

Vulnerabilidad, impactos y adaptación en la costa construida



VII Seminario Internacional de
Ingeniería y Operación Portuaria

26-28 octubre 2016
San Antonio, Chile

Jose M. Grassa
Centro de Estudios de Puertos y Costas
CEDEX

Contenido

Cambio de clima y costa

Las tormentas del invierno de 2013 – 2014 en el Cantábrico

Características de los temporales y peligrosidad en la costa

El entorno litoral construido: vulnerabilidad y medidas

Resumen, conclusiones, propuesta

Algunas referencias a Ramón Iribarren

Cambio de clima (CC) y costa

La vulnerabilidad de la costa (fuertemente urbanizada) ante el CC

En ella residen importantes valores naturales del planeta y económicos, sociales y culturales de la humanidad

Los periodos glaciales e interglaciares han producido enormes variaciones del nivel del mar

Hace 15,000 años el nivel del mar estaba 120 m por debajo del actual

Los cambios de clima han sido notables en fechas mucho más recientes

La 'Frost Fair' en el Támesis, Londres, hasta el 7/2/1814

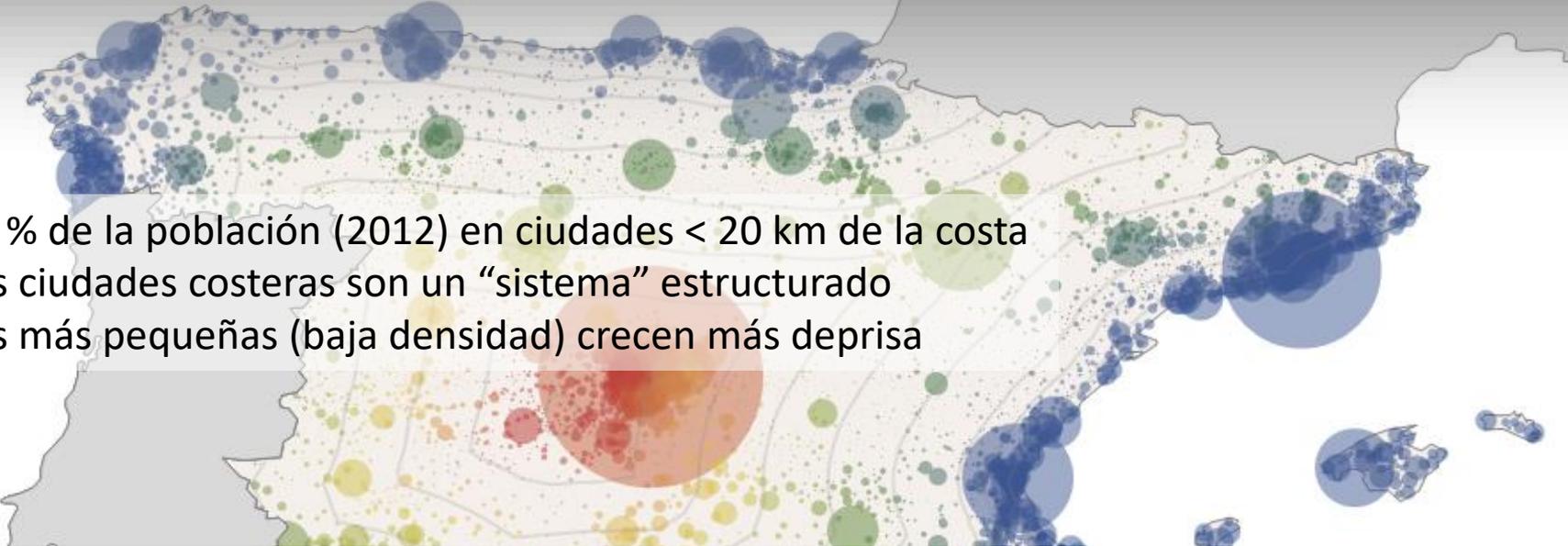
La preocupación es el cambio acelerado producido por el hombre

Nivel del mar tras deshielo de Groenlandia: + 7 m; Antártida: + 66 m

El conocimiento avanza deprisa

La costa urbana: lugar central de población

46 % de la población (2012) en ciudades < 20 km de la costa
Las ciudades costeras son un “sistema” estructurado
Las más pequeñas (baja densidad) crecen más deprisa



Grupo	Nº	rango pob.	media	densidad	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	99-12 (%)
P	1038	0-14	3	88.	3633	3700	3794	3897	4002	4083	4224	4343	4465	4607	4695	4741	4783	4807	32
P-M	171	14-37	21	291.	3626	3700	3792	3901	4030	4101	4230	4338	4419	4540	4615	4655	4680	4705	29
M	59	39-121	61	941.	3607	3663	3727	3810	3899	3945	4059	4142	4182	4274	4342	4373	4397	4419	22
M-G	18	128-284	198	991.	3560	3564	3594	3636	3696	3716	3770	3796	3802	3843	3874	3881	3881	3870	9
G	6	327-1503	635	3897.	3813	3814	3852	3908	4009	4010	4055	4078	4067	4121	4142	4138	4123	4127	8

Valores sociales y culturales

La costa es el lugar central de actividad económica y social
Mas allá del utilitarismo, patrimonio cultural e identitario

Résidence Eskualduna, Hendaye Plage. Edifice historique de France

15.000 AP, nivel del mar -120 m

Primera oleada de colonización de América
Clovis: extinción de grandes mamíferos
Grandes llanuras costeras
Menores diferencias en la península ibérica

Malla de elevaciones ETOPO, línea de costa actual GSHHS

The frost fair, Támesis, Londres, febrero 1814

Cambios también en fechas recientes

Documentada en muchas ocasiones a lo largo de los s. XVII, XVIII y XIX

El 7 de febrero el río se deshelo y no ha vuelto a helarse lo suficiente



Tinta y acuarela, Luke Clennel, Museum of London

¿1.000 DP, nivel del mar +7 m?

Desaparición de la cubierta de hielo de Groenlandia
Cambios (apreciables a esta escala):
costa atlántica al norte de Aquitania,
delta del Ebro
delta del Ródano

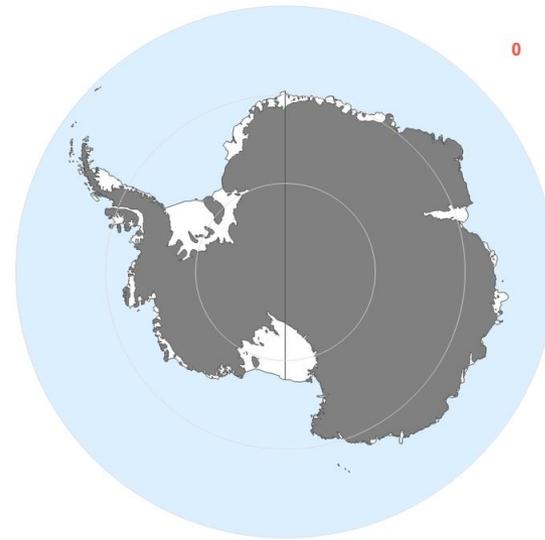
¿6.000 DP, nivel del mar +66 m?

La tierra sin hielo continental
Sumersión de la costa atlántica francesa
Valle del Ródano y del Po, ...

Malla de elevaciones ETOPO, línea de costa actual GSHHS

Meteorología en latitudes extremas

1931



Fuente de datos WRI; Población hab. (N, S) = (74.646, 464)

Las tormentas 2013 – 2014 en el Cantábrico

Fuertes daños en costas urbanas de Galicia a Aquitania

Escasos sin embargo en los grandes puertos comerciales

Temporales no excepcionales en cuanto a altura de ola

Periodo de retorno reducido, otros oleajes superiores registrados desde 1990

Dirección de arribada del WNW, dominante en el Cantábrico

Uniforme a lo largo de todo el invierno

Elevadísimos periodos de pico de oleaje de las tormentas (hasta 20 s)

Muy superior a los típicos de oleaje de temporal en el Cantábrico, 13 – 15 s

Mareas de niveles extraordinarios

Registros próximos al record en Santander (Cantabria) y Adour (Bayona)

*Los anómalos niveles del mar (un efecto seguro del CC) y periodos de oleaje (un efecto incierto)
¿modelo adelantado de temporales frecuentes en décadas próximas?.*

Daños en costas Urbanas

Escasos daños en grandes calados
Daños en zonas de muy reducida profundidad

Playa de la Zurriola, Gros, Donostia, 23/3/2014

Algunos daños

2/2/14

Zurriola - Urumea

Dique de Bermeo

Puerto de Castro Urdiales

Puntal de Laredo

Dique de Cudillero

3/3/14

Playa de Zarautz

Dique de Bermeo

Playa de Somo

Dique de Cudillero

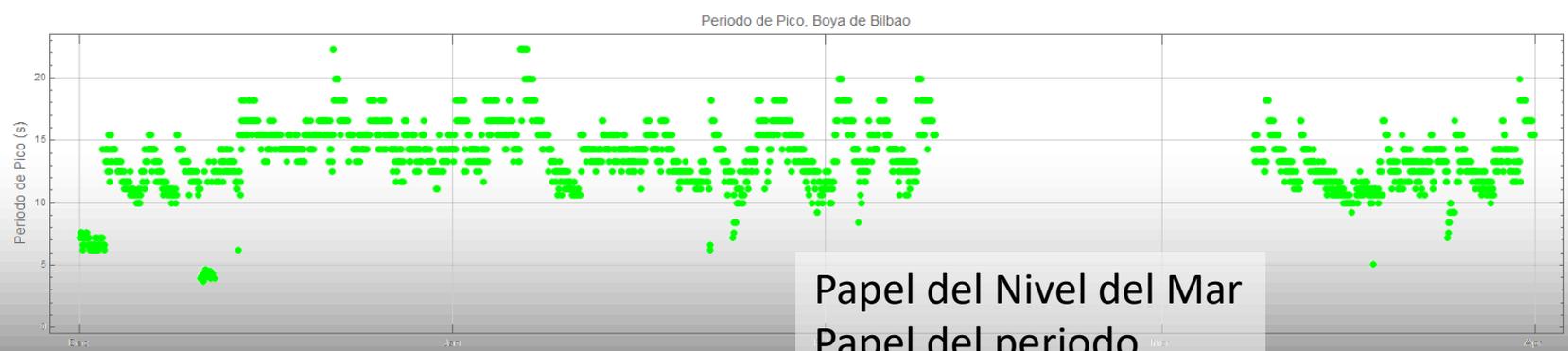
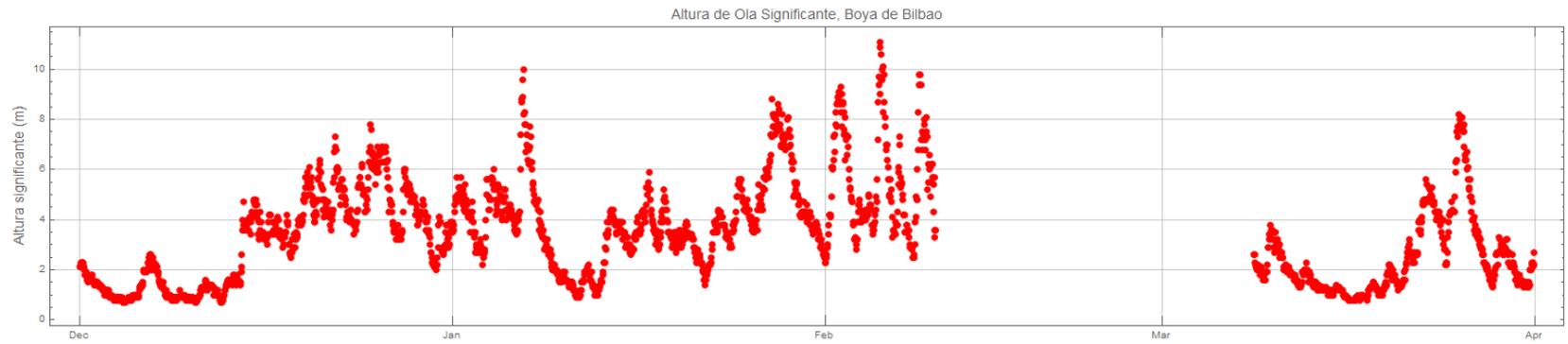
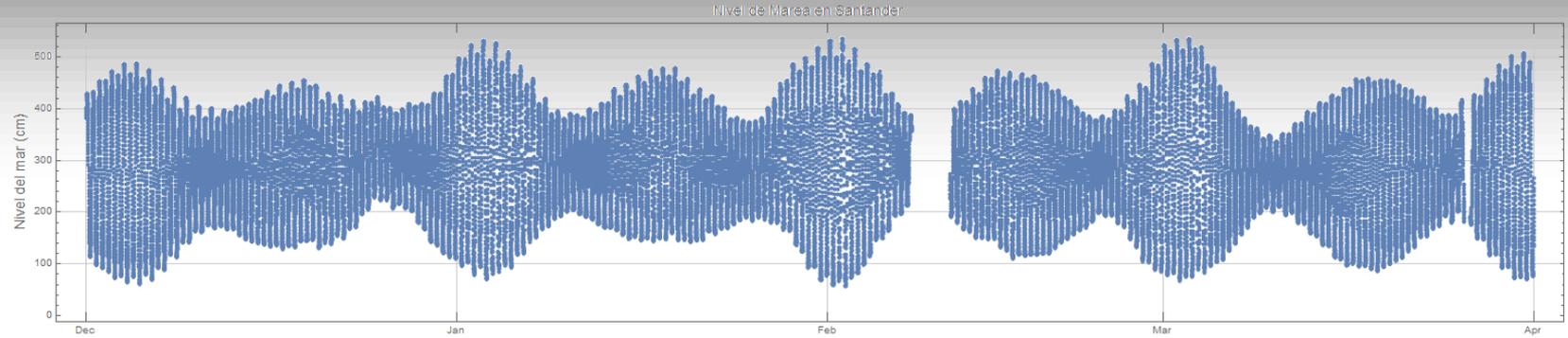
Playa de San Lorenzo, Gijón

Playa de Orzán, A Coruña

Hendaye plage, 1/5/14



Estados del mar



Papel del Nivel del Mar
Papel del periodo

Factores de peligrosidad de los temporales

La altura de las olas en aguas profundas, pero junto con otros factores:

Exposición de la costa respecto a la dirección de procedencia

Abrigo de la costa: el Fetch, los fenómenos de transformación

Periodo característico de las olas

Intensidad de la transformación, elevación de la cresta de las olas

Numero de Iribarren: pendiente del fondo y peralte de las olas

Rotura o reflexión y remonte - rebase (inundación) de las olas en la costa

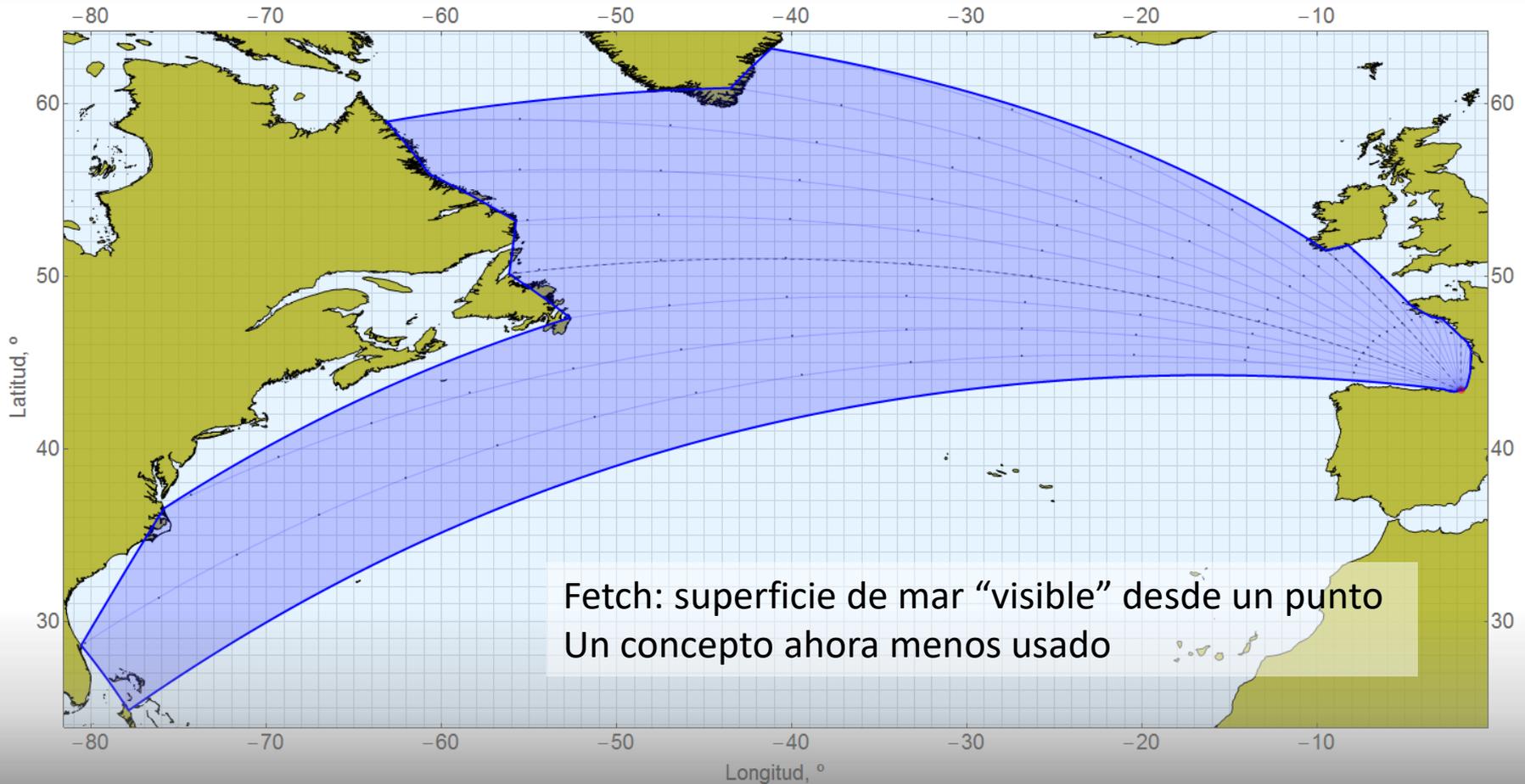
Nivel medio del mar

Alcance de las olas en la costa e inundación

Exposición de la costa – Cabo de Higer

Fetch Cabo de Higer , (43.397 N, -1.7914 E)

Long. máxima (km): 7,067.12, Area (km²): 8.98 x 10⁶



Cálculo en proyección azimutal equidistante, representación equirectangular

Transformación del oleaje – Ondaraitz

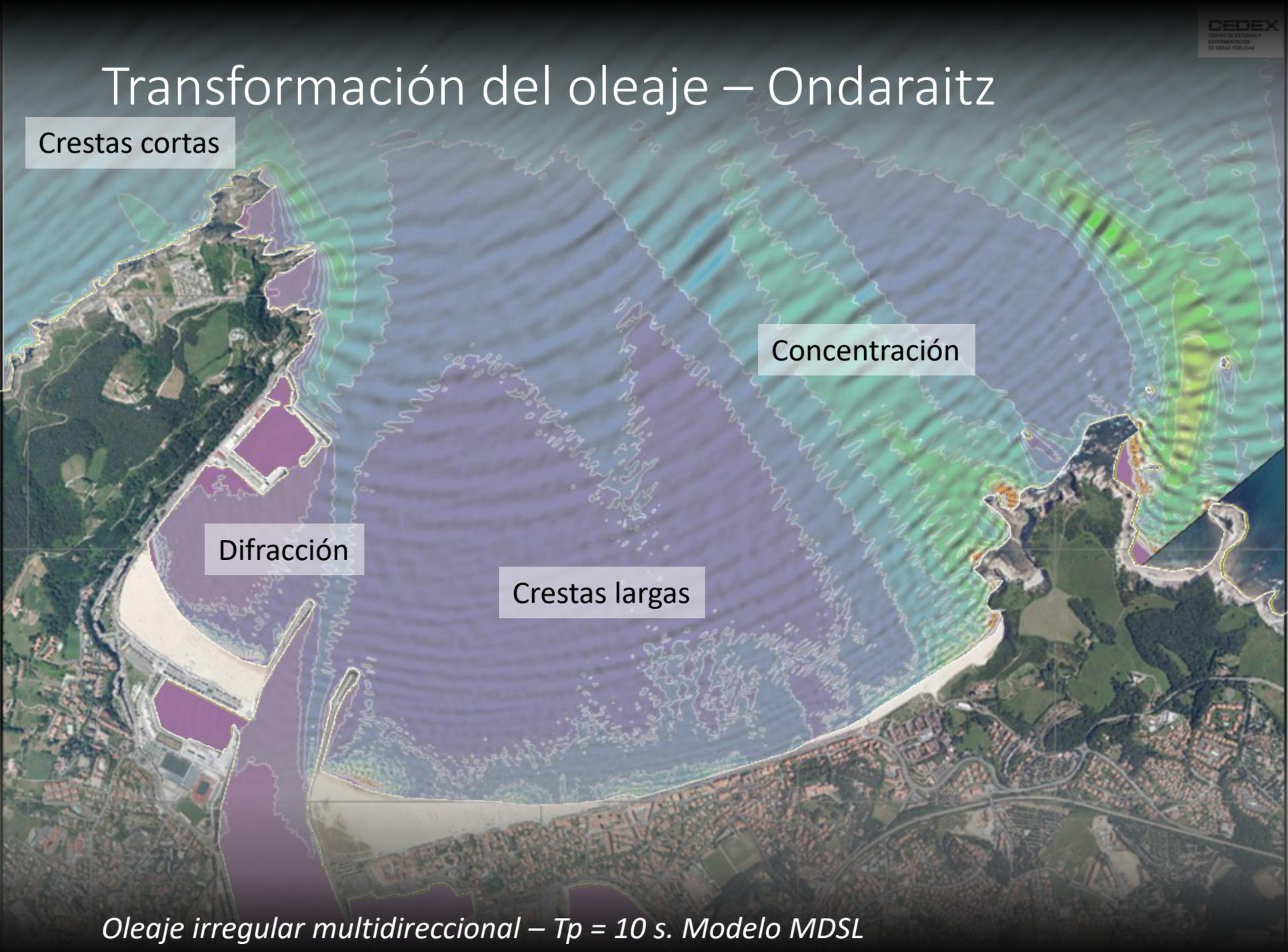
Crestas cortas

Concentración

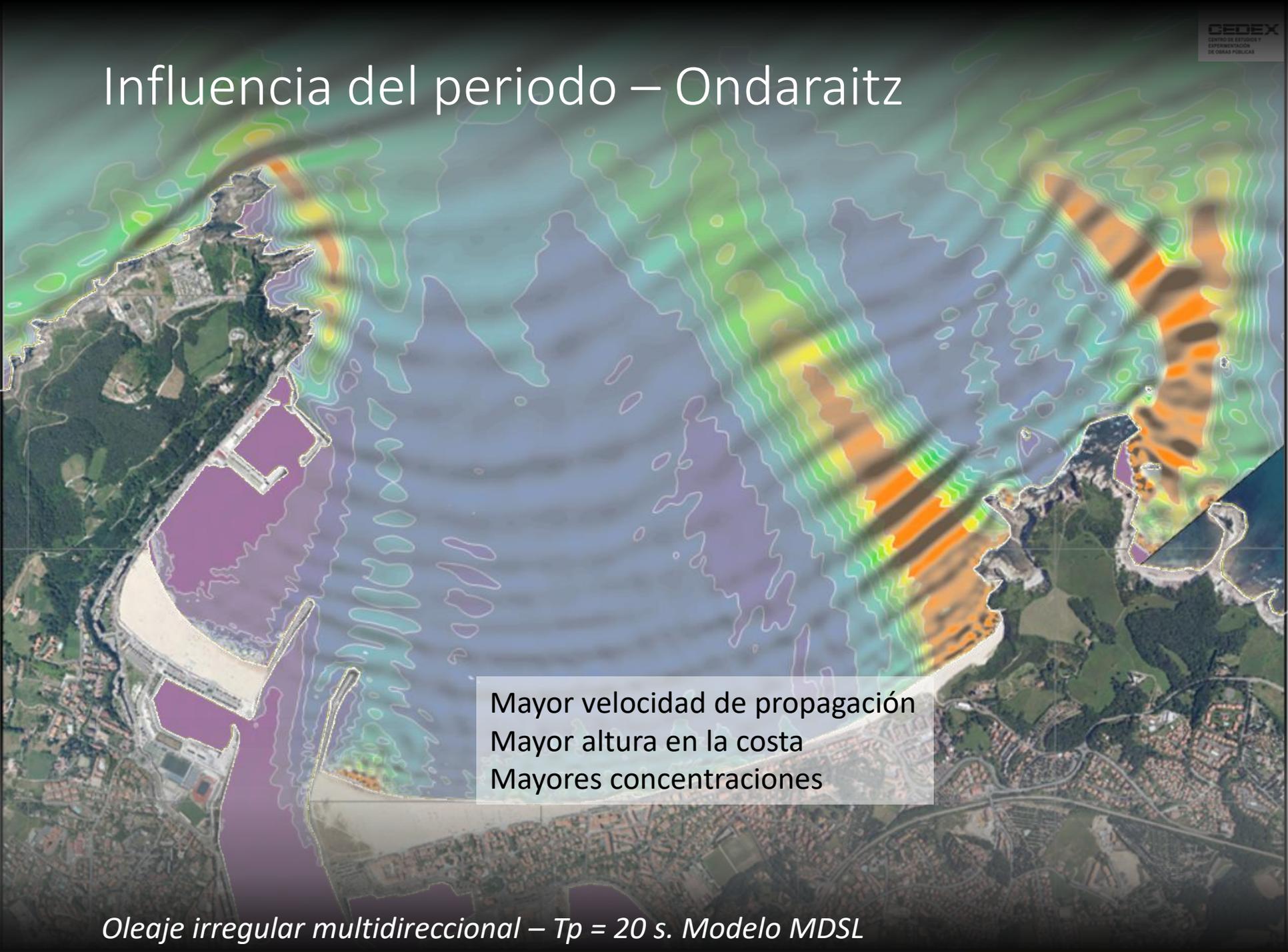
Difracción

Crestas largas

Oleaje irregular multidireccional – $T_p = 10$ s. Modelo MDSL



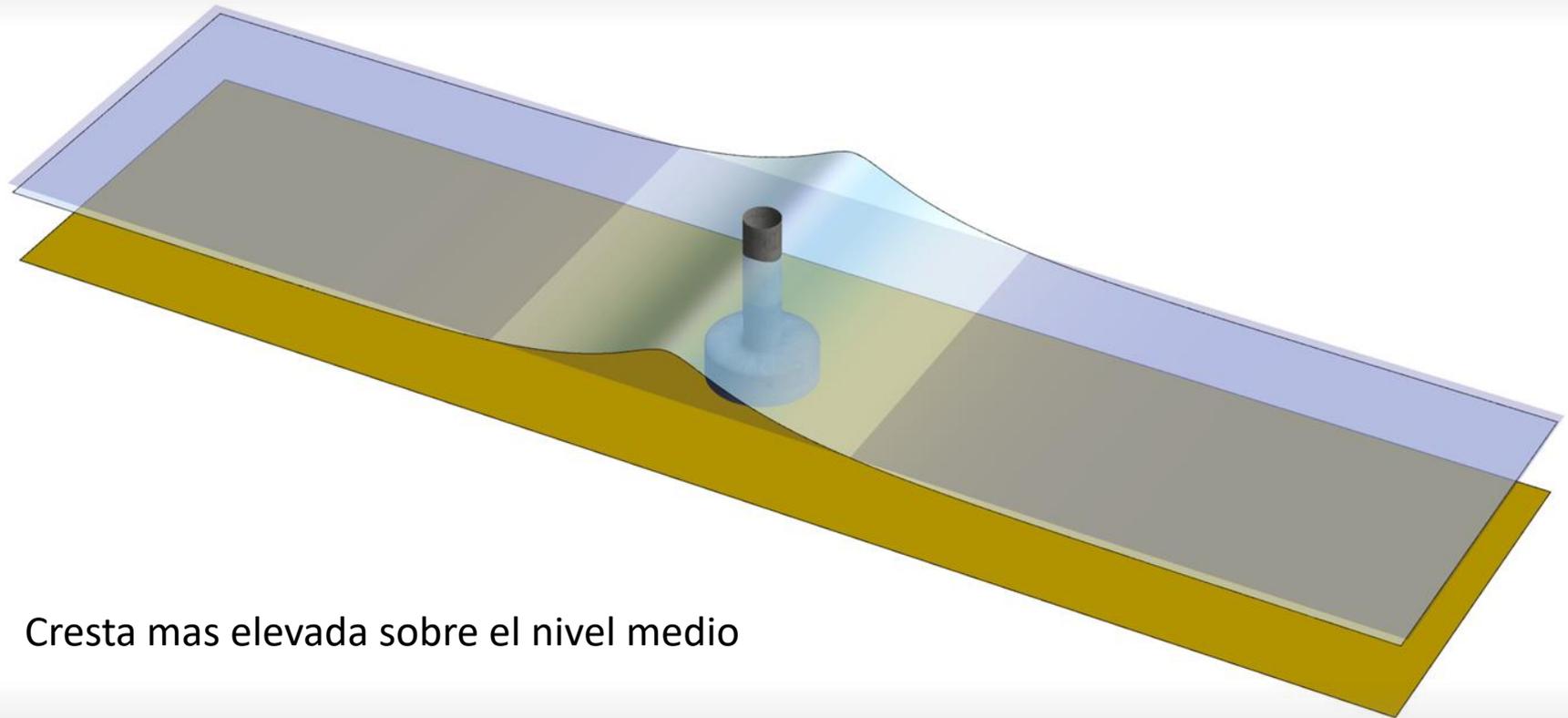
Influencia del periodo – Ondaraitz



Mayor velocidad de propagación
Mayor altura en la costa
Mayores concentraciones

Oleaje irregular multidireccional – $T_p = 20$ s. Modelo MDSL

Asimetría de olas largas en poca profundidad



Cresta mas elevada sobre el nivel medio

$H, T, d = \{3.5, 10, 5\}$. Método de la función de flujo

El número de Iribarren: Experimentos

Nº de Iribarren, $\xi=0.77$
($H = 0.35$ m, $T = 2$ s, $\tan \alpha = 0.20$)

0.000



Nº de Iribarren, $\xi=3.86$
($H = 0.35$ m, $T = 2$ s, $\tan \alpha = 1.00$)

0.000



Costa construida: vulnerabilidad y medidas

La costa es un medio natural dinámico, en permanente adaptación

Ciclo invierno – verano en las playas

Evolución de playas ante elevación del nivel del mar: la regla de Bruun

La costa construida: playas, paseos, muros, puertos pesqueros para usos ciudadanos

Rígida y vulnerable frente a cambios en el clima marítimo

Medidas ante el CC: defensa – adaptación – retirada

Opciones restringidas en el entorno urbano

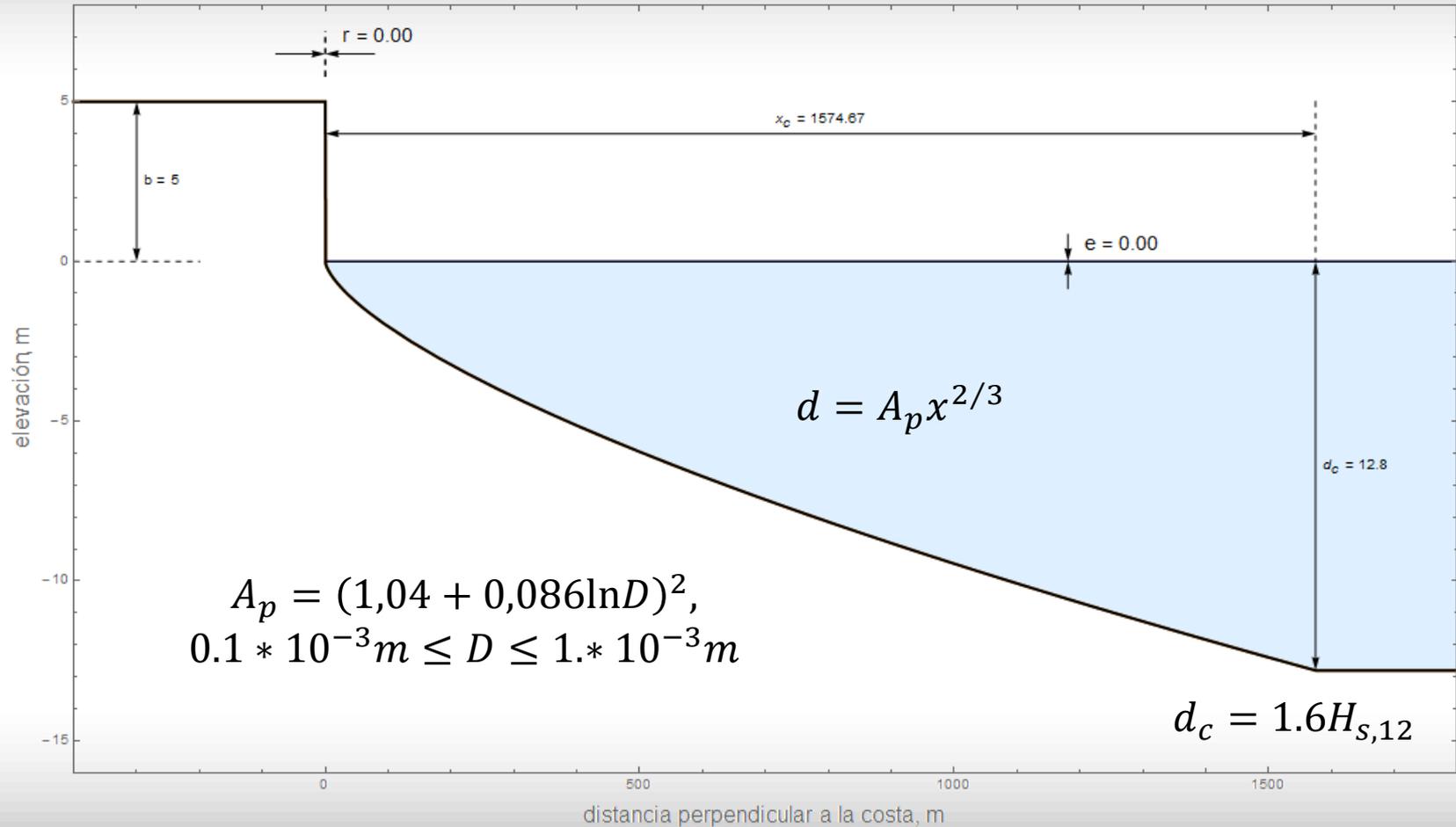
Medidas incrementales y flexibles:

Ejecución sucesiva según necesidades y útiles en diversos escenarios

Perfil de equilibrio de playa

Retroceso de la costa en respuesta a ascenso NMM, $e = 0.0$ m

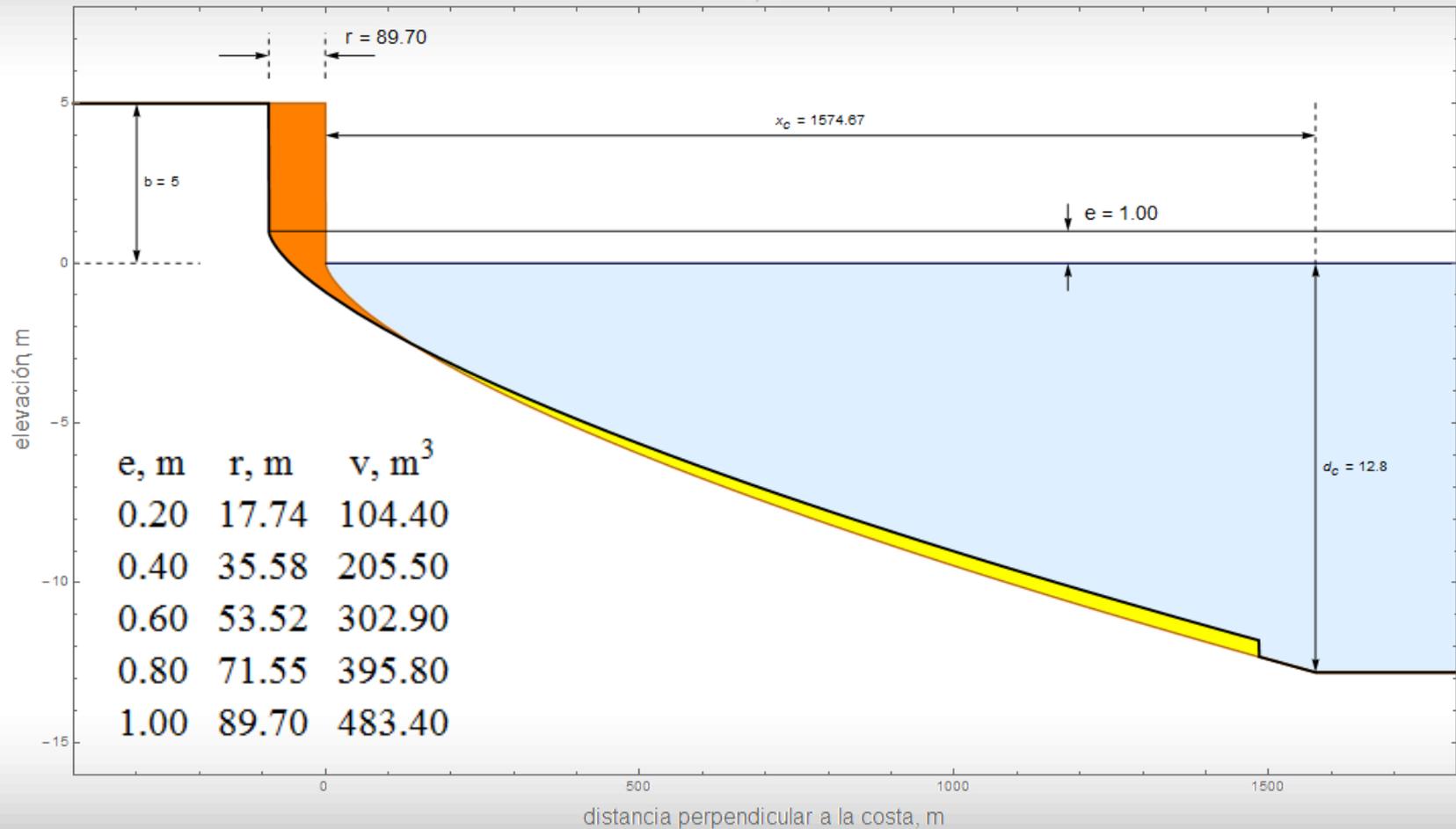
$D = 0.2$ mm, $H_{s,12} = 8$ m, $b = 5$ m



Retroceso por ascenso de NMM: regla de Bruun

Retroceso de la costa en respuesta a ascenso NMM, $e = 1.0$ m

$D = 0.2$ mm, $H_{s,12} = 8$ m, $b = 5$ m



El número de Iribarren: realidad

Tres escenarios:

Playa

Talud

Vertical

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}}$$



Costa construida: defensa y adaptación

Las playas en el entorno urbano tienen restringida su auto – adaptación a niveles crecientes del mar por la limitación de retroceso

Alimentación de arena para reconfigurar perfil sin retroceso de la orilla

Incremento del grado de abrigo de la playa que reduzca oleaje y retroceso

Muros, paseos, obras portuarias pueden perder funcionalidad (rebase e inundación) y estabilidad frente a incrementos de nivel del mar al pie de las estructuras y pérdida de la limitación (por rotura) de altura de ola que las acomete. Temporales de periodo elevado son un factor de fallo funcional – mayor nº de Iribarren e incremento de rebases

Fallo estructural: refuerzo, “marinización” de elementos no costeros

Fallo funcional: elevación cota de coronación, disminución importante de la pendiente de la estructura

Protección por incremento del abrigo



Saint Jean de Luz, 14/9/2015

Protección por elevación de la cota



Saint Jean de Luz, 14/9/2015

Resumen, conclusiones

La costa construida tiene opciones limitadas ante el CC

Junto con la altura de ola, otras características de los temporales son muy importantes para su peligrosidad en la costa: Nivel del mar (un efecto seguro del CC) y Periodo del oleaje (un efecto incierto pero posible); ambos factores fueron anómalos en los temporales más dañinos del invierno 2013-2014

Las playas cuentan con mecanismos de auto – adaptación. Parece muy conveniente que estos puedan aprovecharse ante el CC mediante aportes de arena artificiales

Otros litorales construidos deben adaptarse funcional y estructuralmente con atención a elementos no concebidos para soportar acciones marinas

El papel de Ingeniería de Costas

Dado su posible carácter precursor de situaciones comunes en décadas próximas, es útil el estudio detallado de estos accidentes “anómalos” con los objetivos:

Analizar cada caso y deducir pautas comunes de situaciones de riesgo que permitan tomar medidas preventivas, en su caso, para otras estructuras y elementos en condiciones próximas a las de las dañadas

Chequear la capacidad predictiva real de las técnicas de estudio disponibles en el estado del arte de la Ingeniería de Costas para estudiar:

Los efectos del Cambio Climático: Inundación en la costa, Rebase en los Puertos

Las medidas de adaptación y mitigación: generación de recurso hídrico (desalación) y energías renovables marinas

¡Gracias por su atención!



VII Seminario Internacional de
Ingeniería y Operación Portuaria