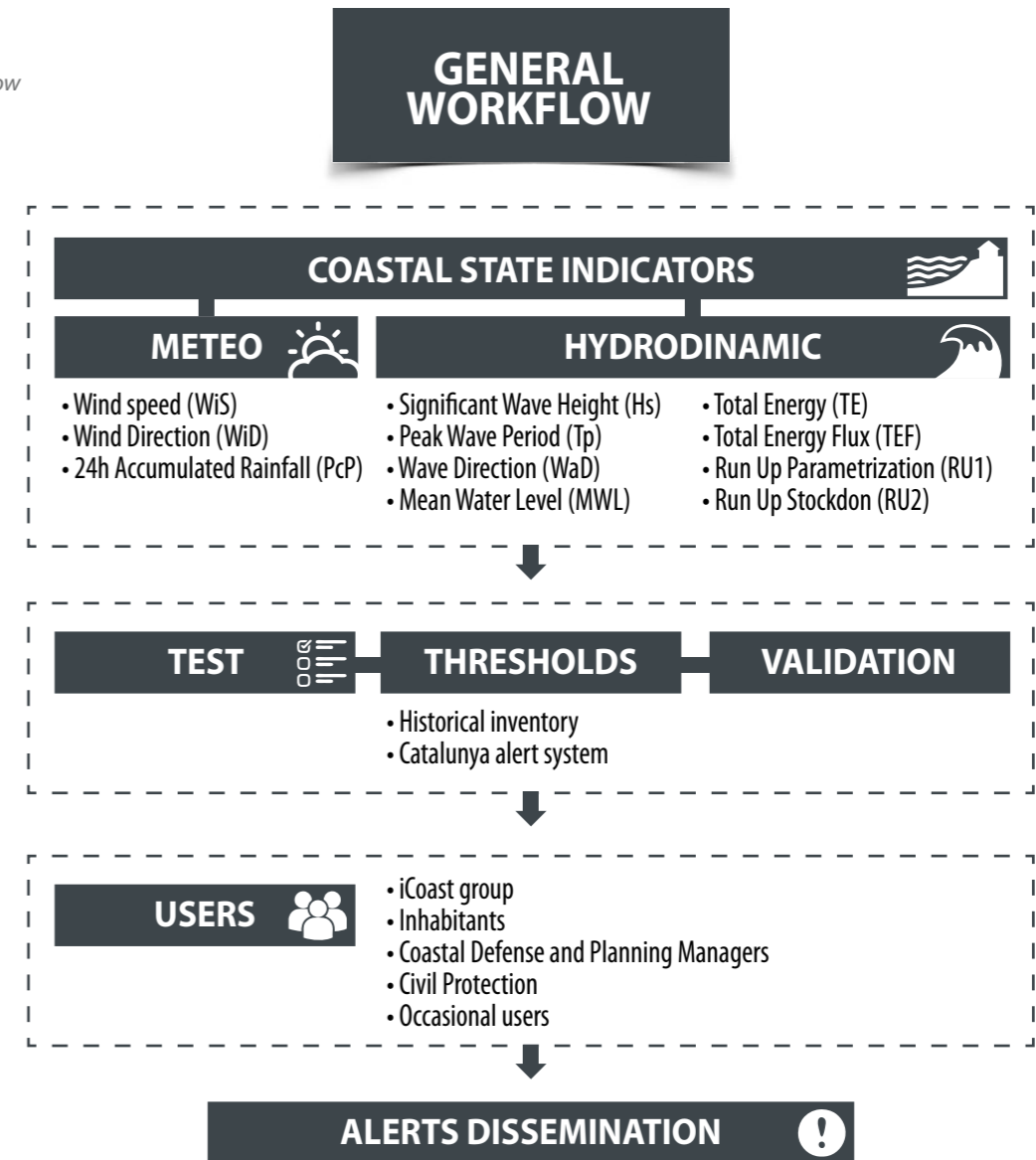
**Figure 10**  
Set of selected Coastal State Indicators (CSI)

The selected CSI are believed to be particularly efficient since they are:

- measurable - quantifying the magnitude of each parameter
- predictable - providing information in advance
- comparable - comparing the predicted state of the indicators with a preferred situation
- informational - easy to be understood

CSI can be selected, aggregated, weighted and compared with reference thresholds, in order to produce and disseminate alert messages that can be easily tailored to different end-user's needs.

**Figure 11**  
CSI workflow



**DATA ASSIMILATION AND MODELLING**

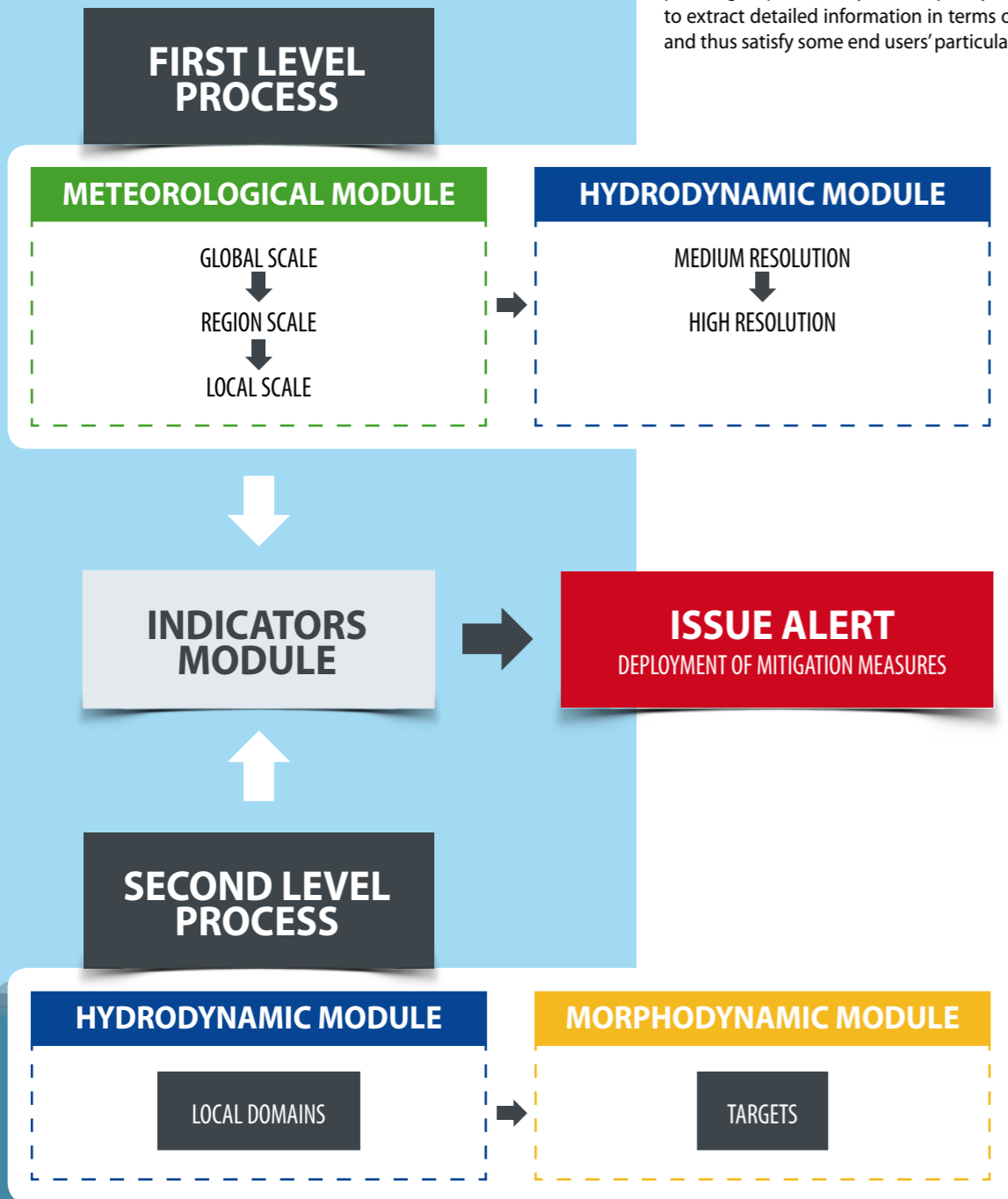


iCOAST ARCHITECTURE AND TESTING



This task dealt with the implementation of the iCoast prototype, by linking the meteorological, hydrodynamic, morphodynamic and coastal state indicators modules making them interact in an operational mode.

Figure 12  
First and second level of process



System strategy

The iCoast tool has been designed to run two different levels of process. The first level provides meteorological and hydrodynamic conditions over a broad area for a medium range forecast. The Coastal State Indicators module takes the results of this first level analysis and decides whether to generate alerts and suggest mitigation measures or, if considered not enough, to launch a second level process. This second level process exploits the hydrodynamic local domain and the beach and port targets provided by the morphodynamic module in order to extract detailed information in terms of floods and erosion and thus satisfy some end users' particular needs.

Scenario definition

A scenario should be able to address a risk information useful to help citizens and users to be prepared and therefore to take the right actions at the right time in order to face a storm event and its potential coastal damages. Within iCoast, risk scenarios are identified as a combination of CSI alerts, for different lead-times (i.e 24h, 3days, 7days), using different models resolutions (15km and 3km) and adapting them to different end-users. Alerts thresholds are derived from the results reported in the inventory of historical coastal damages performed within the "Coastal hazard and risk

mapping" task.

Historical scenarios are derived and validated for the two case studies of iCoast project: the event of 26/12/2008 and the event of 06/03/2013. Moreover additional scenarios are generated considering the climate change effects. In particular projections of Mediterranean sea level rise at year 2100 are used as input to increase the forecasted Mean Water Level. In order to be immediately understood by technical and non-technical users, scenarios are represented both as numerical alert matrix and as maps, reporting alerts for each beach target and for different end-users.

Beach target name	Beach target type	Date	Alert for occasional users	Alert for civil protection	Alert for iCoast group
BADALONA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
BARCELONA BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	2	3
CABRERA DE MAR BEACH	REVETMENTS	06/03/2013	1	2	3
CAMBRILS PORT	PORT	06/03/2013	1	1	0
FORUM PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
GAVA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
GINGOLERS GROYNES	GROYNES	06/03/2013	0	1	0
L'ESCALA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	0	2	3
LLANÇA PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
LLORET DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
MARQUESA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
MATARO PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
OLIMPIC PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
PALS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
PREMIA DE MAR PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
RIERA RIUDOMS GROIN	GROYNES	06/03/2013	1	1	0
RIFA-PILANS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
SANT SEBASTIA BEACH	ENCLOSED BEACH	06/03/2013	1	1	3
SITGES BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	1	1
SOUTHERN MATARO BEACH	REVETMENTS	06/03/2013	1	2	3
TORDERA RIVER DELTA	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
TOSSA DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
TRABUCADOR BAR	BARRIER BEACH	06/03/2013	1	2	0

Table 2  
Customized alerts for different users for the event of 06.03.2013

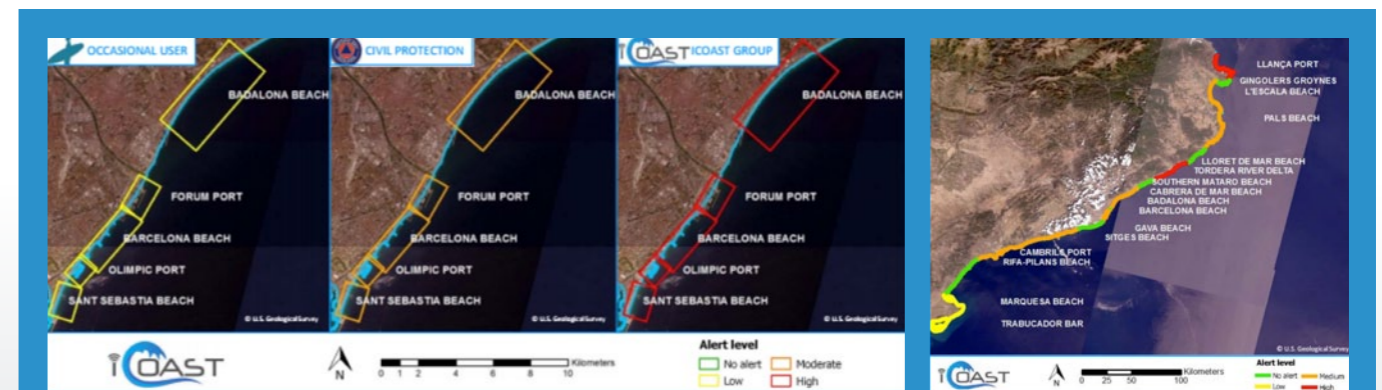


Figure 13  
Customized alerts for different end-users based on 24h lead-time 3km WRF for the 06/03/2013

Figure 14  
Alerts for the Catalan Coast based on 24h lead-time 3km WRF for the 26/12/2008

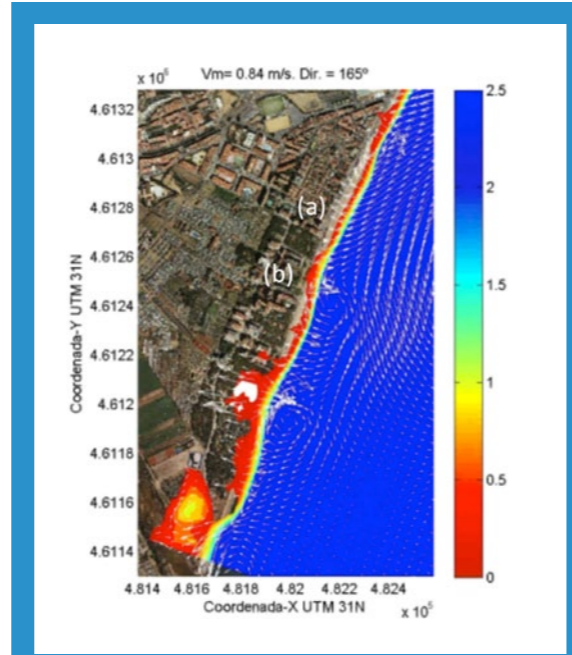


**Tool implementation and tests**

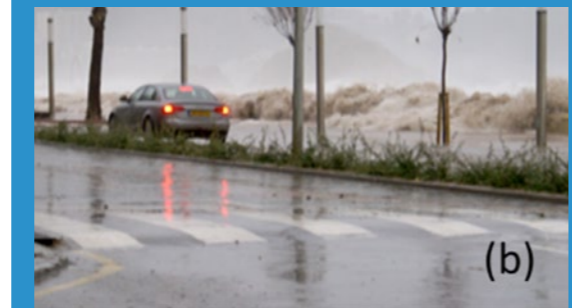
Two storms have been selected to test iCoast: the Storm of December 2008 and the Storm of March 2013. The first case is used to determine the viability of iCoast whereas the second is used to test iCoast in a fully operational mode. Both cases have been used to validate the results with an existing buoy and tide gauge network.

The December 2008 storm hit the Catalan coast for more than 50 hours causing important beach erosions, severe damages in coastal and harbour structures due to overtopping and local flooding. It caused also three casualties and a generalized social alarm which resulted in the closing of beaches, promenades and breakwater gangways. Figure 15 reproduces the observed coastal flooding.

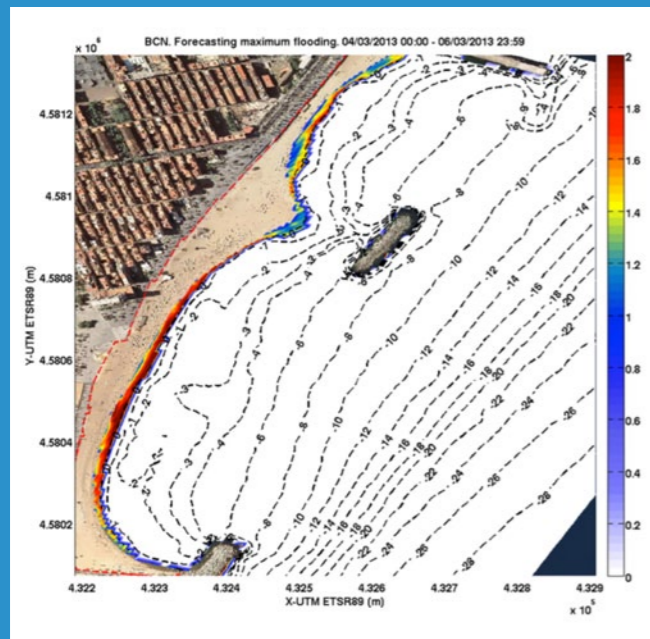
In March 2013 two consecutive storms hit the coast generating intense erosion at Barcelona beaches. Mass media reported the event as a risky situation although no significant economic losses were known. The 2013 storm test proved the feasibility of the iCoast defined model chain strategy and also the models accuracy for the storm event. The meteorological and oceanographic bunch of models showed that the downscaling process tends to provide better forecasts. Figure 16 shows the beach response.



**Figure 15**  
Predicted flooding at S'Abanell during the storm of December 2008.



Reported images in the newspapers of the event (source: www.publblanes.net).



**Figure 16**  
Maximum flood forecasted 3 days in advance from the storm of 2013

**iCOAST ARCHITECTURE AND TESTING**

**F**

**G**

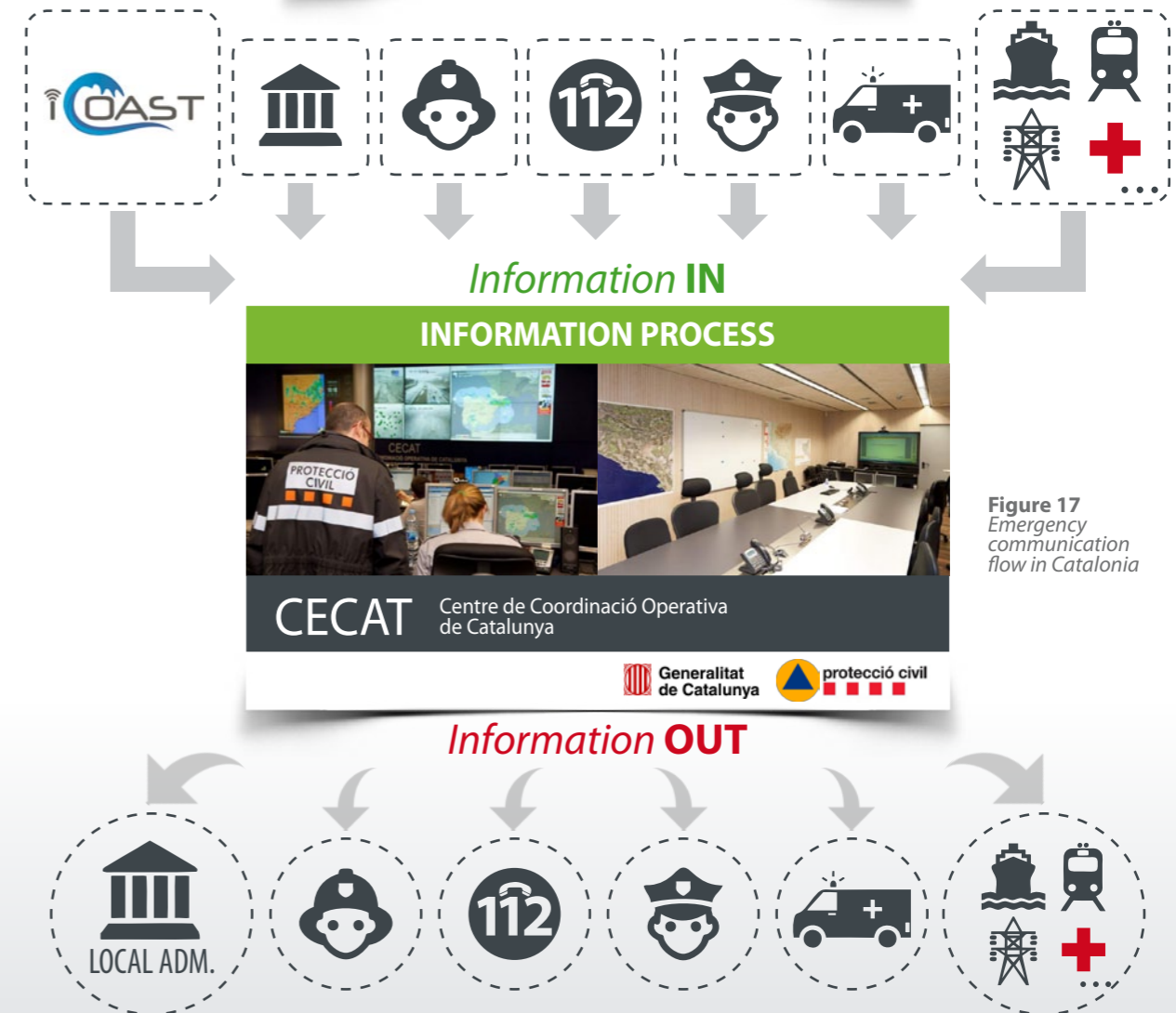
**EMERGENCY COMMUNICATION PROTOCOLS**

This task consists in defining how the results of iCoast are transferred into ground actions, by providing guidance on how the local community should be reached by official warnings and pieces of advice for all possible vulnerable elements exposed to a sea storm. A review of emergency communication protocols has been done at regional and national levels, comparing them with the international standards and recommendations used in the western Mediterranean regions.

At local level, the Emergency Centre of Catalonia (CECAT) is responsible to provide the official warnings and pieces of advice to affected population and stakeholders. This includes the activation of mechanisms of communication between CECAT and end-users (municipalities).

These protocols take into account the population vulnerability of each territory and the infrastructures on site. Seasonal variation of risk is included since tourist affluence and uses of the seaside change along the year. The Coastal State Indicators (CSI) identified within iCoast are now available to test the integration of different reference data-sets potentially allowing end-users to have different warning messages depending on specific needs (affected parking areas, houses, population, promenades, etc...). Therefore existing communication protocols at the regional and national levels could be integrated to the protocols specifically developed in the context of iCoast to strengthen the emergency centres during the warnings and response phases of coastal emergencies.

**EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE**



**Figure 17**  
Emergency communication flow in Catalonia

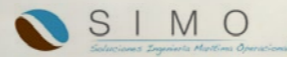
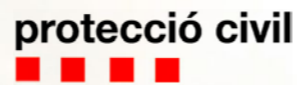




*Integrated COastal Alert SysTem*  
A EU financed Prevention Project in Civil Protection - ECHO

**SUMMARY AND CONCLUSIONS**

A prototype tool has been developed in the project to help in coping with severe sea states. This extreme situation is defined by a combination of intense waves and a high water levels. Despite the iCoast application region is in a wave driven environment, it has been found that the water level is a key factor triggering the coastal damage. The methodology developed lets the identification of coastal hot spots and weather thresholds associated to coastal damages. The models used and nesting strategy provides timely information to activate if necessary the appropriate interventions to diminish the forecasted risk. A small dune-trench system has been proposed to face waves and flooding for specific sea state conditions. The developed framework can be implemented in other coastal European regions to help in the decision-making process of coastal risk management.



[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)







### Lectura rápida

**Título:**  
*Sistema integrado de alerta costera*

**Instrumento:**  
*Proyectos de prevención en protección civil*

**Coste total:**  
634,310 €

**Contribución por la Comunidad Europea:**  
475,733 €

**Duración:**  
24 meses

**Fecha de inicio:**  
01 Diciembre 2013

**Project Coordinator:**  
*Dr. Vicente Gracia,  
Centre Internacional d'Investigació dels  
Recursos Costaners, CIIRC, Spain*

**Página web del proyecto:**  
[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)

## EL RETO

Una parte importante de la costa mediterránea europea tienen limitada la capacidad de hacer frente al oleaje. La existencia de paseos marítimos, edificios, carreteras, vías férreas, etc. impiden la dinámica natural de la playa generándose un problema de gestión puesto que resulta necesario protegerse de la acción de las olas. En muchos casos, la ocupación del dominio costero ha progresado bajo el supuesto de que la playa permanecería estable. Además, el hecho de que el Mediterráneo es un mar tranquilo durante los meses de mayor afluencia de público ha llevado a una falsa percepción de seguridad por parte de la sociedad. No obstante, las condiciones de fuerte oleaje no son infrecuentes y pueden causar daños significativos cuando están asociados a niveles de mar altos. En la costa mediterránea española, los temporales de mar han causado más de 50 víctimas mortales (nadadores ahogados y peatones arrastrados/golpeados por olas) en los últimos 20 años, además de cuantiosos daños en defensas e infraestructuras costeras por un valor superior a los 30M€.

La subida del nivel del mar prevista para este siglo debido al cambio climático puede agudizar esta situación. Es de esperar por tanto que las situaciones de peligro generadas por oleajes intensos y nivel del mar alto sean cada vez más frecuentes.

Los avances obtenidos en los últimos años en el modelado numérico permiten implementar predicciones morfodinámicas (flujos de agua y sedimento) de forma operacional. Estos sistemas de predicción permiten tener un conocimiento más detallado de la respuesta de la costa con anticipación frente a una condición de temporal dada.

El objetivo principal del proyecto iCoast ("integrated Coastal Alert System", Sistema integrado de alerta costera) es desarrollar una herramienta para abordar las amenazas costeras producidas por oleajes extremos y niveles del mar altos. El sistema está pensado para ser utilizado en las costas de Europa y en especial las playas urbanas y/o tramos de costa con infraestructuras (paseos marítimos, revestimientos, puertos). iCoast puede ser usado como un sistema de alerta costera temprana para predecir el impacto del oleaje o como una herramienta para ayudar en los procesos de toma de decisiones para disminuir un determinado riesgo costero. El sistema ha sido probado en la costa catalana.



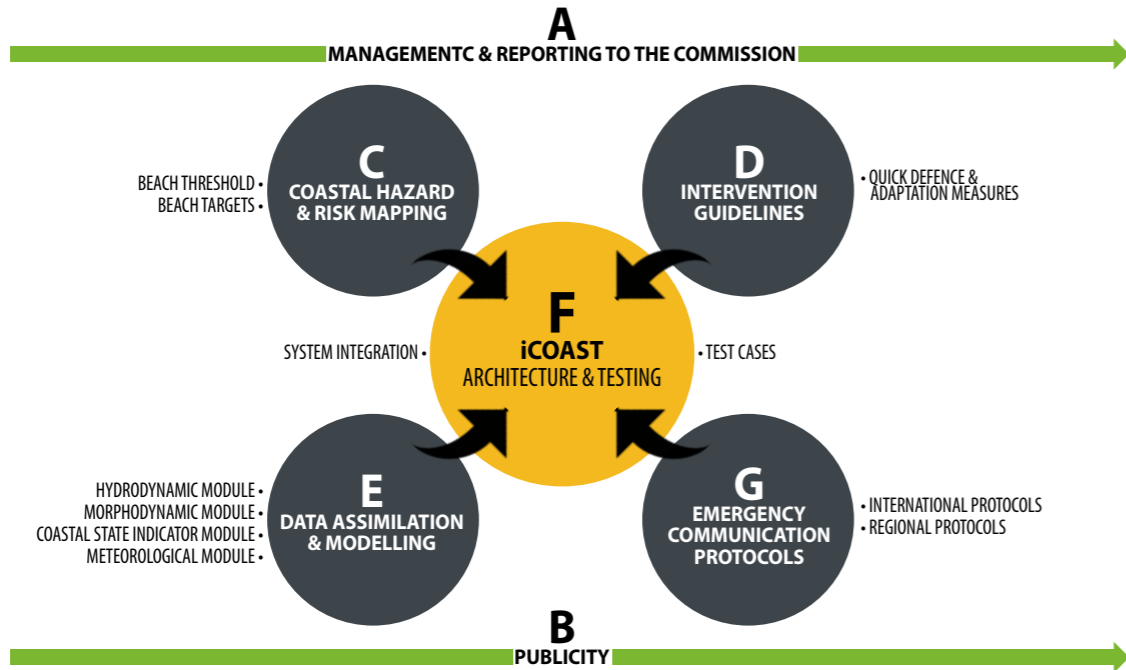
Un proyecto de prevención en protección civil financiado por la UE - ECHO



DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Estructura del proyecto iCoast

Las tareas **A)** y **B)** tratan sobre la Gestión y Publicidad del proyecto mientras que el núcleo técnico está estructurado en 5 tareas principales: **C)** Peligrosidad costera y Cartografía del riesgo, **D)** Directrices de intervención, **E)** Asimilación de datos y modelización, **F)** Arquitectura de iCoast y aplicación y, **G)** Protocolos de comunicación de emergencias.



El inventario de daños creado en la tarea de "Peligrosidad costera y cartografía del riesgo" ha sido utilizado para identificar playas objetivo para el proyecto iCoast. Además, el análisis de éstas proporciona valiosa información sobre cuáles son los umbrales que deben ser sobrepasados para activar un alarma, aparte de ser usado internamente en iCoast para ejecutar modelos más sofisticados que normalmente están en modo de espera. El núcleo de iCoast se desarrolla dentro de la tarea "Asimilación de datos y modelización", donde todos los modelos computacionales son configurados y validados. En paralelo, una revisión de estrategias existentes de gestión de riesgos costeros es llevada a cabo dentro de la tarea "Directrices de intervención", cuyo objetivo es proponer una serie de intervenciones, en caso de alarma, para reducir el riesgo costero previsto. Esta actividad se apoya en parte en los resultados proporcionados por los modelos utilizados en iCoast puesto que han permitido definir con mayor precisión las medidas rápidas de defensa/adaptación (QD/AM). La arquitectura del prototipo de iCoast, la cual incluye los pasos de predicción, cómo los modelos estarán interconectados, el momento y el área de interés a seleccionar, cómo la información obtenida por el sistema será procesada y cómo serán activados los alertas, es detallada en la tarea F. Una vez los riesgos costeros han sido caracterizados, una definición de los protocolos de actuación y/or información a usuarios (también definido en términos de información que debe ser proporcionado) han sido establecidos dentro de los "Protocolos de comunicación de Emergencias" definidos en la tarea G.

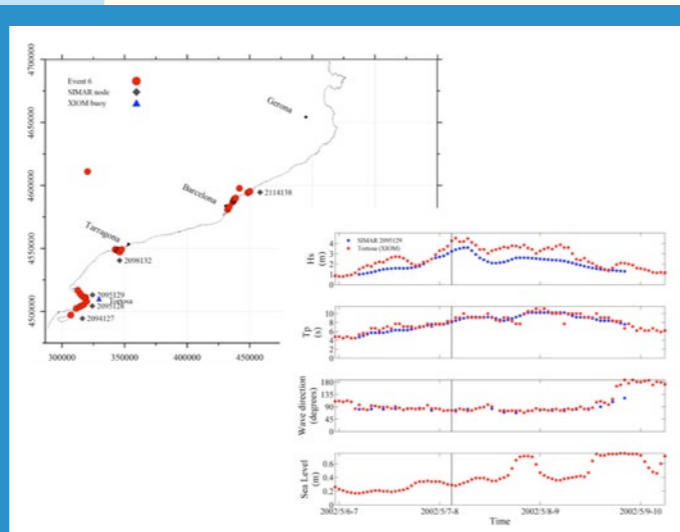
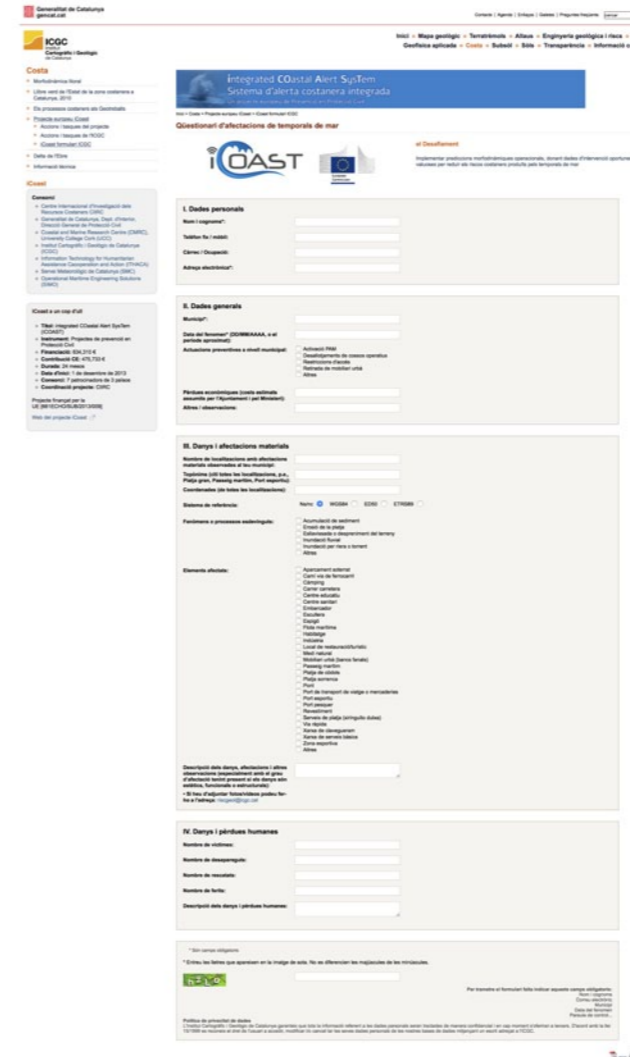


Figura 2 Evolución temporal de la altura de ola significativa, periodo pico y dirección asociados y nivel medio del mar del suceso que tuvo lugar entre el 6 y el 7 de Mayo de 2002. La línea sólida negra indica el día de inicio de este suceso según aparece en las noticias.



PELIGROSIDAD COSTERA Y CARTOGRAFIA DEL RIESGO



Se ha realizado un inventario de daños costeros a partir de todas aquellas noticias aparecidas en los medios de comunicación en relación con daños ocurridos en la costa catalana. El inventario cubre los años 1900 a 2013 si bien se han escogido el período 2000-2013 para describir el paisaje del riesgo costero en Catalunya. El análisis de los datos ha permitido identificar puntos especialmente sensibles al impacto de temporales. Cada uno de los eventos se describe en términos oleaje y nivel del mar para finalmente definir los umbrales que deben ser sobrepasados para activar una alarma. Como ejemplo, la Figura 2 muestra los datos recopilados per a el evento de que tuvo lugar entre el 6 y el 7 de Mayo de 2002.

Estos valores son utilizados en iCoast para ejecutar modelos numéricos más sofisticados y costosos computacionalmente, que proporcionan una información muy detallada del impacto del temporal. Otro de los resultados destacados de esta tarea ha sido la construcción de un formulario de afectaciones (Figura 3) dirigido a los responsables municipales y público en general que permita recopilar de forma más estandarizada los daños causados por temporales futuros. El formulario incluye los siguientes campos:

- Datos personales del informador
- Información general del suceso
- Daños materiales
- Siniestros y lesiones

El formulario está disponible en la siguiente dirección de internet:  
[http://www.igc.cat/web/ca/icoast\\_form\\_igcg.html](http://www.igc.cat/web/ca/icoast_form_igcg.html)

Figura 3 Formulario de internet para informar sobre los daños ocasionados por un temporal.

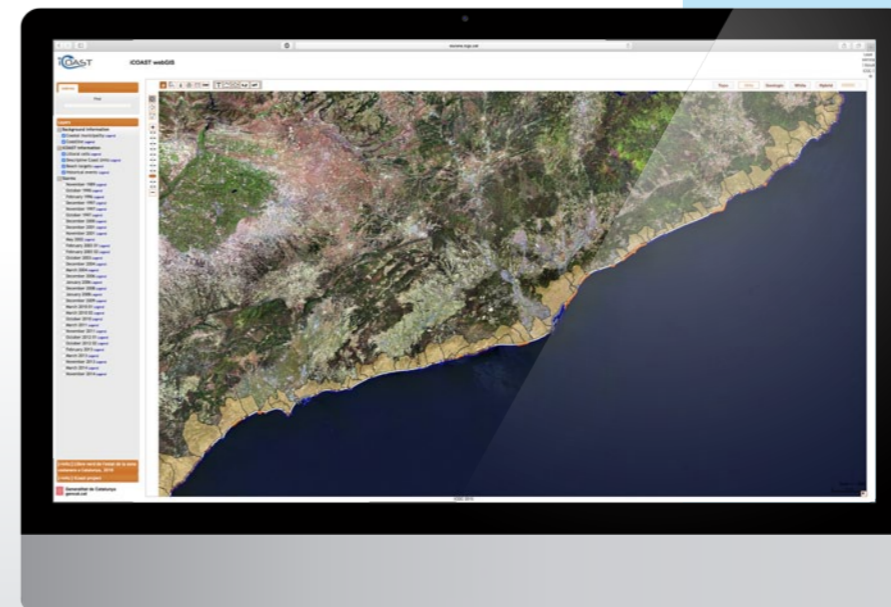


Figura 4 El WebGIS de iCoast disponible en <http://siurana.icgc.cat/visorIGC/icoast.jsp>



## DIRECTRICES DE INTERVENCIÓN

### D

En esta tarea se ha realizado una revisión de trabajos científicos y documentos técnicos sobre la gestión del riesgo debido al impacto de un temporal. En ella se incluyen recomendaciones existentes para la gestión de otros sucesos extremos como maremotos, o vertidos de petróleo u otras fuentes de contaminación. A partir del análisis de la información recopilada se proponen una serie de recomendaciones para la gestión del riesgo costero desde un punto de vista operacional, es decir, con especial énfasis en aquellas acciones que pueden ser ejecutadas unas horas antes del impacto del temporal. A diferencia de las aproximaciones clásicas, que requieren una fuerte inversión un alto coste energético y que pueden provocar efectos co-laterales no deseables, estas medidas de acción rápida (QDM/QAM) pretenden disminuir el riesgo asociado a la predicción de un determinado evento de una forma más eficaz, optimizando los recursos disponibles si bien de forma efímera, sólo válidas para el temporal predicho.

Las áreas costeras urbanas, y en especial las costas bajas o zonas localizadas en entornos estuarinos, son particularmente vulnerables y adecuadas para aplicar tales medidas de actuación rápida. Estas técnicas como por ejemplo el uso de sacos de arena, barreras de arena, trincheras, y/o barreras móviles y reusables contra la inundación requieren de una logística relativamente simple para su ejecución y asequible por la mayoría de comunidades. Otra ventaja importante, es que aumentan la eficacia de las obras de protección clásica existentes. No obstante, sólo pueden ser utilizadas como medidas de disminución del impacto dentro de un sistema de alarma costero puesto que requieren conocer con detalle cual será el impacto del temporal al que quiere hacer frente con antelación.

#### El módulo meteorológico

El módulo meteorológico es el primer paso dentro de la secuencia de modelos de iCoast. Consiste en un grupo de modelos numéricos que proporcionan información atmosférica necesaria para alimentar los módulos hidrodinámicos y morfodinámicos. Por otra parte, las variables meteorológicas resultado del modelo son utilizadas como indicadores del riesgo. La configuración del modelo meteorológico consiste en 3 simulaciones. La primera proporciona datos a baja resolución espacial, del Sistema de Predicciones Global (GFS), con hasta 8 días de antelación. La segunda simulación

refina las salidas atmosféricas, para los primeros 5 días, corriendo el modelo en un área más reducida en una malla con celdas de 15km, y para la región europea suroccidental, modelo WRF-AW. Finalmente, la tercera simulación, que consiste en un cálculo anidado de WRF-ARW para mallas de celdas de 3km, en toda la costa catalana produciendo una predicción de 3 días. Los modelos de pequeña escala han sido calibrados para tal de abordar las sobreestimaciones de viento, detectadas a niveles más bajos.

Tabla 1  
Características de las mallas y modelos numéricos utilizados en el módulo meteorológico.

Nombre	Dimensión de la malla	Horizonte de predicción	Dominio	Modelo
Simulación 1	55 km	192 h	Europe	GFS/GEFS
Simulación 2	15 km	120 h	SW Europe	WRF/ARW
Simulación 3	3 km	72 h	NE Spain	WRF/ARW

## ASIMILACIÓN DE DATOS Y MODELIZACIÓN

### E

En esta tarea se ha llevado a cabo la calibración/validación y adecuación de los modelos meteorológicos, hidrodinámicos y morfodinámicos utilizados en iCoast, a través de la simulación de los temporales seleccionados en la tarea "Peligrosidad costera

y cartografía del riesgo". Además, se ha desarrollado un módulo del estado de la costa con el fin de agregar adecuadamente los resultados obtenidos para, finalmente, definir el nivel de alarma para una tormenta dada.

#### El módulo hidrodinámico

El campo de oleaje, el nivel medio del mar y las corrientes han sido obtenidos a partir de las predicciones meteorológicas de la tabla 1 mediante el uso del modelo SWAN y el modelo oceánico ROMS. El sistema iCoast proporciona información sobre el oleaje y el nivel del mar a baja resolución y con 8 días de antelación. La detección de un temporal, a partir de los valores obtenidos en la tarea C, activa una ejecución de los modelos más precisa, dando información de

las características del oleaje, nivel del mar y corrientes con 5 días de antelación a una resolución de 3km. En las playas objetivo definidas en la tarea C se proporciona una predicción adicional con tres días de antelación y una malla de 350 m (Figura 6). Los resultados obtenidos en el caso test de Diciembre de 2008 muestran como el módulo hidrodinámico es capaz de reproducir adecuadamente las condiciones de oleaje con 8 días de antelación, capturando la magnitud y el momento del pico de tormenta.

Marco de modelización del iCoast

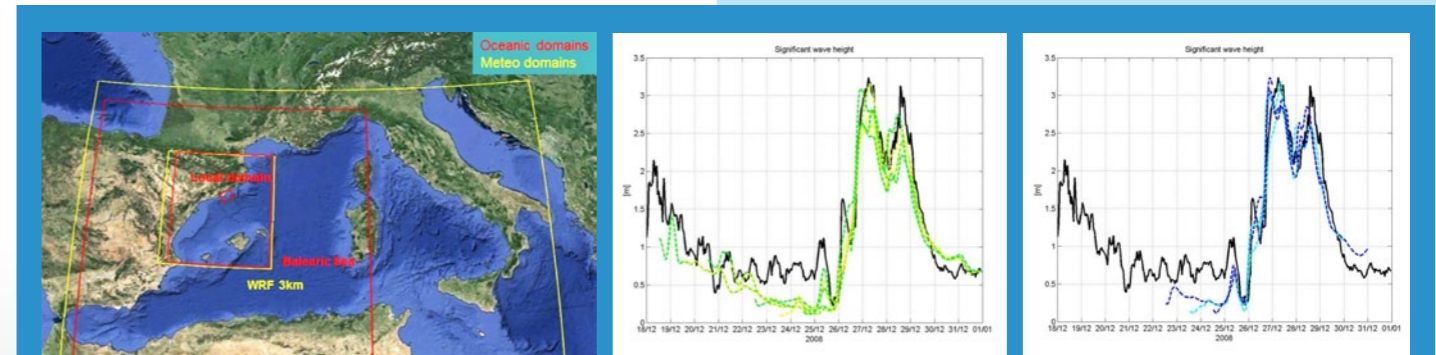
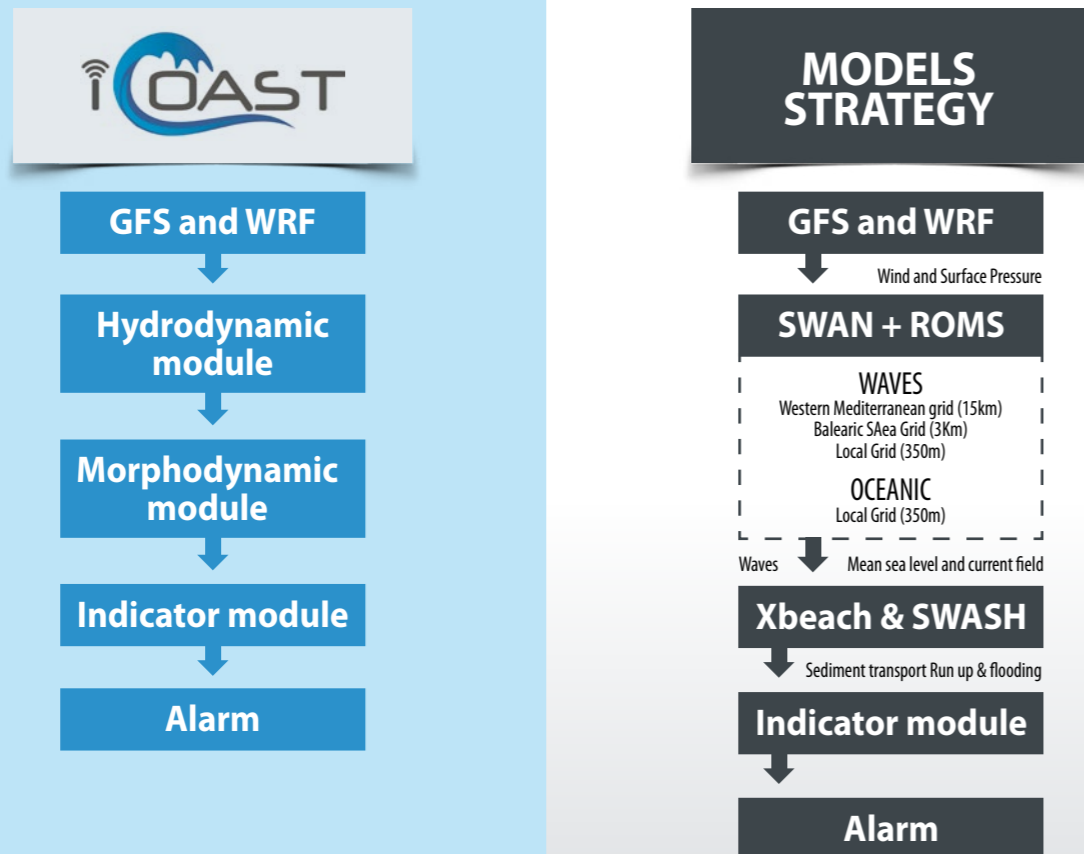


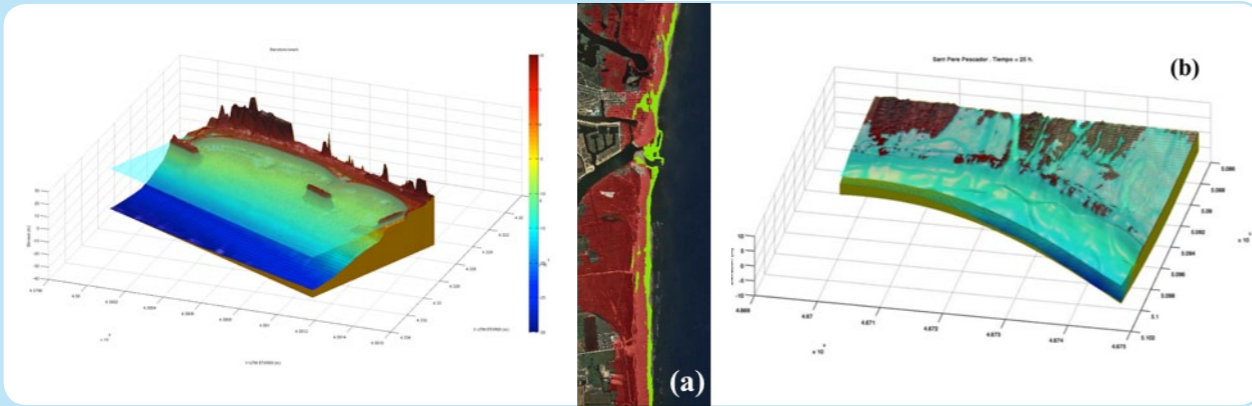
Figura 6  
Estrategia de anidamiento de mallas en iCoast.

Figura 7  
Altura de ola significativa pronosticada desde el dominio del Mar Mediterráneo Occidental (izquierda) y el dominio mar Balear (derecha). En negro se representan los registros obtenidos por la boya de oleaje de Tortosa, mientras que los colores representan la predicción diaria simulada.



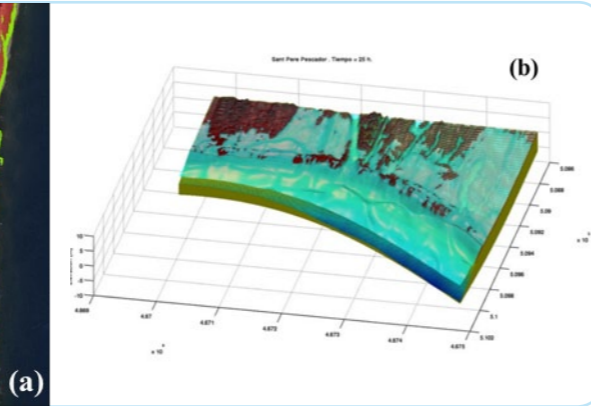
**El módulo morfodinámico**

El módulo morfodinámico está formado por dos modelos numéricos de código abierto: XBEACH y SWASH. El modelo XBEACH es usado para evaluar los impactos del oleaje en las playas. El modelo describe los procesos costeros que ocurren bajo condiciones extremas, especialmente entre la zona de rompientes de las olas y la parte emergida de la playa. XBEACH es capaz de reproducir la física del sistema en un dominio 2DH (flujo bidimensional promediado en la profundidad). En la siguiente figura se presenta un ejemplo de las salidas del modelo proporcionadas por el modelo dentro de iCoast. El modelo también ha sido utilizado para conocer la sensibilidad de



**Figura 8**  
Modelo morfodinámico de la playa de la Barceloneta (Barcelona)

una playa a la subida del nivel del mar (SLR, en inglés). La figura 9 (a) presenta el impacto de una tormenta extrema en las condiciones actuales (verde) y considerando un aumento de 0.6 m para el año 2100 (de acuerdo con el escenario RCP8.5 del IPCC). La figura 9 (b) muestra una representación tridimensional del área para el año 2100 bajo el efecto de ese temporal. El modelo SWASH resuelve la hidrodinámica de oleaje en condiciones de aguas poco profundas. Este modelo es adecuado para reproducir entornos costeros y portuarios donde las posibles amenazas (rebase, agitación portuaria) requieren una resolución temporal de olas individuales y en las que el fondo es rígido, como por ejemplo diques de escolleras o fondos rocosos.



**Figura 9**  
Envolvente de la lámina de inundación para un período de retorno (Tr) de 100 años en una playa piloto de iCoast. En rojo en 2100 y en verde en la actualidad. (b) Representación tridimensional de la lámina de inundación en la misma zona para un temporal de levante para el mismo Tr, en 2100.

**Módulo de los indicadores de estado costero**

Los indicadores del estado costero (CSI, en inglés) son parámetros clave que proporcionan a los usuarios finales información sobre posibles amenazas e impactos, además son utilizados dentro de iCoast para activar los modelos morfodinámicos para mejorar la predicción, mejorar en su monitorización y ayudar a mitigar sus posibles impactos. El conjunto de CSI está representado por once parámetros; éstos incluyen tanto las variables físicas usadas como desencadenante de los alarmas meteorológicas y de inundación, proporcionadas por la mayoría de los sistemas de alarma operacionales nacionales/regionales, como otros parámetros esenciales, los llamados indicadores integrados del evento que caracterizan la totalidad del episodio extremo y no solo el valor más alto o puntual.

**COASTAL STATE INDICATORS**

- Significant Wave Height (Hs)
- Wave Direction (WaD)
- Wave Peak Period (Tp)
- Mean Water Level (MWL)
- Wind Speed (WiS)
- Wind Direction (WiD)
- 24h Accumulated Precipitation
- Total Energy (TE)
- Total Energy Flux (TEF)
- Run Up Parametrization (RU1)
- Run Up Stockdon (RU2)

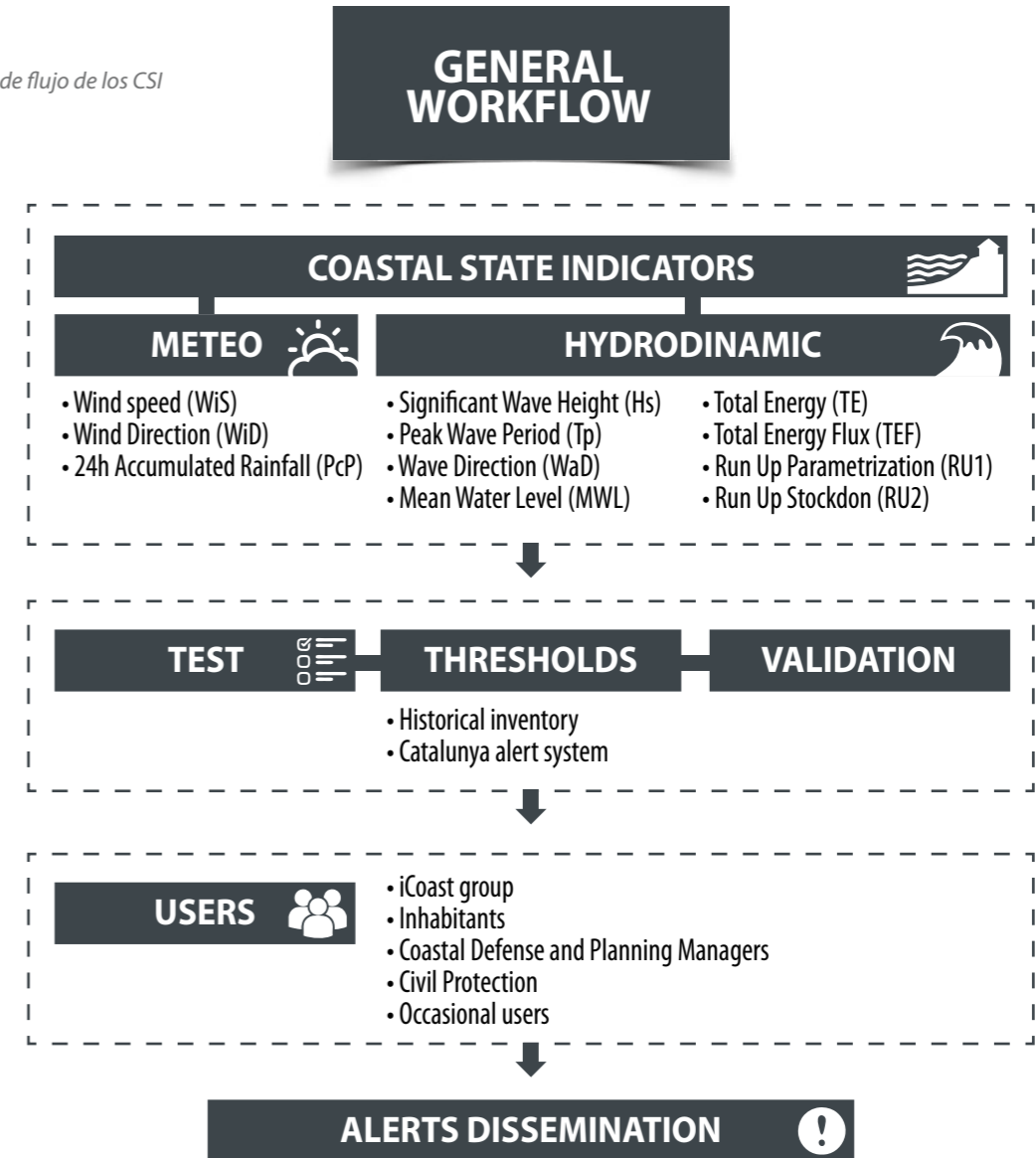
**Figura 10**  
Conjunto de indicadores del estado costero (CSI) en iCoast.

Los CSI seleccionados son considerados particularmente eficientes ya que son:

- Medibles - Cuantifican la magnitud de cada parámetro
- Predecibles - Proporcionan información con antelación
- Comparables - Comparan los estados predichos de los indicadores con una situación de referencia
- Informativa - Fáciles de ser entendidos

La metodología utilizada en iCoast para un uso modular de los CSI, pudiendo ser escogidos o agregados según las necesidades de cada zona de aplicación. Además la contribución final a la alerta puede ser también definida por el usuario según el conocimiento de la zona. Esta forma abierta de combinar los indicadores permite adaptarse de forma fácil a las necesidades de cada sitio en particular dando una información más detallada y precisa a distintos perfiles de usuario final.

**Figura 11**  
Diagrama de flujo de los CSI



**ASIMILACIÓN DE DATOS Y MODELIZACIÓN**



ARQUITECTURA DE iCOAST Y APLICACIÓN



Esta tarea trata de la implementación del prototipo iCoast, de cómo los modelos se relacionan entre si y de cual es la secuencia temporal en la cadena de predicción. Se establecen además las relaciones entre los modelos meteorológicos, hidrodinámicos, morfodinámicos y el módulo de indicadores del estado costero, haciéndolos interactuar de un modo operacional.

**Estrategia de sistema**

iCoast realiza la predicción según dos niveles. El primer nivel proporciona las condiciones meteorológicas e hidrodinámicas sobre la costa catalana teniendo en cuenta escalas de espacio superiores. El módulo de indicadores es el responsable a este nivel de interpretar los resultados de los modelos, decidir si generar alertas, sugerir medidas de mitigación, o si lanzar un proceso de segundo nivel si se considera que el grado de amenaza es suficientemente alto. Este segundo nivel explota el dominio hidrodinámico más local, las playas o puertos objetivo, sobre el que se ejecutan los modelos morfodinámicos que proporcionan una información detallada del evento extremo en términos de inundación y erosión. En aquellos casos en que sea posible, el sistema proporciona una medida de defensa/adaptación y proporciona información más detallada dirigida a satisfacer las necesidades particulares de los usuarios finales.

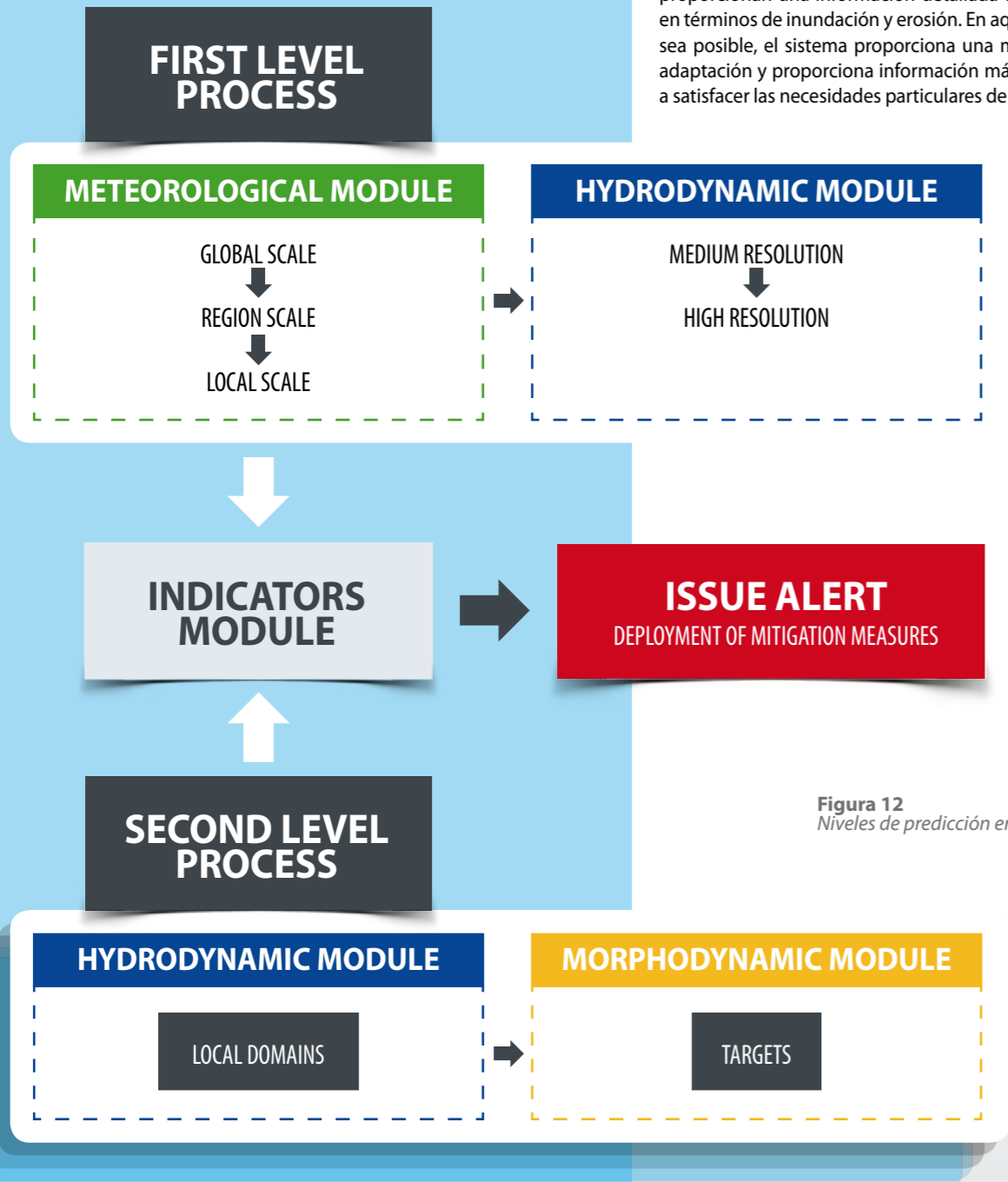


Figura 12 Niveles de predicción en iCoast

**Definición de escenario**

Un escenario debe ser capaz de tratar una información sobre el riesgo y ser útil para ayudar a los ciudadanos y usuarios a estar preparados y, por lo tanto, llevar a cabo las acciones correctas, en el momento oportuno, para tal de afrontar un suceso de tormenta y sus posibles daños costeros.

En iCoast, los escenarios de riesgo son identificados como una combinación de los alertas CSI, para diferentes duraciones (así pues, 24h, 3 días, 7 días), utilizando diferentes resoluciones de modelo (15km y 3km) y adaptándolos a diferentes usuarios finales. Los umbrales de alerta son derivados de los resultados informados en el inventario de daños históricos costeros, elaborado en la tarea

**“Peligrosidad costera y cartografía del riesgo”**

Los escenarios históricos son derivados y validados para los dos casos de estudio del proyecto iCoast: el suceso del 26/12/2008 y el del 06/03/2013. Además, escenarios adicionales son generados considerando los efectos del Cambio Climático. En particular, las proyecciones de la subida del nivel del mar mediterráneo en el año 2100 son usadas como datos de entrada para incrementar el nivel medio de agua predicho.

Para tal de que sean rápidamente entendidos por usuarios técnicos y no técnicos, los escenarios están representados tanto como matrices numéricas de alerta y como mapas, informando sobre alertas para cada playa objetivo y para diferentes usuarios finales.

Beach target name	Beach target type	Date	Alert for occasional users	Alert for civil protection	Alert for iCoast group
BADALONA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
BARCELONA BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	2	3
CABRERA DE MAR BEACH	REVETMENTS	06/03/2013	1	2	3
CAMBRLS PORT	PORT	06/03/2013	1	1	0
FORUM PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
GAVA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
GINGOLERS GROYNES	GROYNES	06/03/2013	0	1	0
L'ESCALA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	0	2	3
LLANÇA PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
LLORET DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
MARQUESA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
MATARO PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
OLIMPIC PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
PALS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
PREMIA DE MAR PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
RIERA RIUDOMS GROIN	GROYNES	06/03/2013	1	1	0
RIFA-PILANS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
SANT SEBASTIA BEACH	ENCLOSED BEACH	06/03/2013	1	1	3
SITGES BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	1	1
SOUTHERN MATARO BEACH	REVETMENTS	06/03/2013	1	2	3
TORDERA RIVER DELTA	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
TOSSA DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
TRABUCADOR BAR	BARRIER BEACH	06/03/2013	1	2	0

Tabla 2 Alertas personalizadas para diferentes usuarios del suceso del 06/03/2013

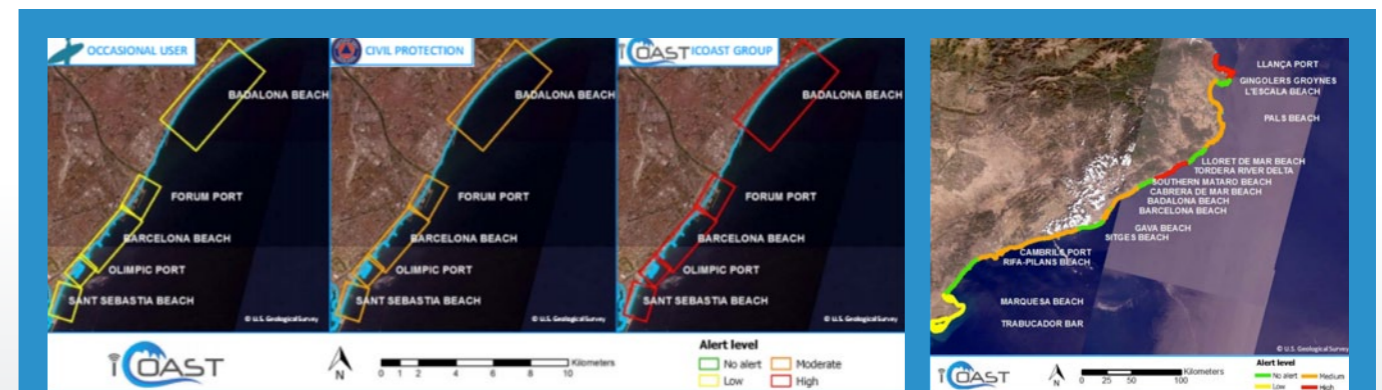


Figura 13 Alertas personalizadas para diferentes usuarios finales basadas en una duración de 24h y una resolución de 3km en el WRF para el suceso del 06/03/2013

Figura 14 Alertas para la costa catalana basados en una duración de 24h y una resolución de 3km en el WRF para el suceso del 26/12/2008

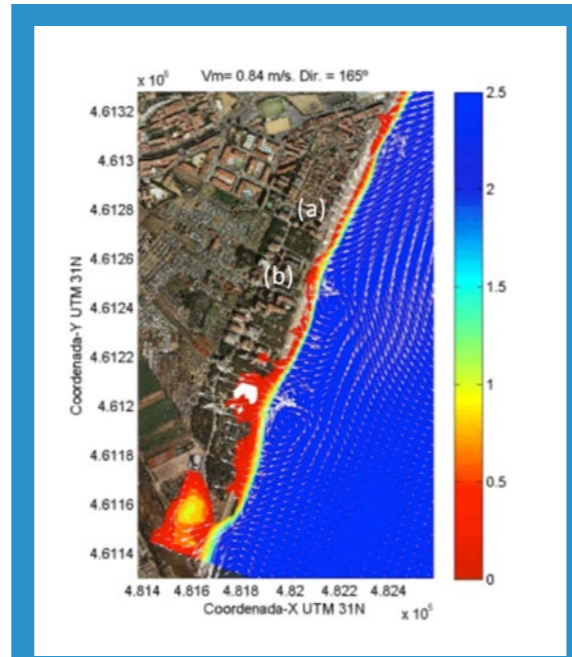


**Implementación de herramientas y aplicaciones**

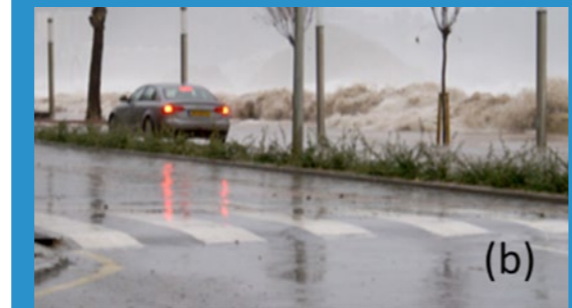
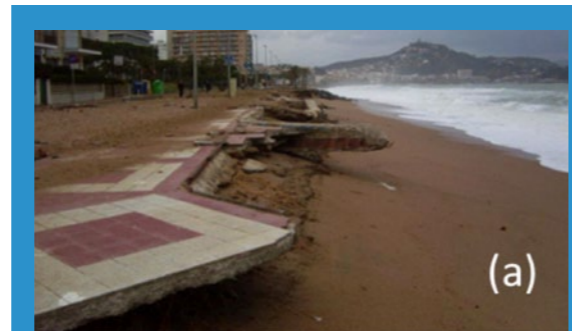
El proyecto seleccionó dos episodios de temporal: La tormenta de Diciembre de 2008 y la tormenta de Marzo de 2013. El primer caso es usado para determinar la viabilidad de iCoast, mientras que el segundo es usado para probar iCoast en un modo totalmente operacional. Ambos casos han sido utilizados para validar los resultados mediante comparación con la red de medidas de oleaje y nivel del mar existente en la zona.

La tormenta de diciembre de 2008 impactó en la costa catalana durante más de 50 horas, dando pie a episodios de inundación local, erosión (retroceso) de la costa causando además daños severos en infraestructuras (paseos marítimos y puertos). Desgraciadamente, el evento causó la pérdida de tres vidas humanas generando una alarma social generalizada que derivó en el cierre de playas, paseos marítimos y pasarelas de espigones. La Figura 15 reproduce las inundaciones costeras observadas según iCoast.

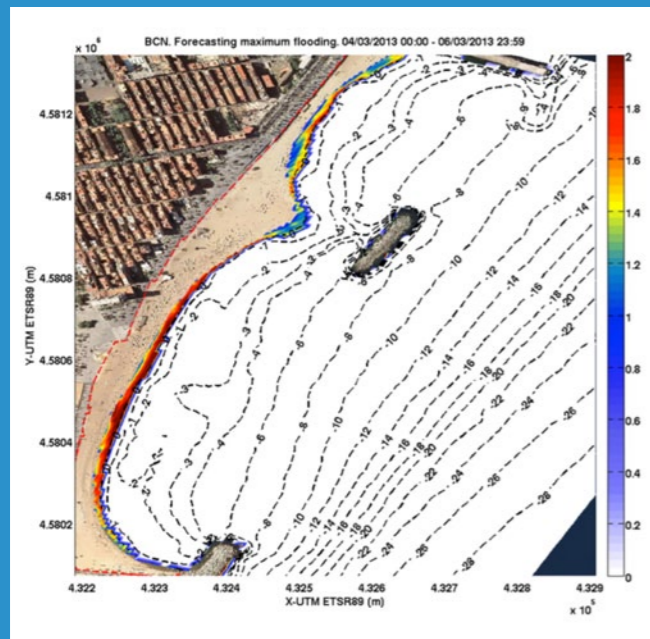
En marzo de 2013, dos tormentas consecutivas impactaron en la costa, generando una intensa erosión en las playas barcelonesas. Los medio de comunicación informaron sobre el suceso como una situación de riesgo todo y que no se conoció ninguna pérdida económica significativa. El ensayo sobre la tormenta de 2013 demuestra la viabilidad de la estrategia en cadena de modelo definida en iCoast y también la precisión de los modelos para los sucesos de tormenta. El grupo de modelos meteorológicos y oceanográficos demostraron que el proceso de refinamiento espacio-temporal tiende a proporcionar mejores predicciones. La Figura 16 muestra la respuesta de las playas.



**Figura 15**  
Inundación predicha en S'Abanell durante el temporal de diciembre de 2008.



Imágenes aparecidas en los periódicos, sobre el incidente (fuente: www.publblankes.net)



**Figura 16**  
Inundación máxima predicha con tres días de antelación para el temporal de 2013.

ARQUITECTURA DE iCOAST Y APLICACIÓN

**F**

**G**

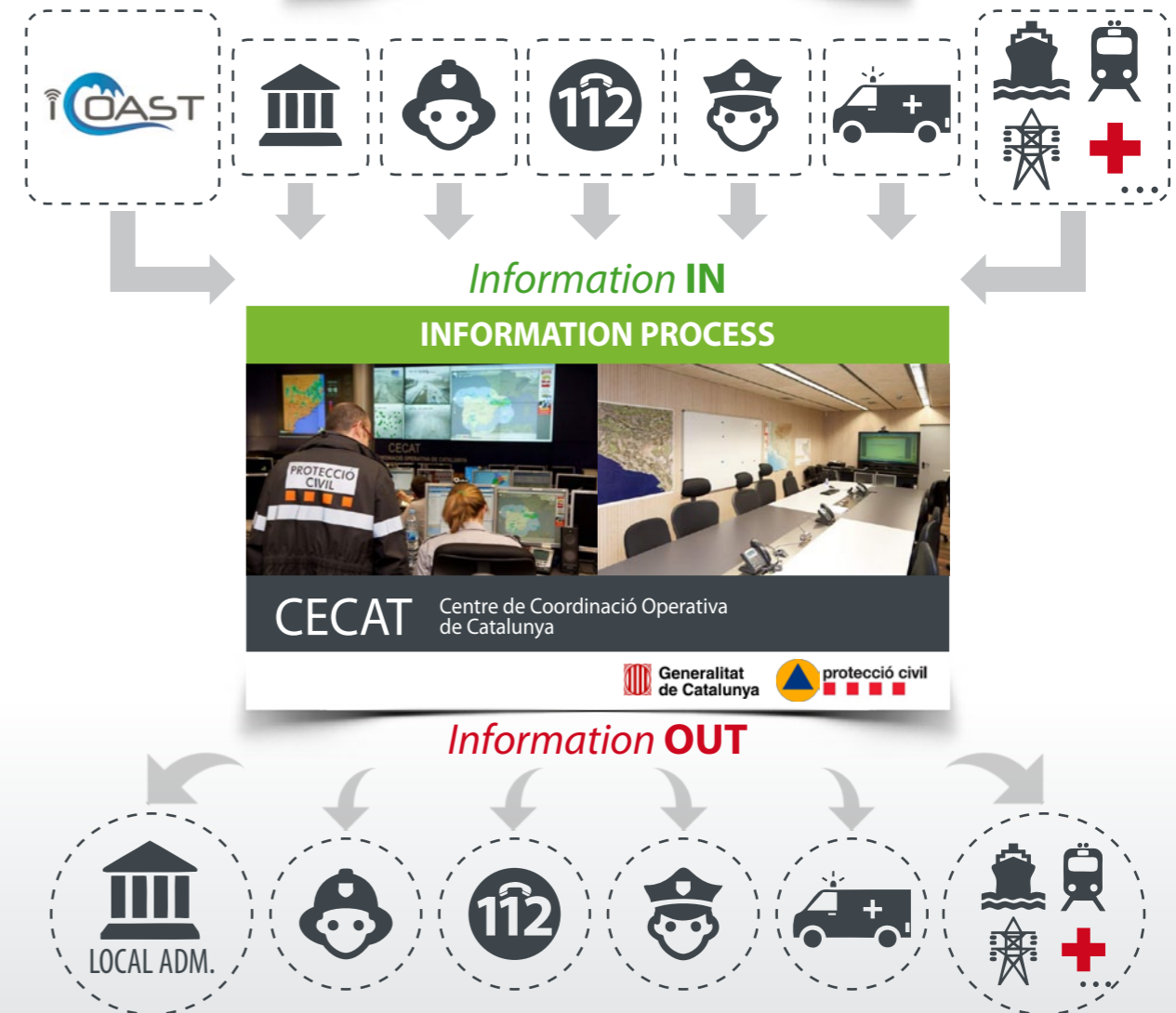
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN DE EMERGENCIAS

Esta tarea consiste en definir cómo los resultados de iCoast pueden ser incorporados dentro de los sistemas de comunicación de emergencias, proporcionando instrucciones sobre cómo la comunidad local debería ser contactada, a través de alertas oficiales y consejos respecto a la gestión del riesgo. Para ello se realiza una revisión de los protocolos de comunicación de emergencias a escala regional y nacional, comparándolos con las normativas y recomendaciones internacionales usadas en las regiones mediterráneas occidentales.

A nivel local, El centro de Emergencias de Cataluña (CECAT) es responsable de proporcionar las alertas, los consejos o recomendaciones oficiales a la población o cualquier otro tipo de usuario con necesidades más específicas. Esto incluye la activación

de mecanismos de comunicación entre CECAT y los usuarios finales (municipios). Estos protocolos tienen en cuenta las vulnerabilidades de la población de cada territorio y las infraestructuras del lugar. Los indicadores del estado costero (CSI) identificados dentro del iCoast están, ahora, disponibles en el CECAT para probar su eficacia ofreciendo distintos mensajes de alerta dependiendo de las necesidades específicas (afectación de áreas de parking, casas, poblaciones, paseos marítimos, etc.). Por lo tanto, los protocolos de comunicación existentes a niveles regional y nacional podrían ser integrados en los protocolos específicamente desarrollados en el contexto de iCoast, para reforzar los centros de emergencia durante los alertas y las fases de repuesta de las emergencias costeras.

**EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE**







*Integrated COastal Alert SysTem*

Un proyecto de prevención en protección civil financiado por la UE - ECHO

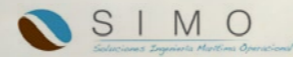
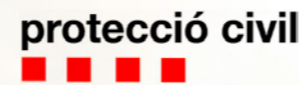
**RESUMEN Y CONCLUSIONES**

El proyecto ha desarrollado un prototipo de sistema de alerta costero, iCoast, capaz de predecir con antelación temporales extremos. Estas situaciones de alta energía viene definidas extrema se define por una combinación de fuerte oleaje y un nivel del mar alto. iCoast ha sido validado para la costa catalana, un ambiente micro-mareal dominado por el oleaje en el que las variaciones del nivel medio del mar inducidas por la condiciones meteorológicas son un factor clave desencadenante del daño.

La metodología desarrollada permite la identificación de playas o zonas críticas definiendo en cada caso los indicadores más representativos que explican una condición de temporal y sus valores asociados.

Los modelos utilizados y la estrategia de anidación proporcionan información no solo del temporal sino del tipo de medidas que pueden llevarse a cabo para disminuir el riesgo previsto. Se propone la construcción de un sistema duna-zanja de pequeñas dimensiones como medida de acción rápida para disminuir el posible rebase del oleaje.

El marco desarrollado puede ser implementado en otras regiones europeas costeras para ayudar en el proceso de toma de decisiones de la gestión de riesgos costeros.



[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)







### Lectura ràpida

#### Títol:

*Sistema integrat d'alerta costanera*

#### Instrumento:

*Projectes de prevenció en protecció civil*

#### Cost total:

*634,310 €*

#### Contribució per la Comunitat Europea:

*475,733 €*

#### Duració:

*24 mesos*

#### Data d'inici:

*01 desembre 2013*

#### Project Coordinator:

*Dr. Vicente Gracia,  
Centre Internacional d'Investigació dels  
Recursos Costaners, CIIRC, Spain*

#### Pàgina web del projecte:

*www.icoast.eu*

## EL REPTA

Una part important de la costa mediterrània europea tenen limitada la capacitat de fer front a l'onatge. L'existència de passejos marítims, edificis, carreteres, vies fèrries, etc. impedeix la dinàmica natural de la platja, generant un problema de gestió, ja que resulta necessari protegir-se de l'acció de les onades. En molts casos, l'ocupació del domini costaner ha progressat sota el supòsit que la platja romandria estable. A més, el fet que la Mediterrània és un mar tranquil durant els mesos de més afluència de públic ha portat a una falsa percepció de seguretat per part de la societat. No obstant això, les condicions de fort onatge no són infreqüents i poden causar danys significatius quan estan associats a nivells de mar alts. A la costa mediterrània espanyola, els temporals de mar han causat més de 50 víctimes mortals (nedadors ofegats i vianants arrossegats / colpejats per ones) en els últims 20 anys, a més de quantiosos danys en defenses i infraestructures costaneres per un valor superior als 30M €.

La pujada del nivell del mar, prevista per a aquest segle, a causa del canvi climàtic, pot aguditzar aquesta situació. És d'esperar, per tant, que les situacions de perill generades per onatges

intensos i nivell del mar alts siguin cada vegada més freqüents. Els avenços obtinguts en els últims anys en el modelatge numèric permeten implementar prediccions morfodinàmiques (fluxos d'aigua i sediment), de forma operacional. Aquests sistemes de predicció permeten tenir un coneixement més detallat de la resposta de la costa, amb anticipació, davant d'una condició de temporal donada. L'objectiu principal del projecte iCoast ("integrated Coastal Alert System", Sistema integrat d'alerta costanera) és desenvolupar una eina per abordar les amenaces costaneres produïdes per onatges extrems i nivells del mar alts. El sistema està pensat per ser utilitzat en les costes d'Europa i en especial les platges urbanes i / o trams de costa amb infraestructures (passeigs marítims, revestiments, ports). iCoast pot ser usat com un sistema d'alerta costanera primerenca per predir l'impacte de l'onatge o com una eina per ajudar en els processos de presa de decisions per disminuir un determinat risc costaner. El sistema ha estat provat a la costa catalana.



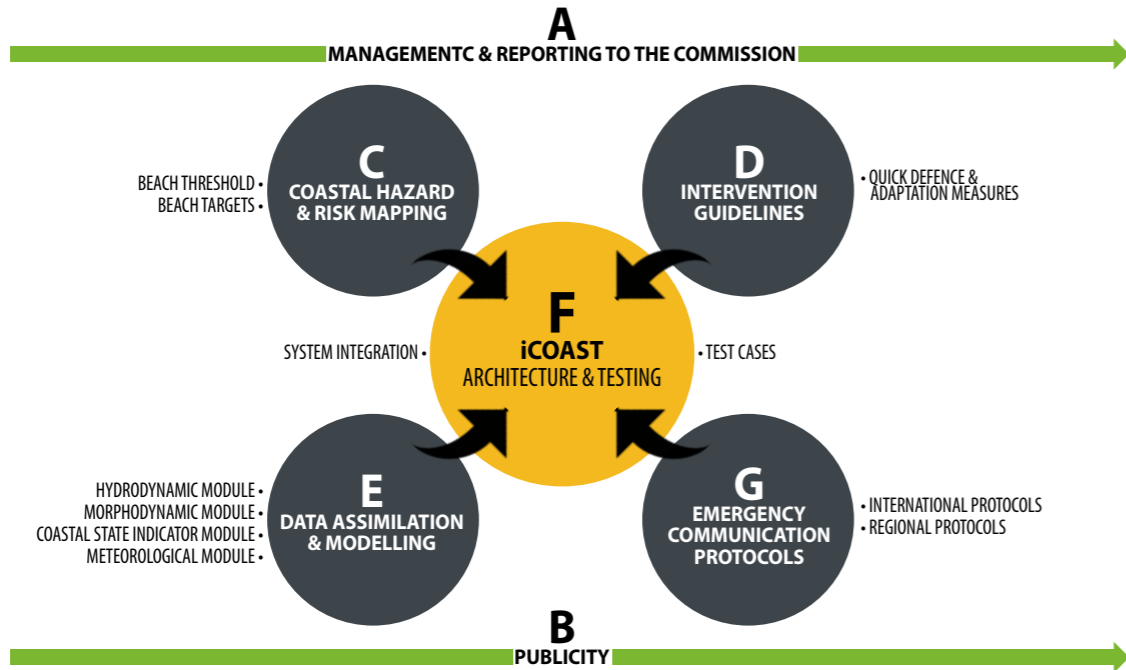
Un projecte de prevenció en protecció civil finançat per la UE - ECHO



DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

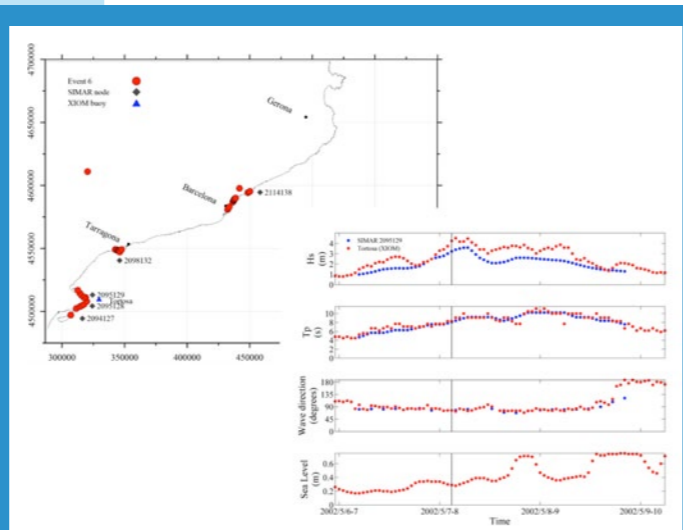
Estructura del projecte iCoast

Les tasques **A** i **B**) tracten sobre la Gestió i publicitat del projecte mentre que el nucli tècnic està estructurat en 5 tasques principals: **C**) Perillositat costanera i Cartografia del risc, **D**) Directrius d'intervenció, **E**) Assimilació de dades i modelització, **F**) Arquitectura de iCoast i aplicació i, **G**) Protocols de comunicació d'emergències.



L'inventari de danys creat en la tasca de "Perillositat costanera i cartografia del risc" ha estat utilitzat per identificar platges objectiu del projecte. A més, el seu anàlisi proporciona una informació molt valuosa sobre quins són els llindars que han de ser sobrepassats per activar una alarma, a banda de ser usat internament en iCoast per executar models més sofisticats que normalment estan en espera. El nucli de iCoast es desenvolupa dins de la tasca "Assimilació de dades i modelització", on tots els models computacionals són configurats i validats. En paral·lel, una revisió d'estratègies existents de gestió de riscos costaners és duta a terme dins de la tasca "Directrius d'intervenció". L'objectiu és proposar una sèrie d'intervencions, en cas d'alarma, per reduir el risc costaner previst. Aquesta activitat es recolza en part en els resultats proporcionats pels models utilitzats en iCoast, ja que han permès definir, amb més precisió, les mesures ràpides de defensa / adaptació (QD / AM).

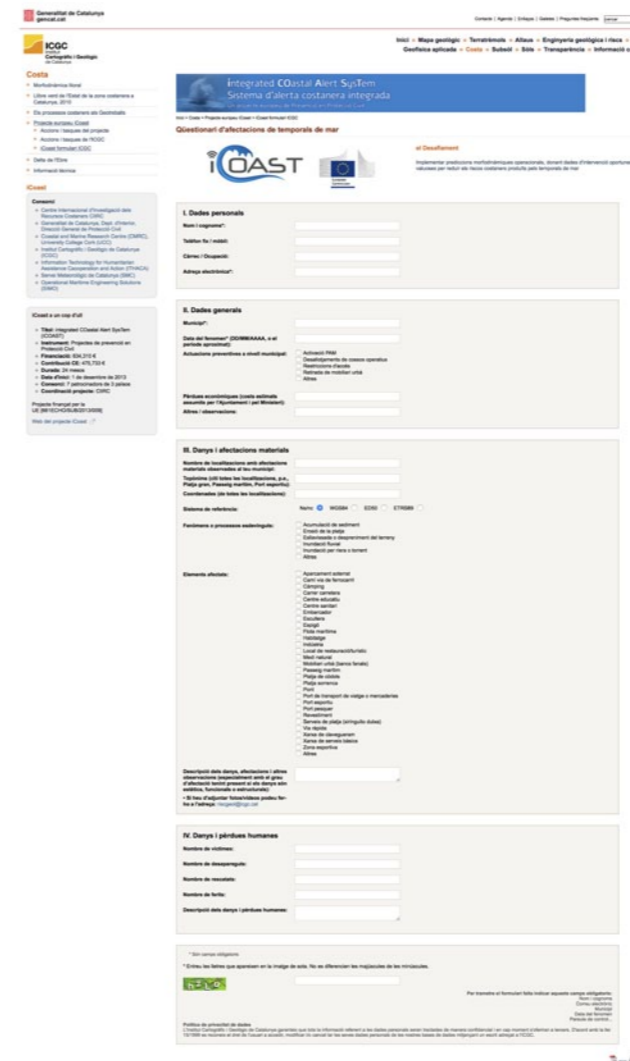
L'arquitectura del prototip de iCoast, la qual inclou els passos de predicció, com els models estaran interconnectats, el moment i l'àrea d'interès a seleccionar, com la informació obtinguda pel sistema serà processada i com seran activats els alertes, és detallada en la tasca F. Un cop els riscos costaners han estat caracteritzats, la tasca G s'encarrega de definir els protocols de comunicació i gestió del risc predit.



**Figura 2** Evolució temporal de l'alçada d'ona significativa, període pic i direcció associats i nivell mitjà de la mar del succés que va tenir lloc entre el 6 i el 7 de maig de 2002. La línia sòlida negra indica el dia d'inici d'aquest succés segons apareix en les notícies.



PERILLOSITAT COSTANERA I CARTOGRAFIA DEL RISC



S'ha realitzat un inventari de danys costaners a partir de totes aquelles notícies aparegudes en els mitjans de comunicació en relació amb danys ocorreguts a la costa catalana. L'inventari cobreix els anys 1900 a 2013 si bé s'han escollit el període 2000-2013 per descriure el paisatge actual del risc costaner. L'anàlisi de les dades ha permès identificar punts especialment sensibles a l'impacte de temporals. Cadascun dels esdeveniments es descriu en termes onatge i nivell del mar per finalment definir els llindars que han de ser sobrepassats per activar una alarma. Com a exemple, la Figura 2 mostra les dades recopilades per a l'esdeveniment que va tenir lloc entre el 6 i el 7 de Maig del 2002.

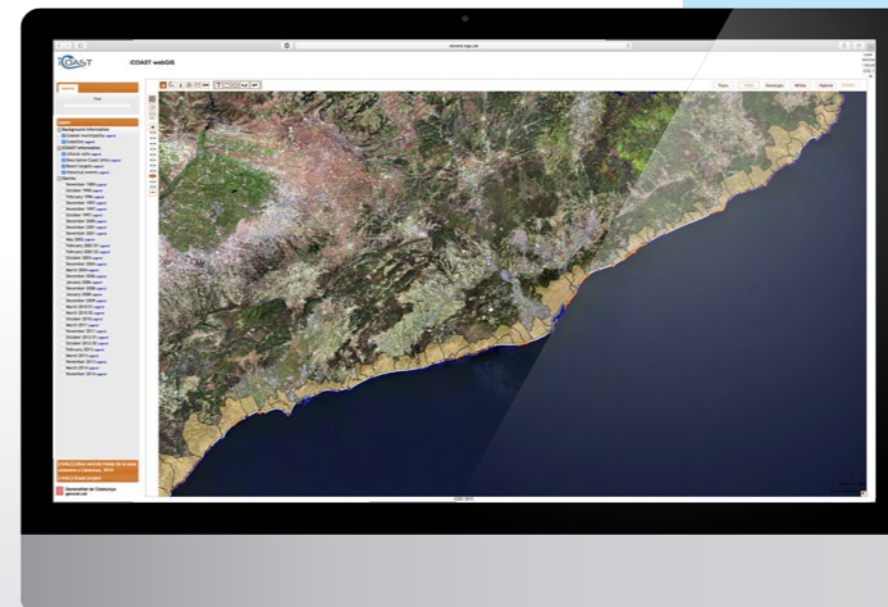
Aquests valors són utilitzats en iCoast per executar models numèrics més sofisticats i costosos computacionalment, que proporcionen una informació molt detallada de l'impacte del temporal. Un altre dels resultats destacats d'aquesta tasca ha estat la construcció d'un formulari d'afectacions (Figura 3) dirigit als responsables municipals i públic en general que permeti recopilar de forma més homogènia els danys causats per temporals futurs. El formulari inclou els següents camps:

- Dades personals de l'informador
- Informació General del succés
- Danys materials
- Sinistres i lesions

El formulari està disponible en la següent adreça d'internet:

[http://www.igc.cat/web/ca/icoast\\_form\\_igcg.html](http://www.igc.cat/web/ca/icoast_form_igcg.html)

**Figura 3** Formulari d'internet per informar sobre els danys ocasionats per un temporal.



**Figura 4** El WebGIS de iCoast disponible a <http://siurana.igc.cat/visorIGC/icoast.jsp>



DIRECTRIUS D'INTERVENCIÓ

D

En aquesta tasca s'ha realitzat una revisió de treballs científics i documents tècnics sobre la gestió del risc a causa de l'impacte d'un temporal. S'hi inclouen recomanacions existents per a la gestió d'altres successos extrems, com sismes submarins, o abocaments de petroli o altres fonts de contaminació. A partir de l'anàlisi de la informació recopilada es proposen una sèrie de recomanacions per a la gestió del risc costaner des d'un punt de vista operacional, és a dir, amb especial èmfasi en aquelles accions que poden ser executades unes hores abans de l'impacte del temporal

A diferència de les aproximacions clàssiques, que requereixen una forta inversió, un alt cost energètic i que poden provocar efectes col·laterals no desitjables, aquestes mesures d'acció ràpida (QDM / QAM) pretenen disminuir el risc associat a la predicció d'un determinat esdeveniment, d'una forma més

eficaç, optimitzant els recursos disponibles, si bé de forma efímera i només vàlides per al temporal predit. Les àrees costaneres urbanes, i en especial les costes baixes o zones localitzades en entorns estuarins, són particularment vulnerables i adequades per aplicar aquestes mesures d'actuació ràpida. Aquestes tècniques, com ara l'ús de sacs de sorra, barreres de sorra, trinxeres, i / o barreres mòbils i reusables contra la inundació, requereixen d'una logística relativament simple per a la seva execució i assequible per la majoria de comunitats. Un altre avantatge important és que augmenten l'eficàcia de les obres de protecció clàssica existents. No obstant això, només poden ser utilitzades com a mesures de disminució de l'impacte dins d'un sistema d'alarma costaner, ja que requereixen conèixer amb detall com serà l'impacte del temporal a què vol fer front amb antelació.

El mòdul meteorològic

El mòdul meteorològic és el primer pas dins de la seqüència de models d'iCOAST. Consisteix en un grup de models numèrics que proporcionen informació atmosfèrica necessària per alimentar els mòduls hidrodinàmics i morfodinàmics. D'altra banda, les variables meteorològiques resultat del model són utilitzades com a indicadors del risc.

La configuració del model meteorològic consisteix en 3 simulacions. La primera proporciona dades a baixa resolució espacial, del Sistema de Prediccions Global (GFS), amb fins

a 8 dies d'antelació. La segona simulació refina les sortides atmosfèriques, per als primers 5 dies, corrent el model en una àrea més reduïda, en una malla amb cel·les de 15km, i per a la regió europea sud-occidental, model WRF-AW. Finalment, la tercera simulació, que consisteix en un càlcul niat de WRF-ARW per malles de cel·les de 3 km, en tota la costa catalana produint una predicció de 3 dies.

Els models de petita escala han estat calibrats per tal d'abordar les sobreestimacions de vent, detectades a nivells més baixos.

Taula 1  
Característiques de les malles i models numèrics utilitzats en el mòdul meteorològic.

Nom	Dimensió de la malla	Horitzó de predicció	Domini	Model
Simulació 1	55 km	192 h	Europe	GFS/GEFS
Simulació 2	15 km	120 h	SW Europe	WRF/ARW
Simulació 3	3 km	72 h	NE Spain	WRF/ARW

ASSIMILACIÓ DE DADES I MODELITZACIÓ

E

En aquesta tasca s'ha dut a terme el calibratge / validació i adequació dels models meteorològics, hidrodinàmics i morfodinàmics utilitzats en iCOAST, a través de la simulació dels temporals seleccionats en la tasca "Perillositat costanera

i cartografia del risc". A més, s'ha desenvolupat un mòdul de l'estat de la costa per tal d'afegir adequadament els resultats obtinguts per, finalment, definir el nivell d'alarma per a una tempesta donada.

El mòdul hidrodinàmic

El camp d'onatge, el nivell mitjà de la mar i els corrents han estat obtinguts a partir de les prediccions meteorològiques de la taula 1, mitjançant l'ús del model SWAN i el model oceànic ROMS. El sistema iCOAST proporciona informació sobre l'onatge i el nivell de la mar a baixa resolució i amb 8 dies d'antelació. La detecció d'un temporal, a partir dels valors obtinguts en la tasca C, activa una execució dels models més precisa, donant informació de les característiques de

l'onatge, nivell del mar i corrents amb 5 dies d'antelació, a una resolució de 3 km. A les platges objectiu definides en la tasca C es proporciona una predicció addicional amb tres dies d'antelació i una malla de 350 m (Figura 6).

Els resultats obtinguts en el cas test de Desembre de 2008 mostren com el mòdul hidrodinàmic és capaç de reproduir adequadament les condicions d'onatge amb 8 dies d'antelació, capturant la magnitud i el moment del pic de tempesta.

Marc de modelització de l'iCOAST

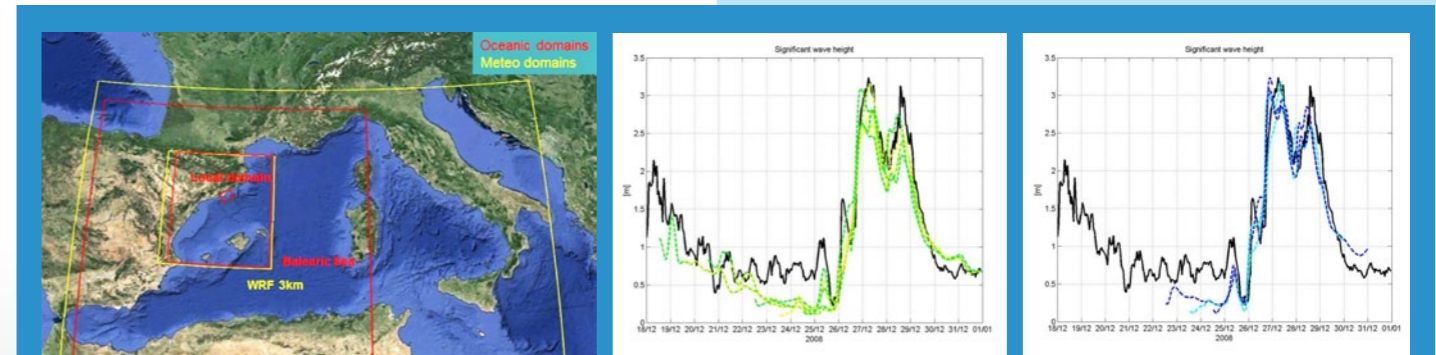
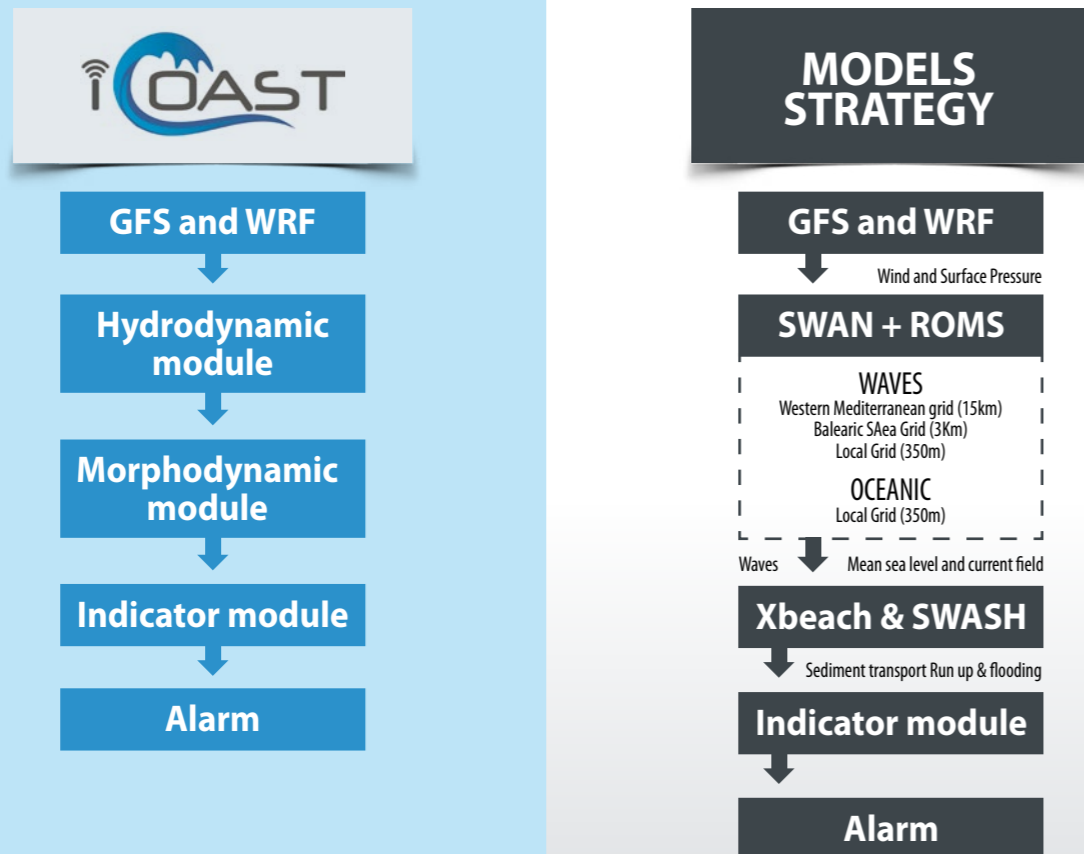


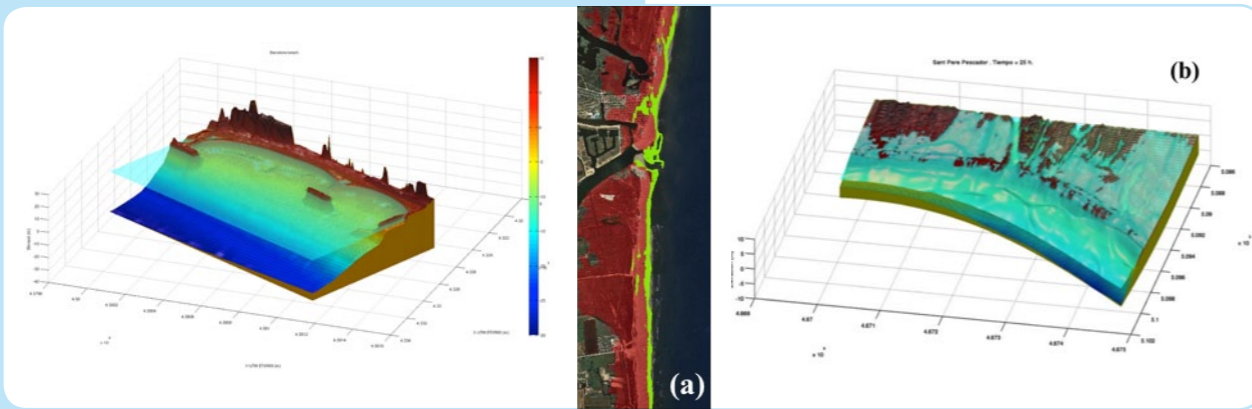
Figura 6  
Estratègia d'imbricació de malles en iCOAST.

Figura 7  
Altura d'ona significativa, pronosticada des del domini de la Mediterrània Occidental (esquerra) i el domini mar Balear (dreta). En negre, es representa els registres obtinguts per la boia d'onatge de Tortosa, mentre que els colors representen la predicció diària simulada.



**El mòdul morfodinàmic**

El mòdul morfodinàmic està format per dos models numèrics de codi obert: XBEACH i SWASH. El model XBEACH és usat per avaluar els impactes de l'onatge a les platges. El model descriu els processos costaners que ocorren sota condicions extremes, especialment entre la zona de trencament de les onades i la part emergida de la platja. XBEACH és capaç de reproduir la física del sistema en un domini 2DH (flux bidimensional, mitjana en la profunditat). A la següent figura es presenta un exemple de les sortides del model proporcionades pel model, dins d'ICOAST. El model també ha estat utilitzat per conèixer la sensibilitat



**Figura 8**  
Model morfodinàmic de la platja de la Barceloneta (Barcelona)

d'una platja a la pujada del nivell del mar (SLR, en anglès). La figura 9 (a) presenta l'impacte d'una tempesta extrema en les condicions actuals (verd) i considerant un augment de 0.6 m per a l'any 2100 (d'acord amb l'escenari RCP8.5 de l'IPCC). La figura 9 (b) mostra una representació tridimensional de l'àrea per a l'any 2100 sota l'efecte d'aquest temporal. El model SWASH resol la hidrodinàmica d'onatge en condicions d'aigües poc profundes. Aquest model és adequat per reproduir entorns costaners i portuaris on les possibles amenaces (ultrapassament, agitació portuària) requereixen una resolució temporal d'onades individuals i en les que el fons és rígid, com ara dics d'esculleres o fons rocosos.

**Figura 9**  
Envolupant de la làmina d'inundació per a un període de retorn ( $T_r$ ) de 100 anys en una platja pilot d'ICOAST. En vermell, el 2100 i, en verd, en l'actualitat. (b) Representació tridimensional de la làmina d'inundació a la mateixa zona, per un temporal de llevant per al mateix  $T_r$ , el 2100.

**Mòdul dels indicadors d'estat costaner**

Els indicadors de l'estat costaner (CSI, en anglès) són paràmetres clau que proporcionen als usuaris finals informació sobre possibles amenaces i impactes, a més són utilitzats dins d'ICOAST per activar els models morfodinàmics, per millorar la predicció, millorar en la seva monitorització i ajudar a mitigar els seus possibles impactes. El conjunt de CSI està representat per onze paràmetres; aquests inclouent tant les variables físiques usades com a desencadenant dels alarmes meteorològiques i d'inundació, proporcionades per la majoria dels sistemes d'alarma operacionals nacionals / regionals, com d'altres paràmetres essencials, els anomenats indicadors integrats de l'esdeveniment que caracteritzen la totalitat de l'episodi extrem, i no només el valor més alt o puntual.

**COASTAL STATE INDICATORS**

- Significant Wave Height (Hs)
- Wave Direction (WaD)
- Wave Peak Period (Tp)
- Mean Water Level (MWL)
- Wind Speed (WiS)
- Wind Direction (WiD)
- 24h Accumulated Precipitation
- Total Energy (TE)
- Total Energy Flux (TEF)
- Run Up Parametrization (RU1)
- Run Up Stockdon (RU2)

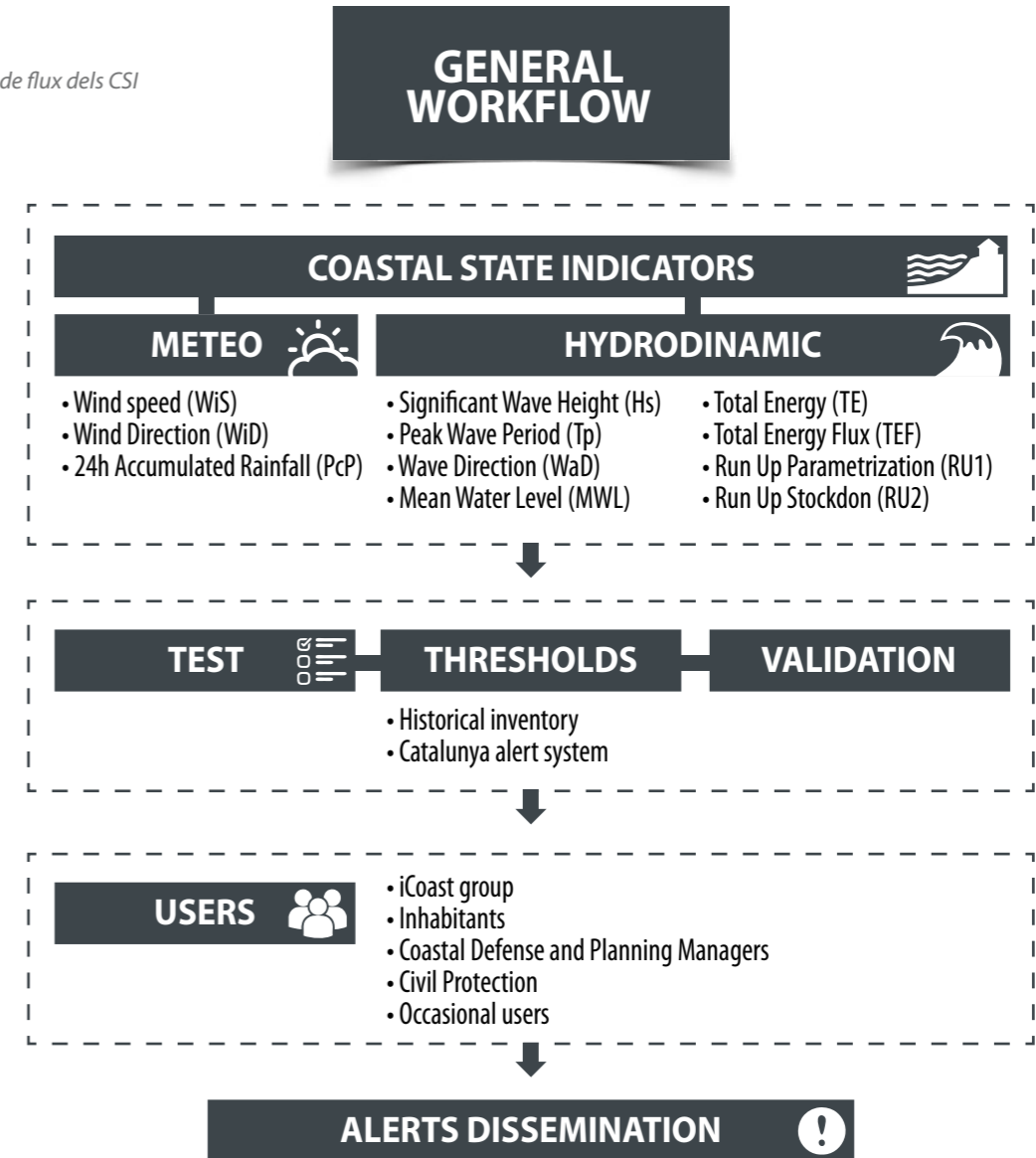
**Figura 10**  
Conjunt d'indicadors de l'estat costaner (CSI) en ICOAST.

Els CSI seleccionats són considerats particularment eficients ja que són:

- Mesurables - Quantifiquen la magnitud de cada paràmetre
- Predictibles - Proporcionen informació amb antelació
- Comparables - Comparen els estats predits dels indicadors amb una situació de referència
- Informacional - Fàcils de ser entesos

La metodologia utilitzada en iCOAST per a un ús modular dels CSI, podent ser escollits o agregats segons les necessitats de cada zona d'aplicació. A més la contribució final a l'alerta pot ser també definida per l'usuari segons el coneixement de la zona. Aquesta forma oberta de combinar els indicadors permet adaptar-se de forma fàcil a les necessitats de cada lloc, en particular donant una informació més detallada i precisa a diferents perfils d'usuari final.

**Figura 11**  
Diagrama de flux dels CSI





ARQUITECTURA D'iCOAST I APLICACIÓ



Aquesta tasca tracta de la implementació del prototip iCOAST, de com els models es relacionen entre si i de quina és la seqüència temporal en la cadena de predicció. S'estableixen, a més, les relacions entre els models meteorològics, hidrodinàmics, morfodinàmics i el mòdul d'indicadors de l'estat costaner, fent-los interactuar d'una manera operacional.

**Estratègia de sistema**

iCOAST realitza la predicció segons dos nivells. El primer nivell proporciona condicions meteorològiques i hidrodinàmiques sobre la costa catalana, tenint en compte escales d'espai superiors. El mòdul d'indicadors és el responsable a aquest nivell d'interpretar els resultats dels models, decidir si generar alertes, suggerir mesures de mitigació, o si llançar un procés de segon nivell si es considera que el grau d'amenaça és prou alt. Aquest segon nivell explota el domini hidrodinàmic més local, les platges o ports objectiu, sobre el qual s'executen els models morfodinàmics que proporcionen una informació detallada de l'esdeveniment extrem en termes d'inundació i erosió. En aquells casos en què sigui possible, el sistema proporciona una mesura de defensa / adaptació i proporciona informació més detallada dirigida a satisfer les necessitats particulars dels usuaris finals.

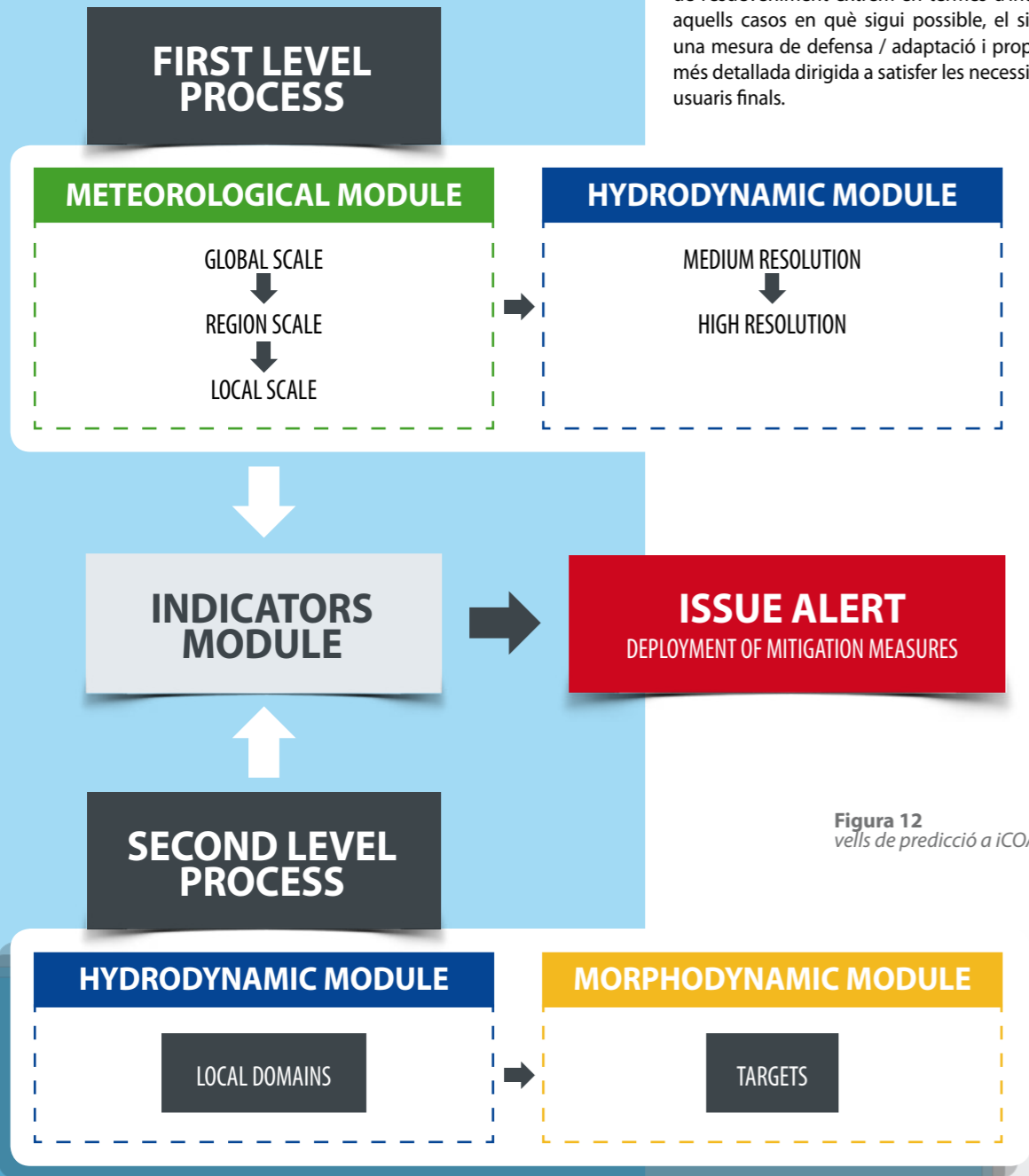


Figura 12  
vells de predicció a iCOAST

**Definició d'escenari**

Un escenari ha de ser capaç de tractar una informació sobre el risc i ser útil per ajudar els ciutadans i usuaris a estar preparats i, per tant, dur a terme les accions correctes, en el moment oportú, per tal d'afrontar un succés de tempesta i les seves possibles danys costaners. A iCOAST, els escenaris de risc són identificats com una combinació dels alertes CSI, per diferents durades (així doncs, 24h, 3 dies, 7 dies), utilitzant diferents resolucions de model (15km i 3km) i adaptant-los a diferents usuaris finals. Els llistats d'alerta són derivats dels resultats informats en l'inventari de danys històrics costaners, elaborat a

la tasca "Perillositat costanera i cartografia del risc". Els escenaris històrics són derivats i validats per als dos casos d'estudi del projecte iCoast: el succés del 26/12/2008 i el del 06/03/2013. A més, escenaris addicionals són generats considerant els efectes del Canvi Climàtic. En particular, les projeccions de la pujada del nivell del mar mediterrani a l'any 2100 són usades com a dades d'entrada per incrementar el nivell mitjà d'aigua predict. Per a tal de que siguin ràpidament entesos per usuaris tècnics i no tècnics, els escenaris estan representats tant com matrius numèrics d'alerta i com mapes, informant sobre alertes per a cada platja objectiu i per a diferents usuaris finals.

Beach target name	Beach target type	Date	Alert for occasional users	Alert for civil protection	Alert for iCoast group
BADALONA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
BARCELONA BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	2	3
CABRERA DE MAR BEACH	REVTMENTS	06/03/2013	1	2	3
CAMBRILS PORT	PORT	06/03/2013	1	1	0
FORUM PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
GAVA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
GINGOLERS GROYNES	GROYNES	06/03/2013	0	1	0
L'ESCALA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	0	2	3
LLANÇA PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
LLORET DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
MARQUESA BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
MATARO PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
OLIMPIC PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
PALS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
PREMIA DE MAR PORT	PORT	06/03/2013	1	2	3
RIERA RIUDOMS GROIN	GROYNES	06/03/2013	1	1	0
RIFA-PILANS BEACH	OPEN BEACH	06/03/2013	1	1	0
SANT SEBASTIA BEACH	ENCLOSED BEACH	06/03/2013	1	1	3
SITGES BEACH	ENCLOSED BEACH & GROYNES	06/03/2013	1	1	1
SOUTHERN MATARO BEACH	REVTMENTS	06/03/2013	1	2	3
TORDERA RIVER DELTA	OPEN BEACH	06/03/2013	1	2	3
TOSSA DE MAR BEACH	POCKET BEACH	06/03/2013	1	2	3
TRABUCADOR BAR	BARRIER BEACH	06/03/2013	1	2	0

Taula 2  
Alertes personalitzades per a diferents usuaris del succés del 06/03/2013

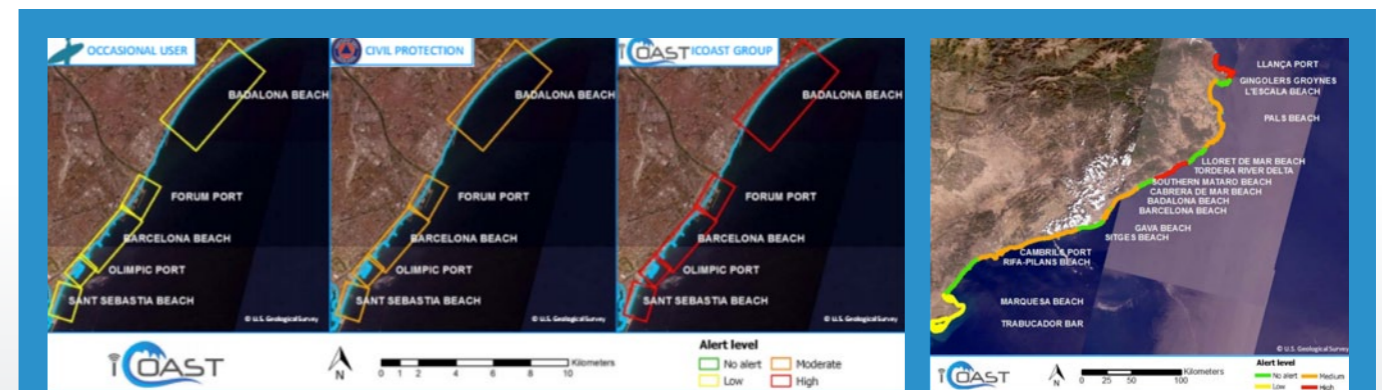


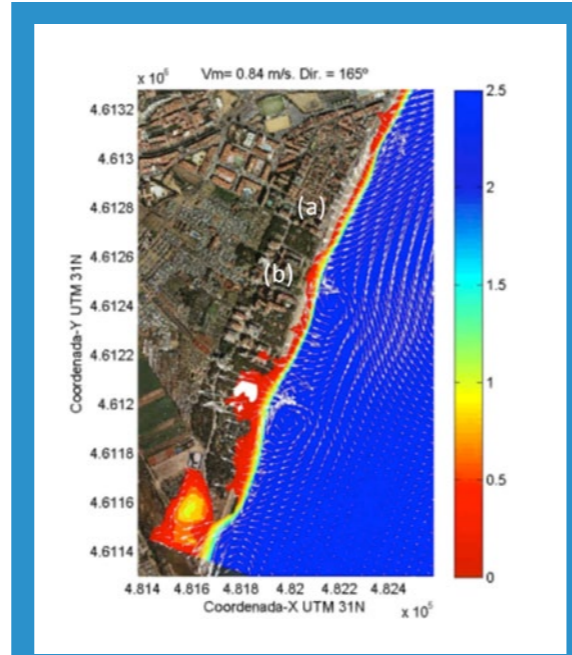
Figura 13  
Alertes personalitzades per a diferents usuaris finals, basades en una durada de 24 hores i una resolució de 3 km al WRF pel succés del 06/03/2013

Figura 14  
Alertes per la costa catalana, basats en una durada de 24 hores, i una resolució de 3 km al WRF pel succés del 26/12/2008

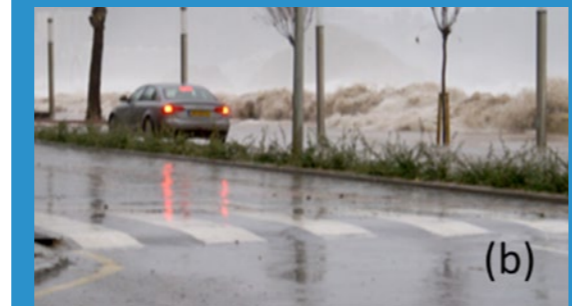


**Implementació d'eines i aplicacions**

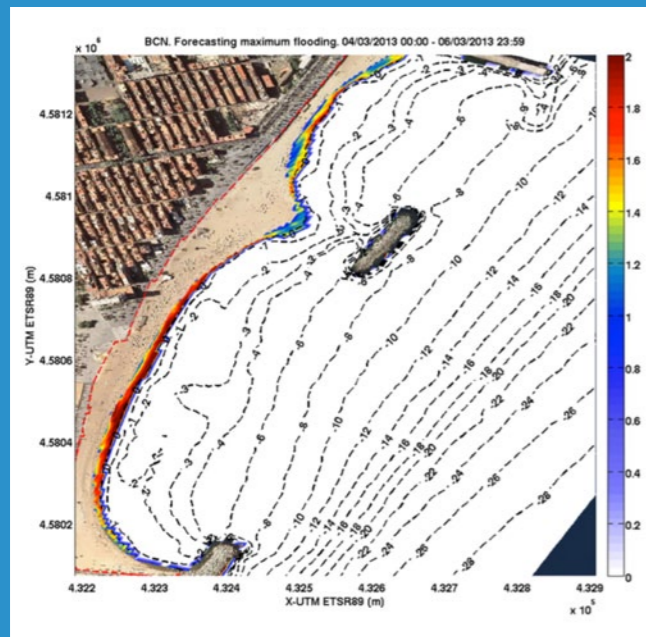
El projecte va seleccionar dos episodis de temporal: La tempesta de desembre de 2008 i la tempesta de març de 2013. El primer cas és usat per determinar la viabilitat d'iCOAST, mentre que el segon és usat per provar iCOAST d'una manera totalment operacional. Tots dos casos han estat utilitzats per validar els resultats mitjançant comparació amb la xarxa de mesures d'onatge i nivell del mar, existent a la zona. La tempesta de desembre de 2008 va impactar a la costa catalana durant més de 50 hores, donant peu a episodis d'inundació local, erosió (retrocés) de la costa, causant, a més, danys severes en infraestructures (passeigs marítims i ports). Malauradament, l'esdeveniment va causar la pèrdua de tres vides humanes generant una alarma social generalitzada que va derivar en el tancament de platges, passejos marítims i passarel·les d'espigons. La Figura 15 reproduïx les inundacions costaneres observades segons iCOAST. Al març de 2013, dues tempestes consecutives van impactar a la costa, generant una intensa erosió a les platges barcelonines. Els mitjans de comunicació van informar sobre el succés com una situació de risc tot i que no es va conèixer cap pèrdua econòmica significativa. L'assaig sobre la tempesta de 2013 demostra la viabilitat de l'estratègia en cadena de model definida en iCOAST, i també la precisió dels models per als successos de tempesta. El grup de models meteorològics i oceanogràfics van demostrar que el procés de refinament espai-temporal tendeix a proporcionar millors prediccions. La Figura 16 mostra la resposta de les platges.



**Figura 15**  
Inundació predita en S'Abanell durant el temporal de desembre de 2008.



Imatges aparegudes als diaris, sobre l'incident (font: www.publblanes.net)



**Figura 16**  
Inundació màxima, predita amb tres dies d'antelació, per el temporal de 2013.

ARQUITECTURA D'ICOAST I APLICACIÓ

**F**

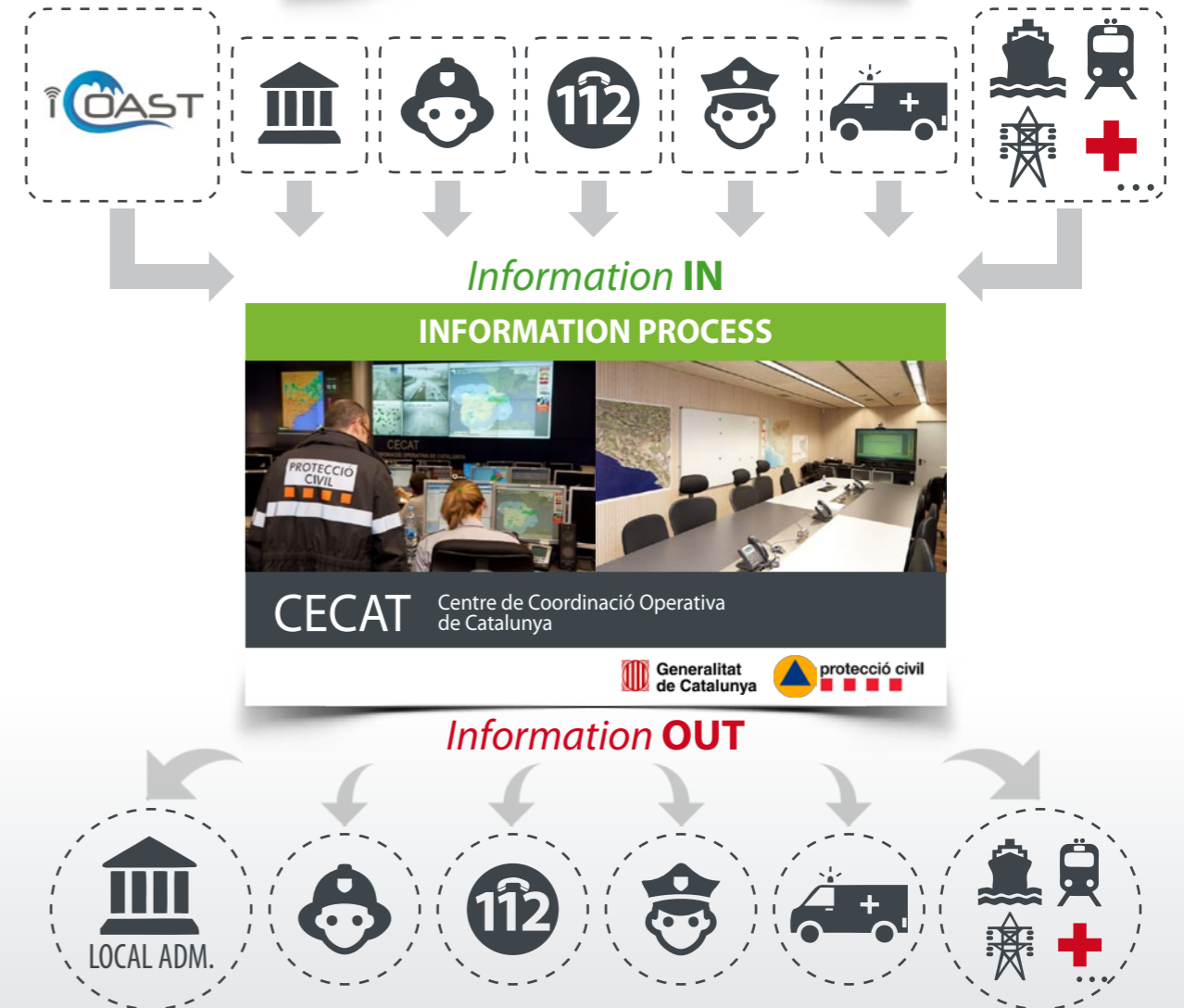
**G**

**PROTOCOLS DE COMUNICACIÓ D'EMERGÈNCIES**

Aquesta tasca consisteix en definir com els resultats de iCOAST poden ser incorporats dins dels sistemes de comunicació d'emergències, proporcionant instruccions sobre com la comunitat local hauria de ser contactada, a través d'alertes oficials i consells respecte a la gestió del risc. Per a això es realitza una revisió dels protocols de comunicació d'emergències a escala regional i nacional, comparant-los amb les normatives i recomanacions internacionals usades en les regions mediterrànies occidentals. A nivell local, el centre d'Emergències de Catalunya (CECAT) és responsable de proporcionar les alertes, els consells o recomanacions oficials a la població o qualsevol altre tipus d'usuari amb necessitats més específiques. Això inclou

l'activació de mecanismes de comunicació entre CECAT i els usuaris finals (municipis). Aquests protocols tenen en compte les vulnerabilitats de la població de cada territori i les infraestructures del lloc. Els indicadors de l'estat costaner (CSI) identificats dins l'iCOAST estan, ara, disponibles al CECAT per provar la seva eficàcia, oferint diferents missatges d'alerta depenent de les necessitats específiques (afectació d'àrees de pàrquing, cases, poblacions, passeigs marítims, etc.). Per tant, els protocols de comunicació existents a nivells regional i nacional podrien ser integrats en els protocols específicament desenvolupats en el context de iCoast, per reforçar els centres d'emergència durant les alertes i les fases de resposta de les emergències costaneres.

**EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE**







## Integrated COastal Alert SysTem

Un projecte de prevenció en protecció civil finançat per la UE - ECHO

### RESUM

El projecte ha desenvolupat un prototip de sistema d'alerta costaner, iCOAST, capaç de predir, amb antelació, temporals extrems. Aquestes situacions d'alta energia venen definides per una combinació de fort onatge i un nivell del mar alt. iCOAST ha estat validat per la costa catalana, un ambient micro-mareal dominat per l'onatge, en el qual les variacions del nivell mig del mar induïdes per les condicions meteorològiques són un factor clau desencadenant del dany.

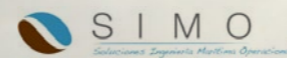
La metodologia desenvolupada permet la identificació de platges o zones crítiques, definint, en cada cas, els indicadors més representatius, que expliquen una condició de temporal i els seus valors associats.

Els models utilitzats i l'estratègia d'implantació proporcionen informació, no només del temporal, sinó del tipus de mesures que es poden dur a terme per disminuir el risc previst. Es proposa la construcció d'un sistema duna-rasa de petites dimensions com a mesura d'acció ràpida per disminuir el possible ultrapassament de l'onatge.

El marc desenvolupat pot ser implementat en altres regions europees costaneres per ajudar en el procés de presa de decisions de la gestió de riscos costaners.



**protecció civil**



[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)







[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)

This report was produced in the context of the iCOAST Project with the financial contribution of the European Commission,  
Directorate - General Humanitarian Aid and Civil Protection – ECHO,  
A.5 Civil Protection Policy, Prevention, Preparedness and Disaster Risk Reduction Unit,  
under Grant Agreement No: ECHO/SUB/2013/661009.

Art Director & Graphic Design  
MEAKIKI S.A.S  
[www.meakiki.com](http://www.meakiki.com)

Finito di stampare nel mese di dicembre 2015  
AGIT MARIOGROS Industrie Grafiche S.r.l.  
[www.agit.torino.it](http://www.agit.torino.it)



## Project Partners



Servei  
Meteorològic  
de Catalunya



Information Technology for  
Humanitarian Assistance  
Cooperation and Action



**ICGC**  
Institut  
Cartogràfic i Geològic  
de Catalunya



Generalitat de Catalunya  
**Departament d'Interior**



[www.icoast.eu](http://www.icoast.eu)



[twitter.com/icoast\\_eu](https://twitter.com/icoast_eu)