

Tsunamis: l'amenaça del mar

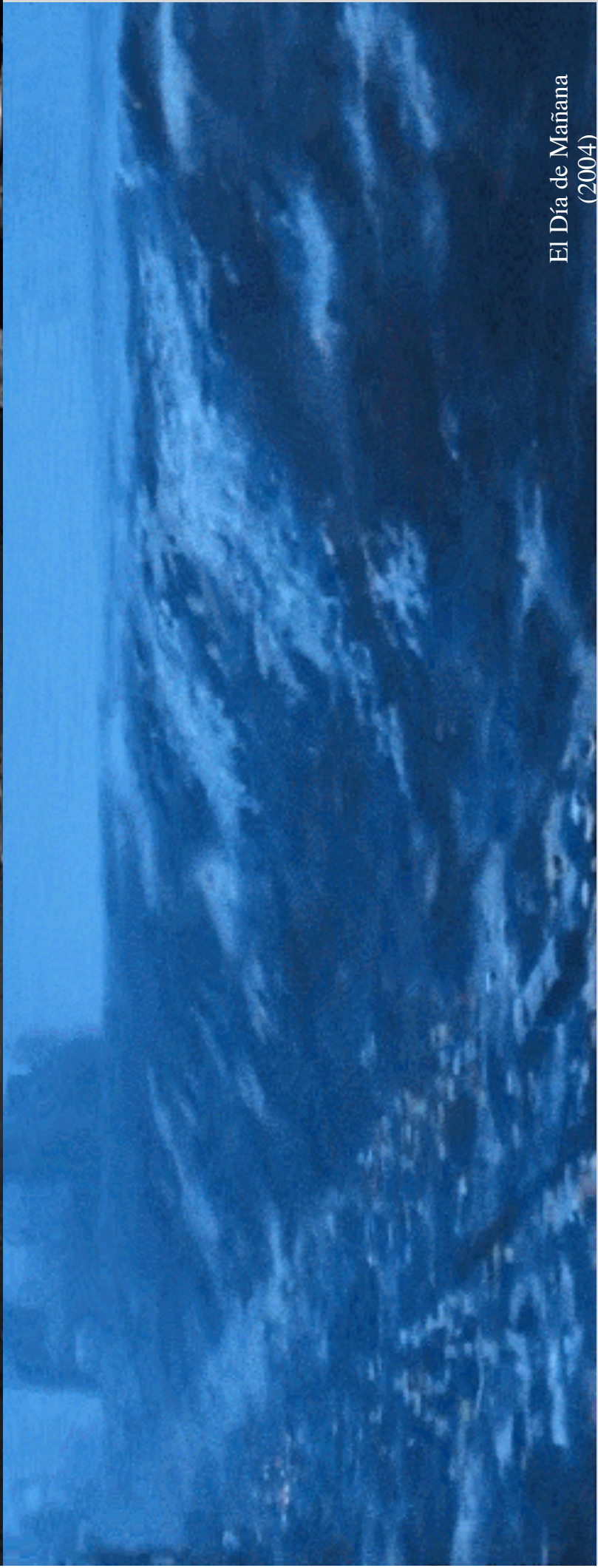
Galderic Lastras
Facultat de Ciències de la Terra



Què NO és un tsunami



Deep Impact (1998)



El Día de Mañana
(2004)

Què NO és un tsunami



Deep Impact (1998)

El Día de Mañana
(2004)

Què NO és un tsunami



Què NO és un tsunami



Ara ja sabem què NO és un tsunami...



Què és un tsunami?



COSTES
MARINA
GEOFISICA

|

GEOMORFOLOGIA



INSTITUT
d'ESTUDIS
Catalans

DICCIONARI DE GEOLOGIA



tsunami *m.*
COSTES I GEOMORFOLOGIA MARINA
GEOFISICA

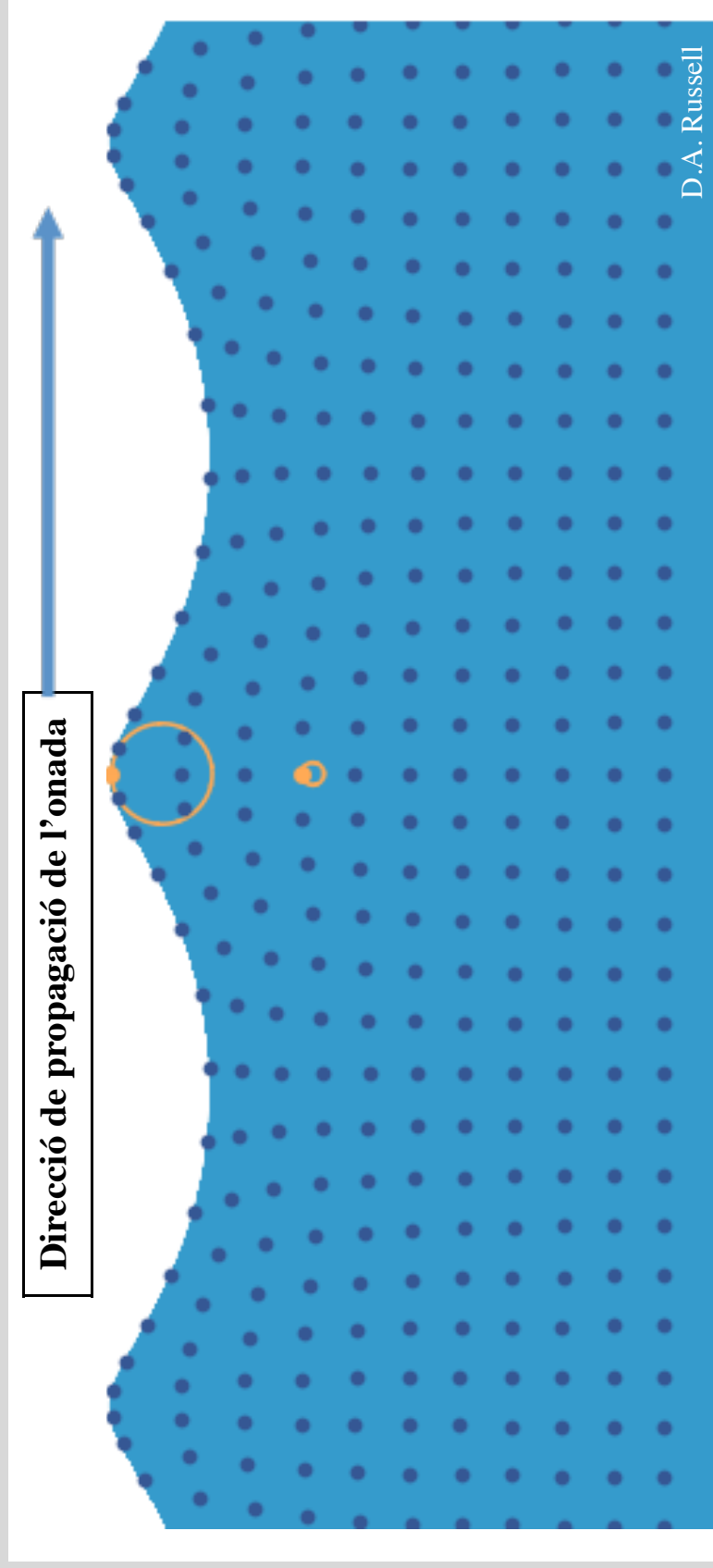
Onada lliure transoceànica molt potent, de gran període (de 5 a més de 60 min), de gran velocitat de propagació (més de 950 km/h) i de gran longitud d'ona (> 100 km), imperceptible a la mar oberta; és produïda per una commoció sísmica, un esfondrament del fons oceànic o una erupció volcànica, i és pròpia sobretot de l'oceà Pacífic; en desfer-se a la costa, adquireix dimensions gegantines de desenes de metres i té efectes catastròfics.

Sin. compl.: [maremoto](#) *m.*, [onada sísmica marina](#) *f.*
en tsunami
es maremoto, tsunami
fr raz de marée, tsunami

Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes...
...que poden travessar ràpidament els oceans sense dissipar-se...
...que poden produir inundacions costaneres...
...generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua.

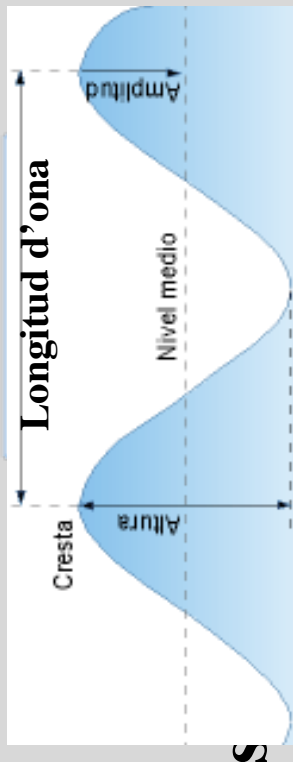
Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

“Onada”: Oscil·lació de les partícules d'aigua en un **moviment orbital** que es **propaga** amb una direcció i velocitat determinades.

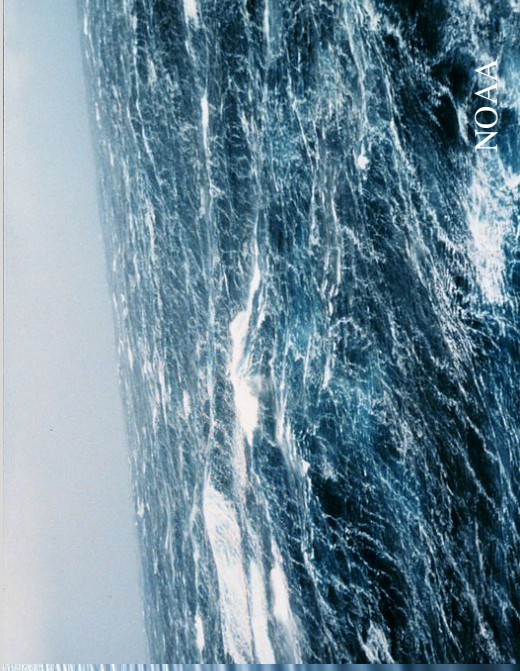


Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

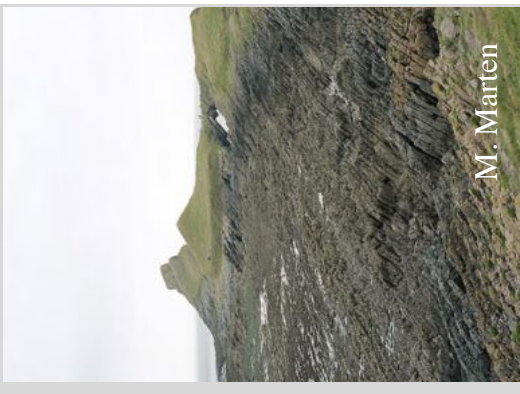
Hi ha **diferents tipus d'ones** segons la seva longitud (distància entre crestes) o el seu període (temps que passa entre dues crestes d'ona).



BlueElf/WikiCommons



NOAA



M. Marten

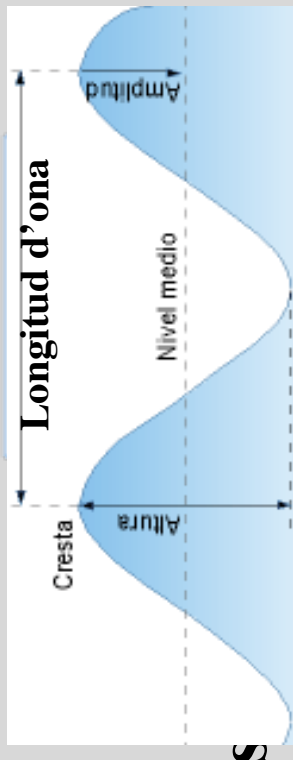
Ones capil·lars

Onades de vent

Seixes
Marees astronòmiques
Marees de tempesta

Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

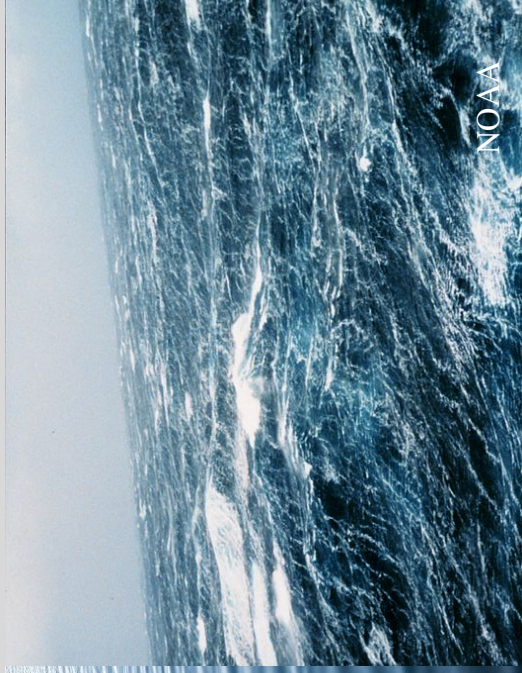
Les onades llargues tenen un període superior a 5 min entre cresta i cresta.
Els tsunamis tenen períodes de 5 min a 2 h (longituds d'ona de 100-500 km).



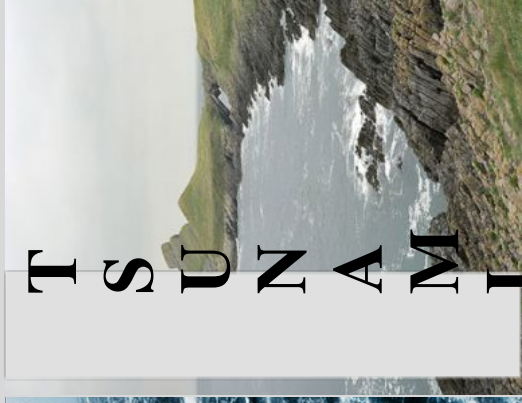
Ones curtes (< 5 min)



BlueElf/WikiCommons



NOAA



M. Marten



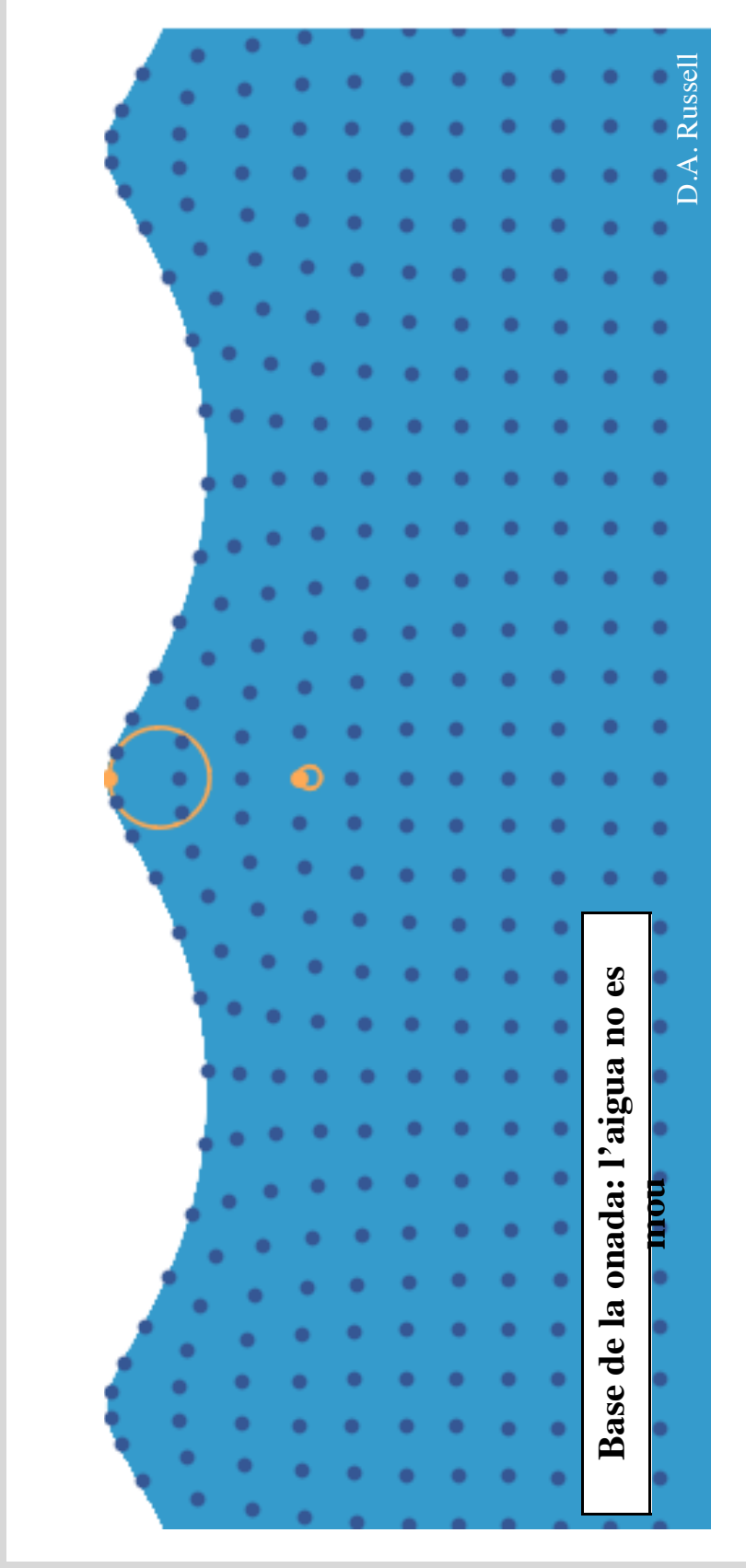
M. Marten

T S U N A M I

Ones capil·lars, $T < 0.1$ s Onades de vent, $T < 30$ s Seixes, $T > 10-30$ min
Marees astronòmiques, $T = 12.5$ h
Marees de tempesta, $T > 1$ d

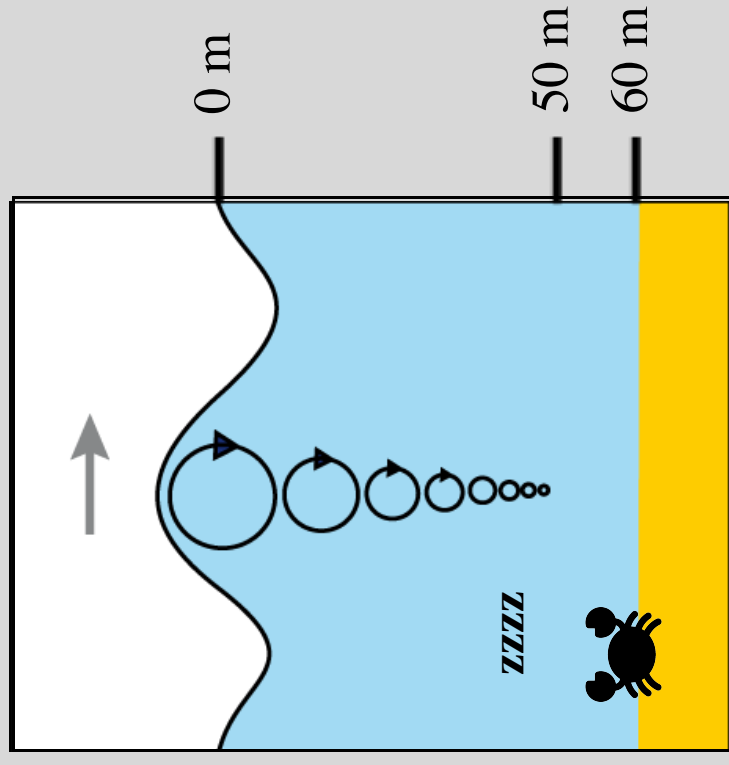
Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

En una onada, el moviment orbital de les partícules **decreix en profunditat**, fins a ser imperceptible a la “base de la onada” .



Una sèrie d'onades llargues some

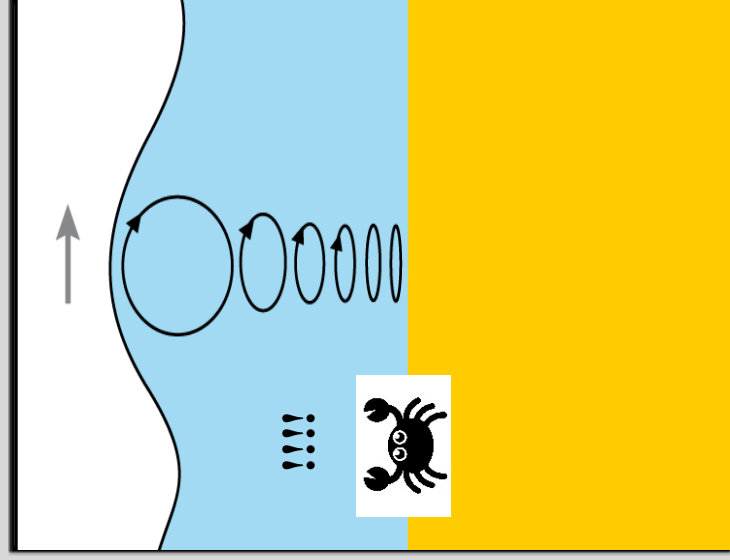
En les onades de vent, la base de la onada se situa a uns 50 m de profunditat. A profunditats d'aigua de més de 50 m, el mar està (més o menys) en **calma**.



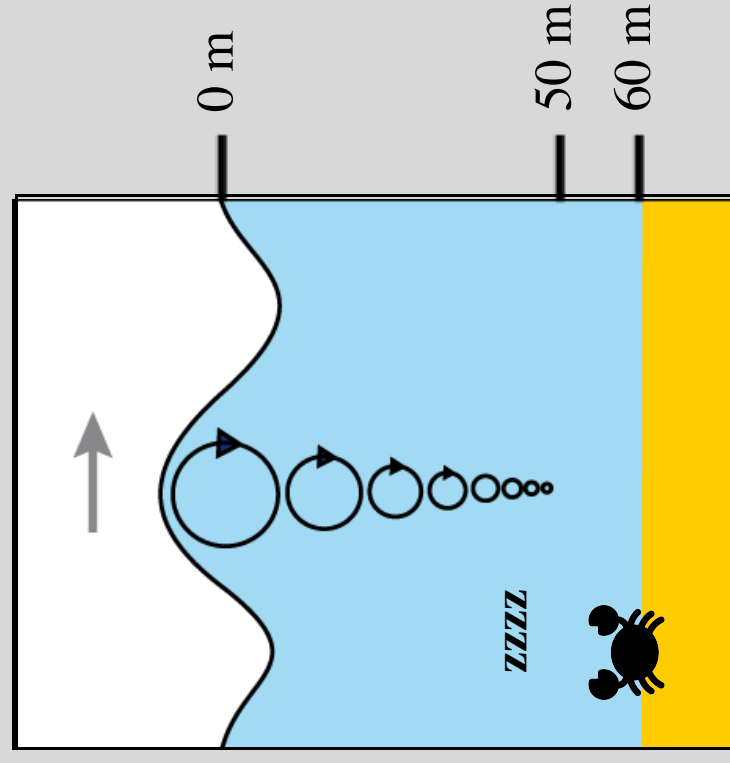
Onada de vent en una zona de >50 m de profunditat

Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

Prop de la costa les onades de vent “toquen” el fons, són onades “d'aigües somes”.
A mar obert les onades de vent són onades “d'aigües profundes”.



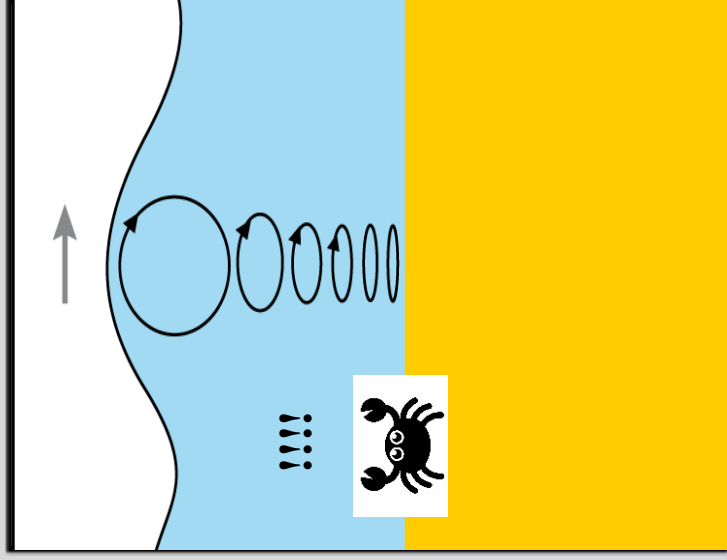
Onada de vent a poca profunditat



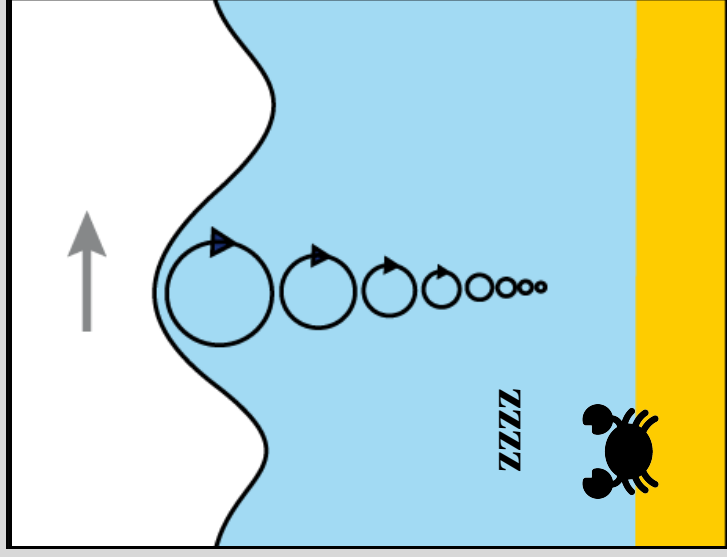
Onada de vent en una zona de >50 m de profunditat

Una sèrie d'onades llargues d'aigües somes

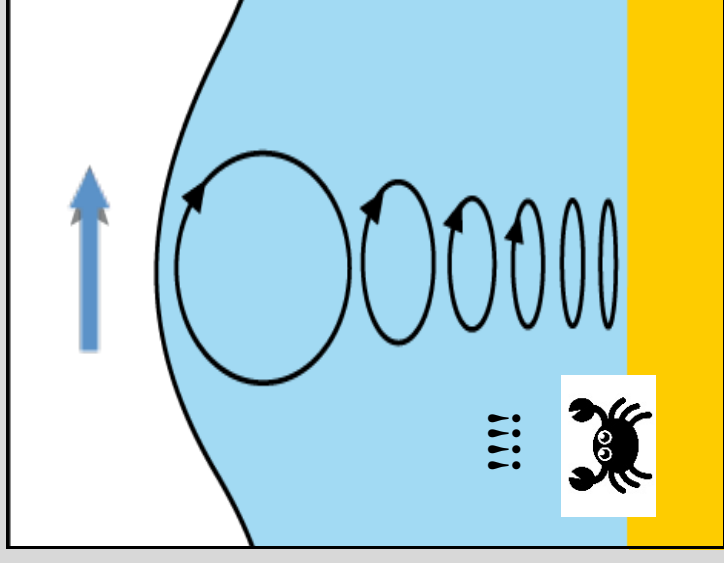
Els tsunamis sempre “toquen” el fons marí. Es comporten com onades “d'aigües somes” encara que creuin la fossa oceànica més profunda. El pas d'un tsunami mou **tota** la columna d'aigua.



Onada de vent a poca profunditat



Onada de vent en una zona de >50 m de profunditat



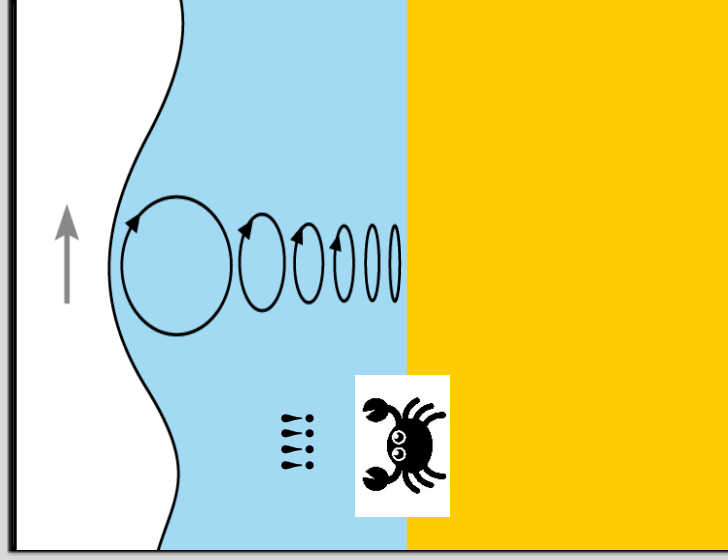
Tsunami a mar obert

que poden travessar ràpidament els oceans sense dissipar-se

En les onades d'aigües somes com els tsunamis, la velocitat a la que viatja l'onada només depèn de la profunditat d'aigua.

$$v = \sqrt{gd}$$

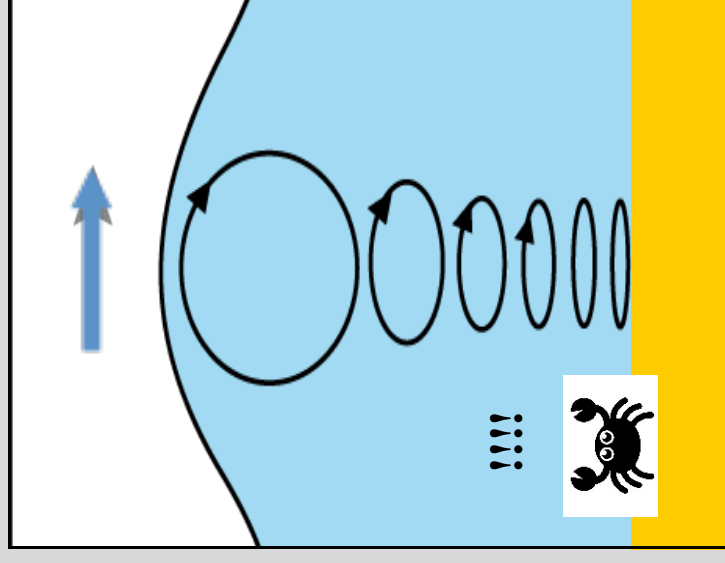
g gravetat
 d profunditat



Onada de vent a
poca profunditat:
20 km/h

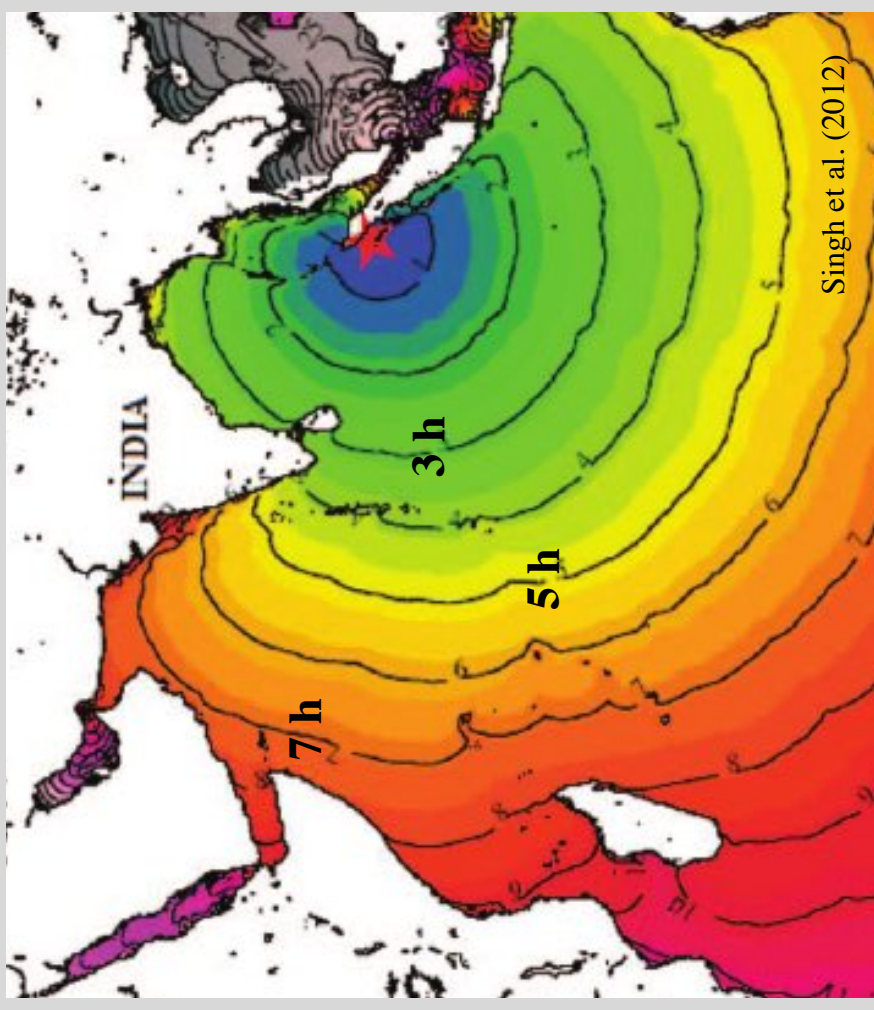
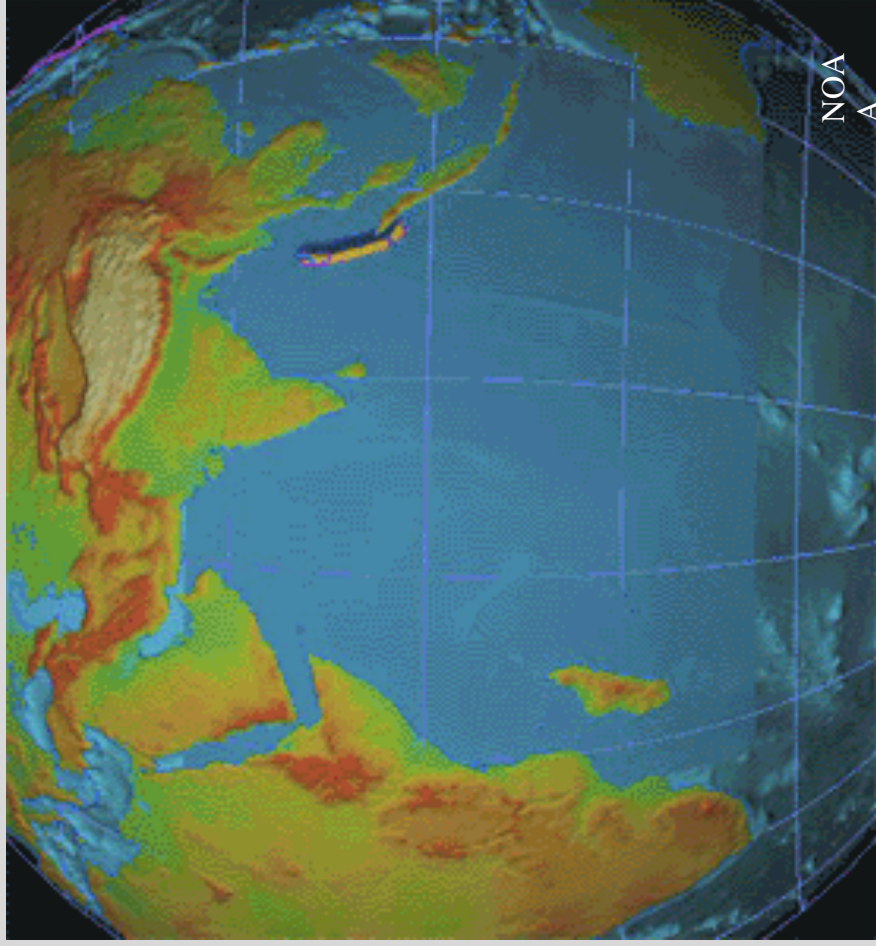
**Tsunami a mar obert:
300-900 km/h**

Tsunami a poca
profunditat:
20 km/h



que poden travessar ràpidament els oceans sense dissipar-se

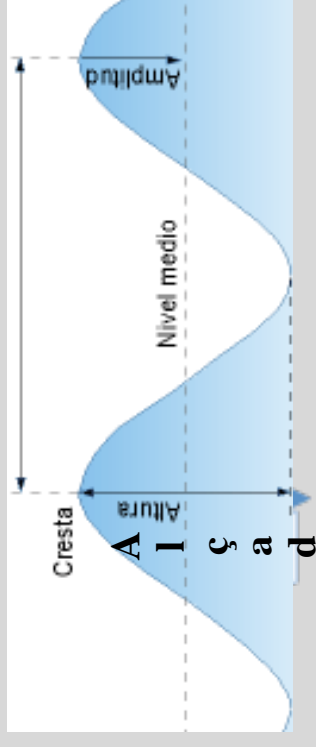
A major longitud d'ona, menor és la pèrdua d'energia d'una onada mentre viatja.
Un tsunami pot creuar el Pacífic del Japó a Xile en 20-25 h sense una gran pèrdua d'energia.



Modelització de la propagació del tsunami de l'Oceà Índic (2004)

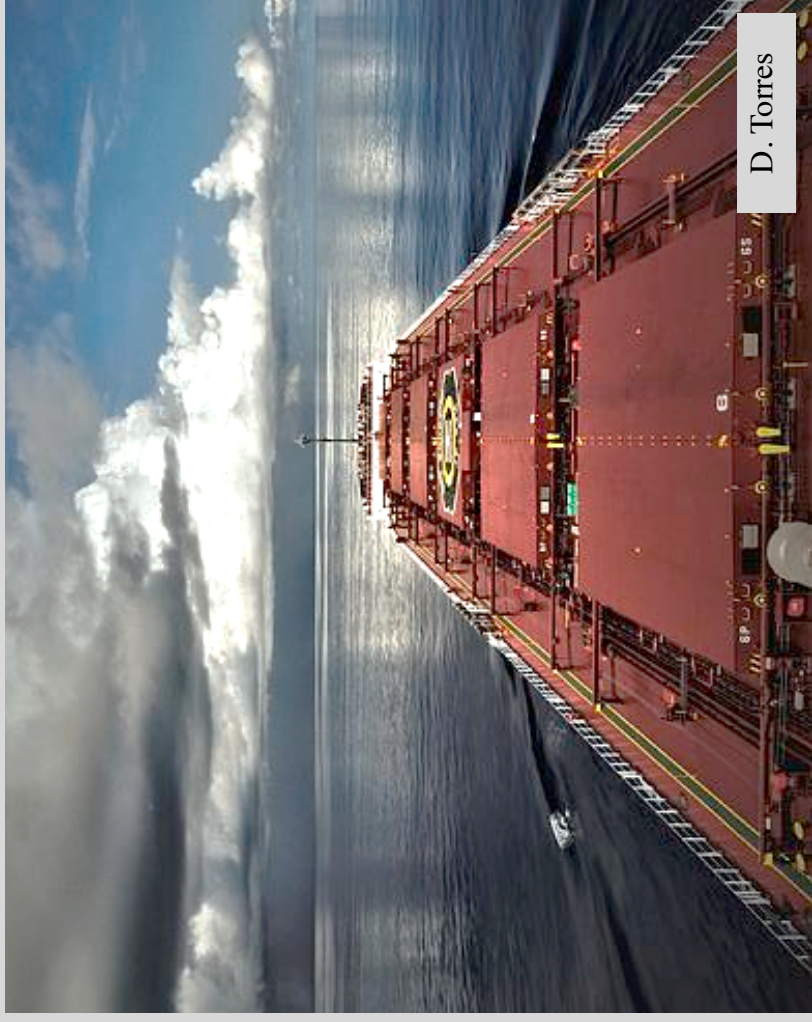
(i de l'alçada? no dius res?)

A mar obert, l'alçada d'ona (distància vertical entre cresta i vall) d'un tsunami és **menor** a la d'una onada de vent típica. Com que la longitud d'ona és tan gran, a mar obert és **imperceptible** per a un vaixell. Són ones **molt aplanades**!



K. Petersen

Onades de vent típiques de 0.5-5 m
Foto: onada de vent d'uns 20 m d'alçada



D. Torres

Podria ser la foto d'un tsunami

que poden produir inundacions costaneres

En atansar-se a la costa, els tsunamis perden velocitat i guanyen en **alçada**.
Un tsunami moderat és (d'alçada) **similar** a una ona de vent a la costa (< 5 m).
Un tsunami extrem pot assolir una alçada a costa d'una desena de metres.

Tsunami del Japo (2011) a Miyagi:



El nivel del mar puja per
l'arribada de l'onada



L'onada supera el mur del port
i segueix entrant



I segueix entrant

que poden produir inundacions costaneres

És com una onada de vent, però amb una longitud d'ona quilomètrica.

No és una onada que “trenca” a la costa.

És una onada que entra a poc a poc... però **segueix entrant...** i no marxa.

Tsunami del Japo (2011) a Miyagi:



El nivel del mar puja per
l'arribada de l'onada



L'onada supera el mur del port
i segueix entrant



I segueix entrant

que poden produir inundacions costaneres

D'aquí el terme japonès “tsunami” que significa “onades de port”. Una onada que **no es percep a mar obert** però que inunda ports i poblats costaners.



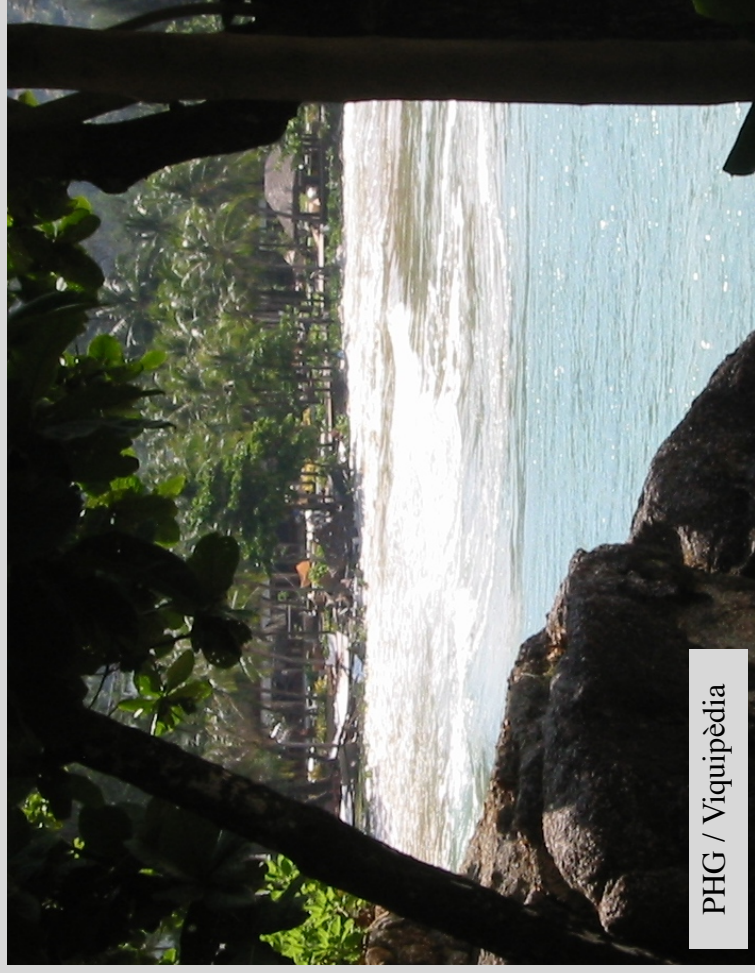
Registre escrit d'un tsunami a Kuwagasaki l'any 1700

que poden produir inundacions costaneres

De vegades, primer arriba la vall de l'onada: el mar es retira abans.
No sempre passa, però és un **bon indicador**.



Retirada del mar a Phuket, Tailàndia,
abans de l'arribada del tsunami



Arribada del tsunami de l'Oceà Índic
(26 de desembre de 2004)

que poden produir inundacions costaneres

De vegades, primer arriba la vall de l'onada: el mar es retira abans.
No sempre passa, però és un **bon indicador**.



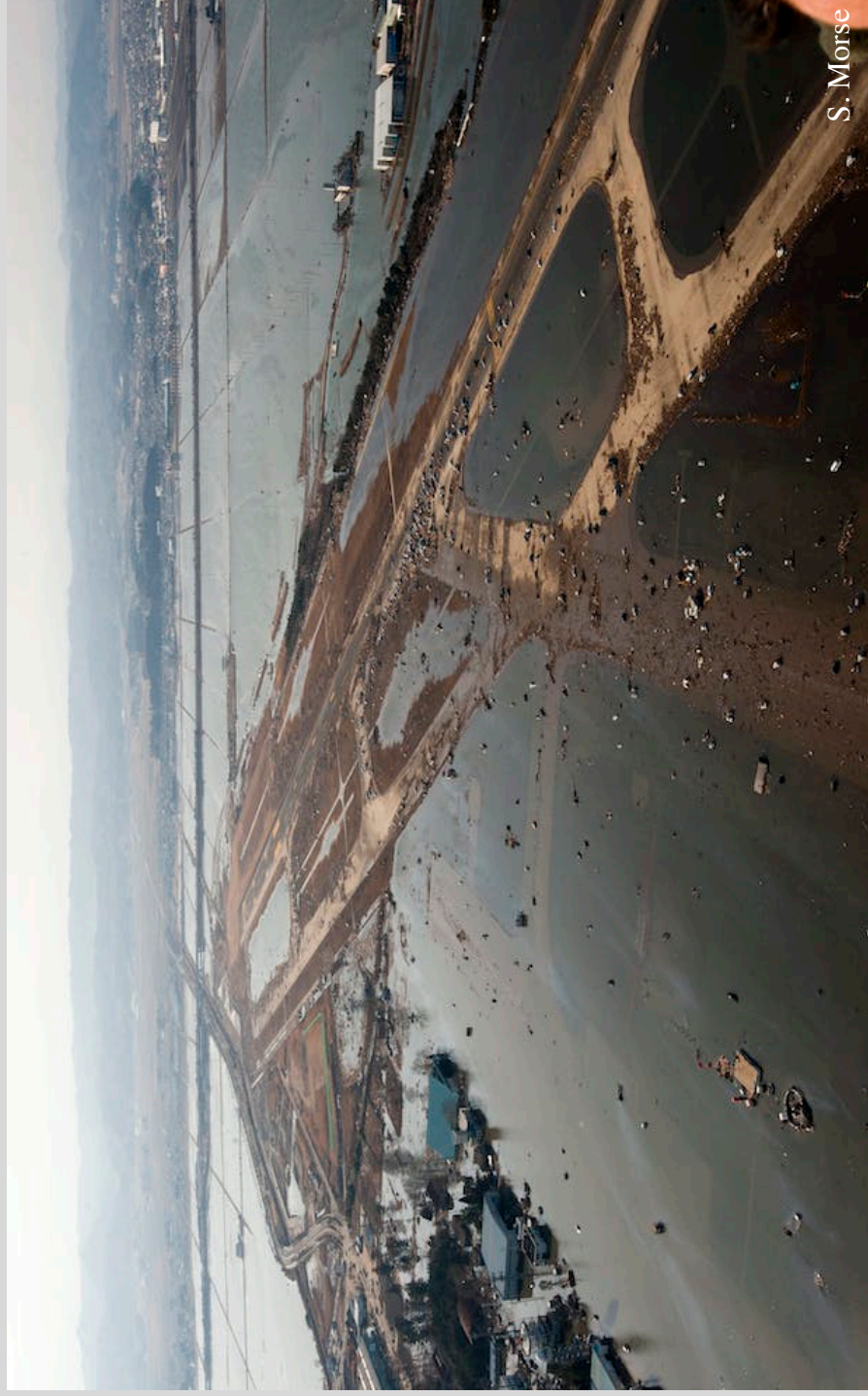
Retirada del mar a Phuket, Tailàndia,
abans de l'arribada del tsunami



Tilly Smith (10 anys en 2004) va salvar la vida
a un centenar de persones a Tailàndia en
reconèixer aquest indicador.

que poden produir inundacions costaneres

La inundació provocada per un tsunami en casos extrems pot assolir uns 10 km terra endins, i tot i tenir una alçada a costa de 10 m, assolir alçades de desenes de metres terra endins (39 m al Japó, 51 m a l'Índic).



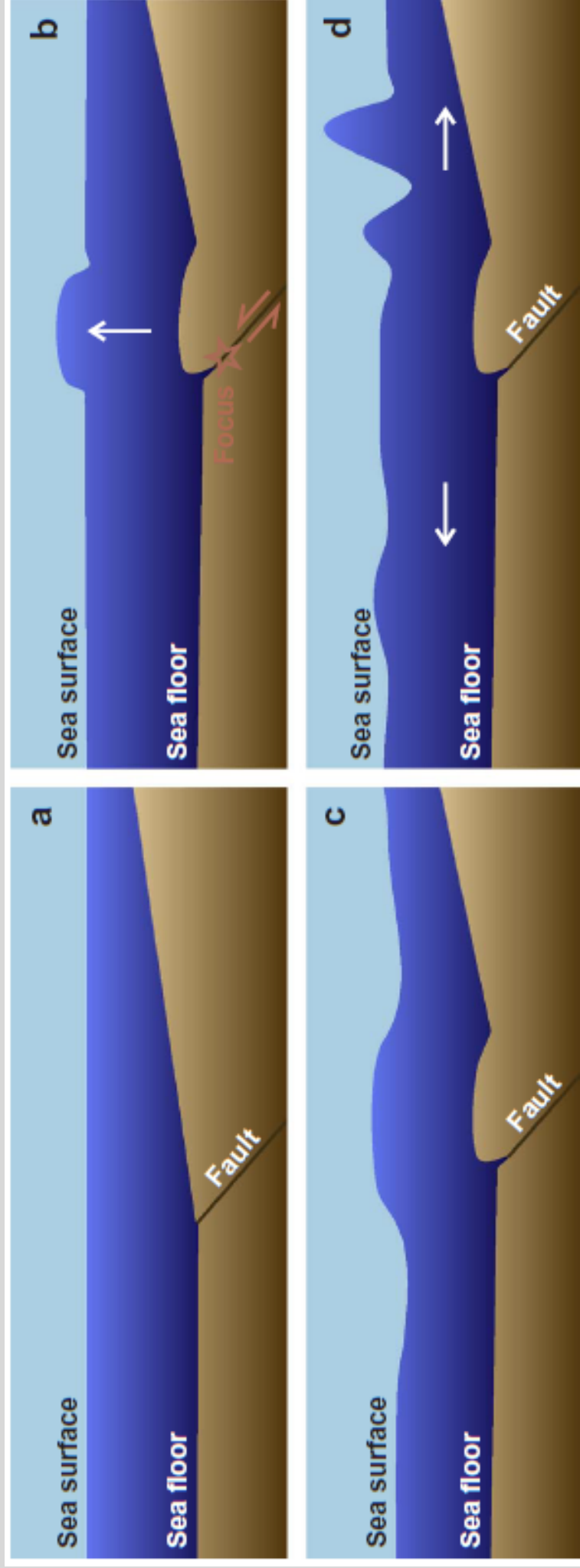
S. Morse

Tsunami del Japo (2011)

generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

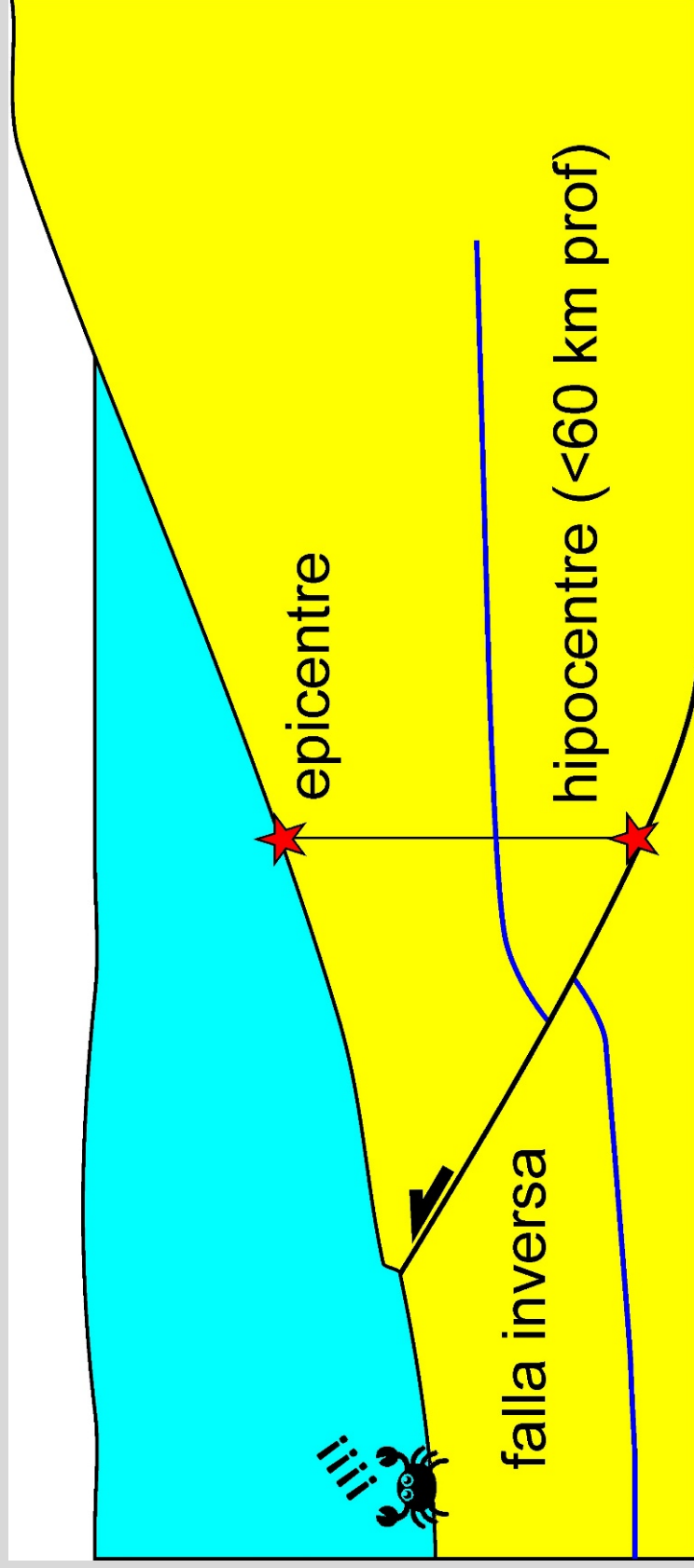
El mecanisme més habitual (80%) en la generació de tsunamis és un **terratrèmol**.

El trencament i/o la deformació sobtada del fons marí causada pel terratrèmol desplaça la columna d'aigua.

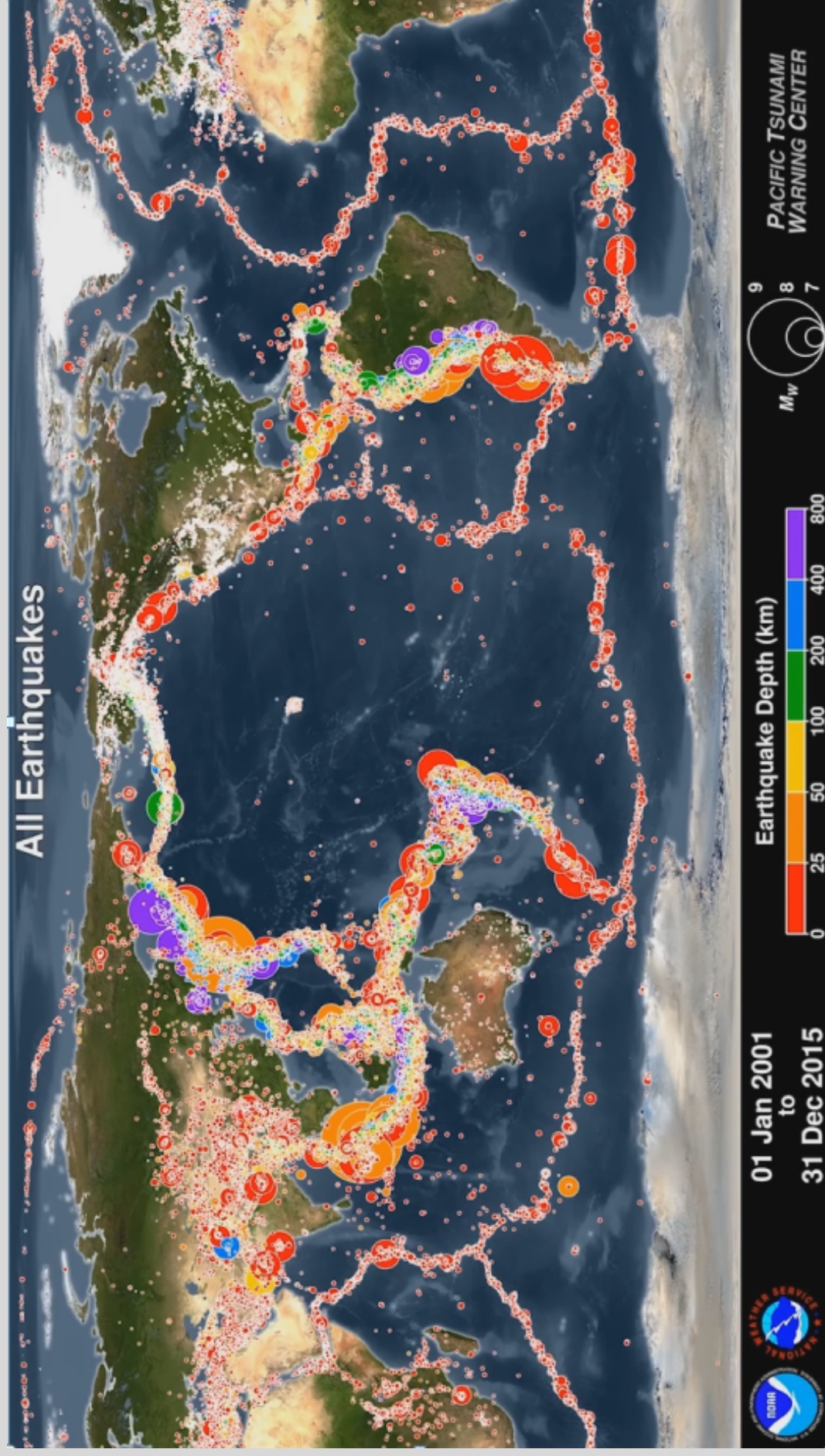


generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

Es consideren com a potencialment **tsunamigènics** els terratrèmols amb
l'epicentre a mar,
l'hipocentre poc profund (<60 km),
generats per falles **inverses** de baix angle, i
magnituds superiors a M_w 6.5.

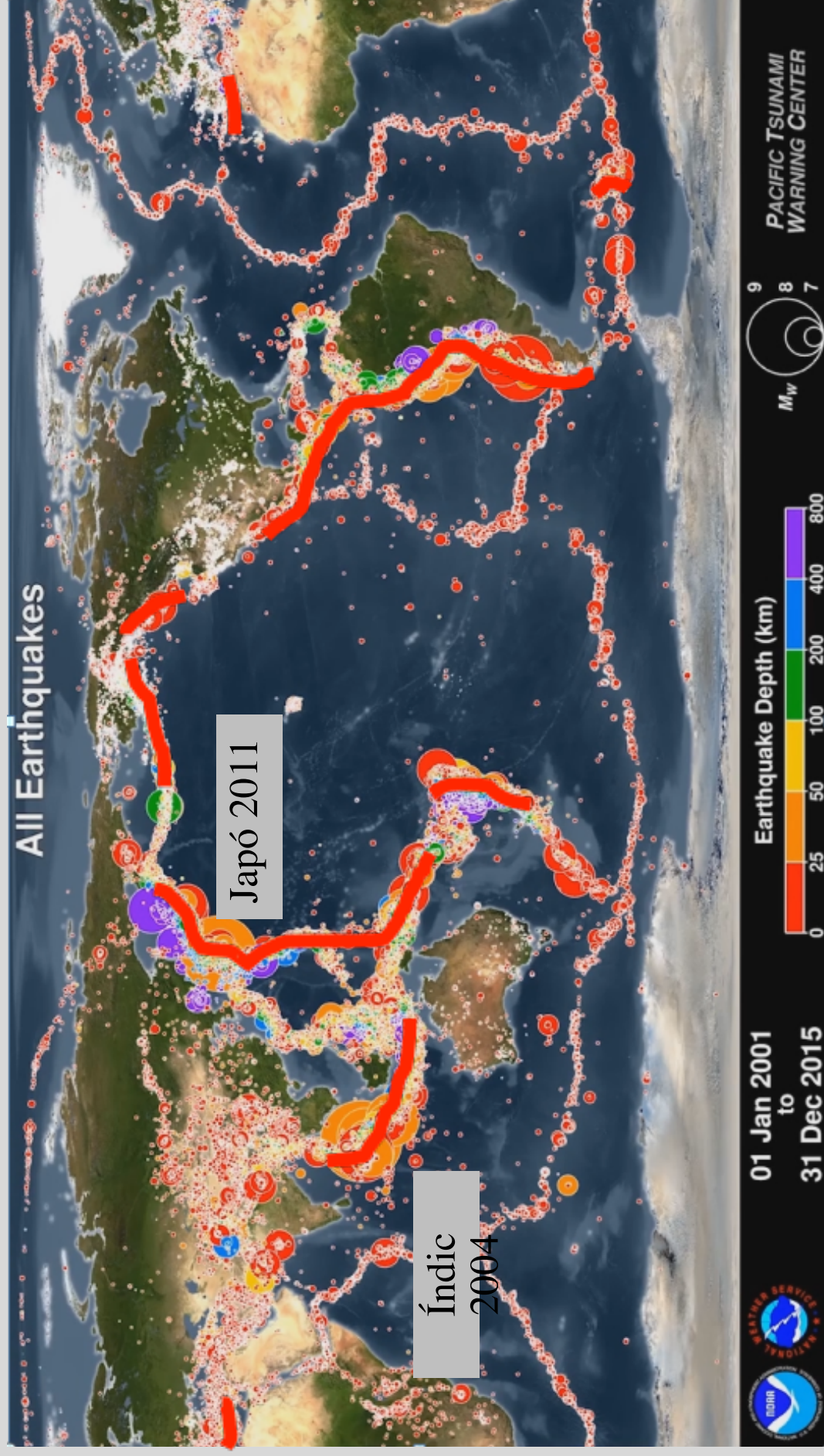


generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua
...característics de límits de plaques convergents (zones de subducció).



generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

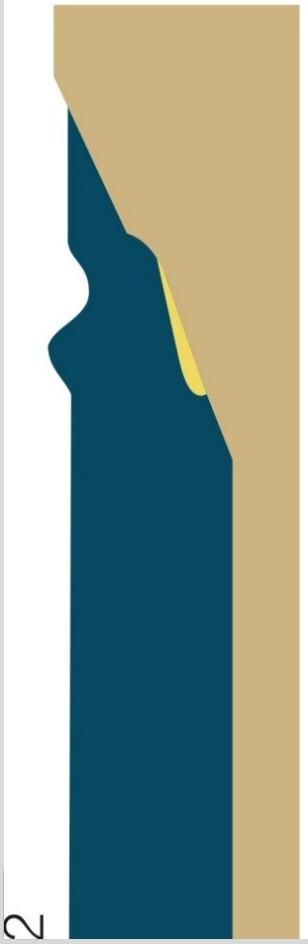
...característics de límits de plaques convergents (zones de subducció).



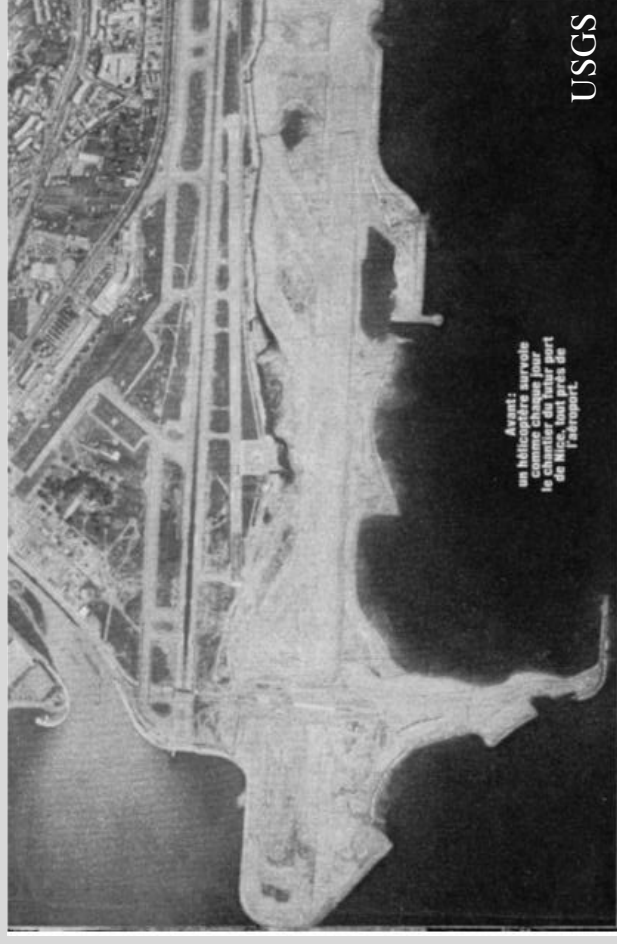
generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

Altres mecanismes capaços de generar tsunamis:
esllavissaments submarins i subaeris
(de vegades generats per terratrèmols o per la pròpia acció humana)

2

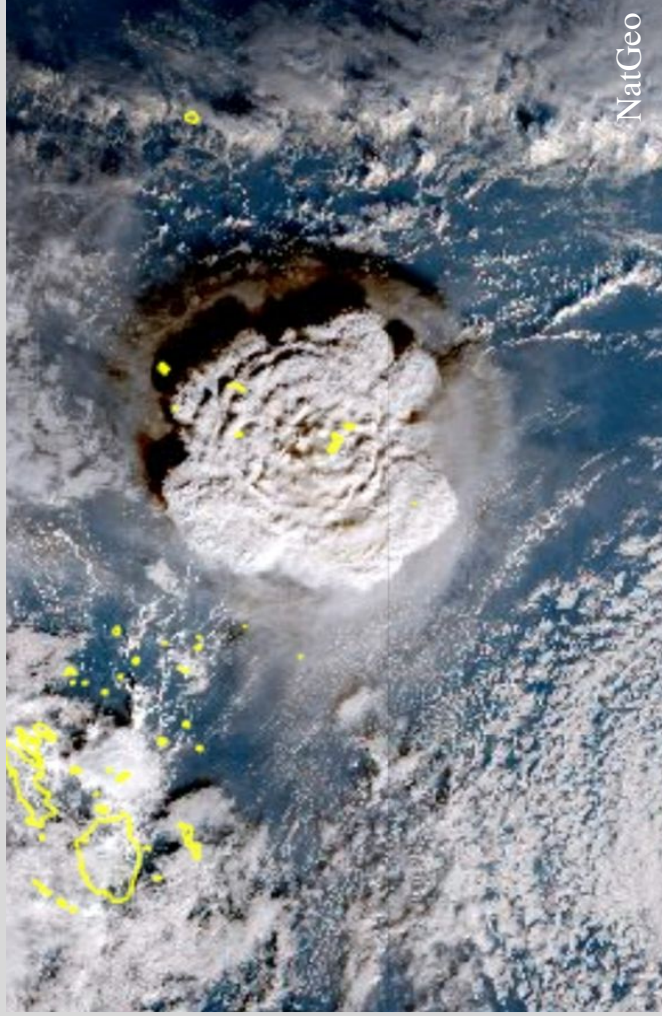
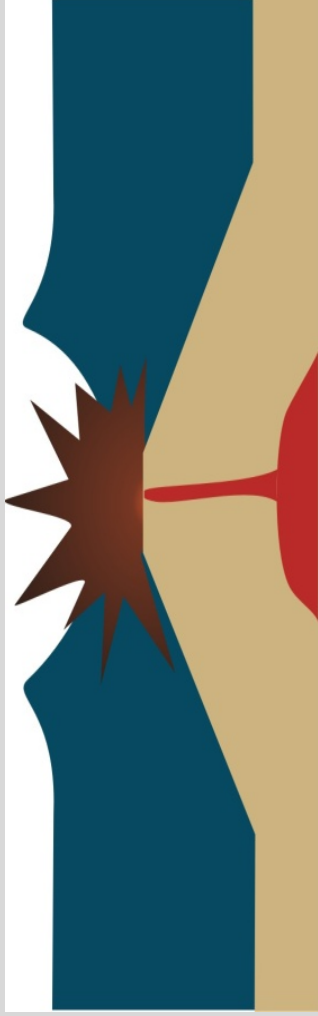


Tsunami de Niça (1979), generat per un esllavissament submarí a les obres d'ampliació de l'aeroport.



generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

Altres mecanismes capaços de generar tsunamis:
erupcions volcàniques submarines



Tsunami de Tonga (2022), generat per l'erupció de l'Hunga Tonga Hunga Ha'apai.

generades pel desplaçament sobtat de la columna d'aigua

Altres mecanismes capaços de generar tsunamis:
impactes meteorítics



Barreja de peixos d'aigua dolça i salada i rèptils marins fossilitzats terra endins
amb microtectites a les brànquies, formació Tanis (datada al límit K-Pg)

Ara que ja sabem què és un tsunami...



Qui estudia els tsunamis?

Geòlogues i geòlegs

identifiquen falles susceptibles de generar tsunamis (geodinàmica)
enregistren i estudien els terratrèmols (geofísica)
caracteritzen l'activitat volcànica (vulcanologia)
identifiquen tsunamis passats en el registre geològic (estratigrafia)
daten el registre passat (geoquímica, paleontologia)



M. Ortuño



@ProfJamesGoff

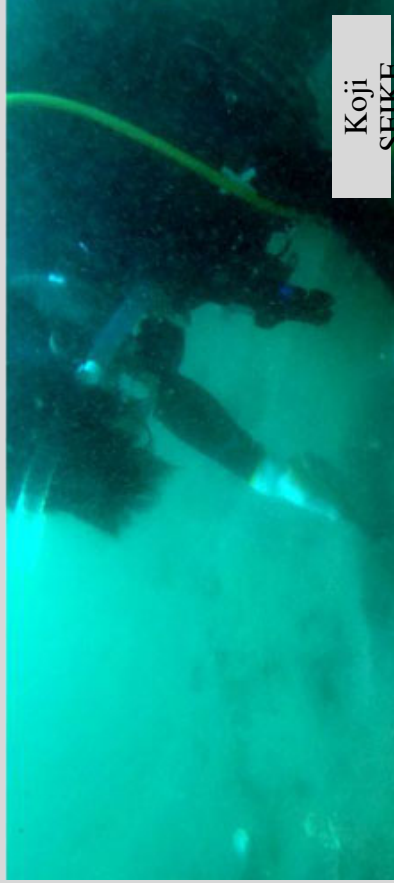
Qui estudia els tsunamis?

Oceanògrafs i oceanògrafs

cartografien i caracteritzen els fons marins (oceanografia geològica)
modelitzen la propagació de les onades (oceanografia física)
estudien els seus efectes en els ecosistemes marins (ecologia)



Koji
SEIKE



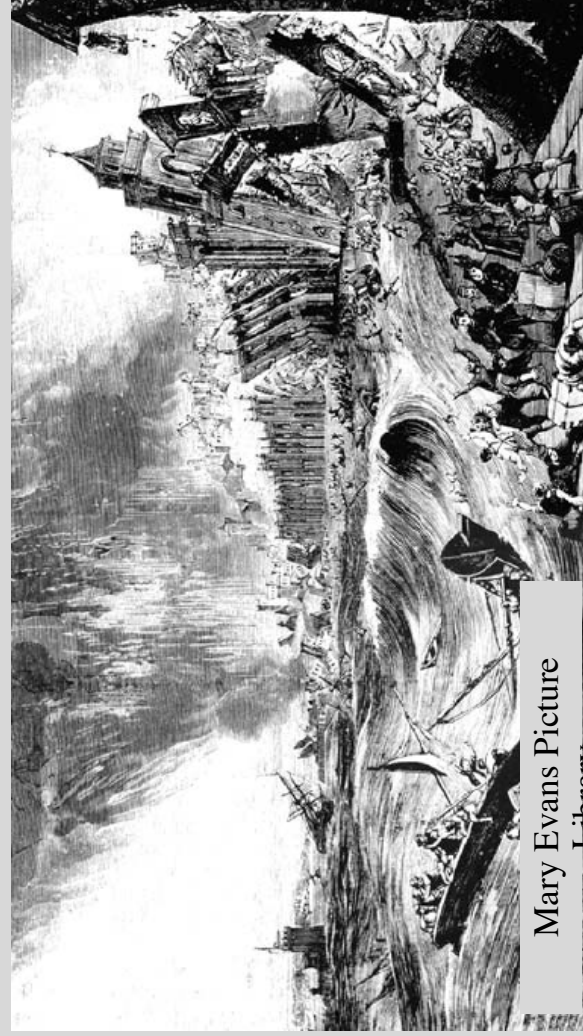
Com s'estudien? El registre històric...

Els tsunamis són esdeveniments de baixa freqüència.

Charles Lyell: “el passat és la clau del present”.



Pedra de tsunami a Yasu Kannon,
indicant l'alçada màxima del tsunami
del 5 de novembre de 1854.

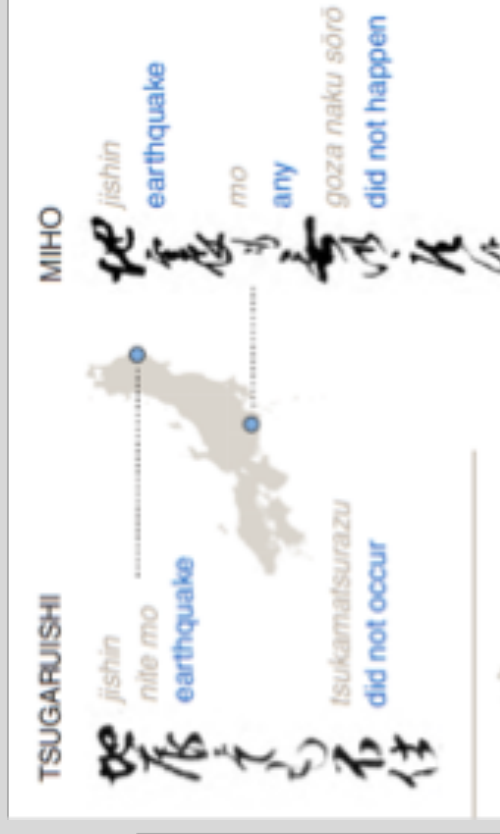
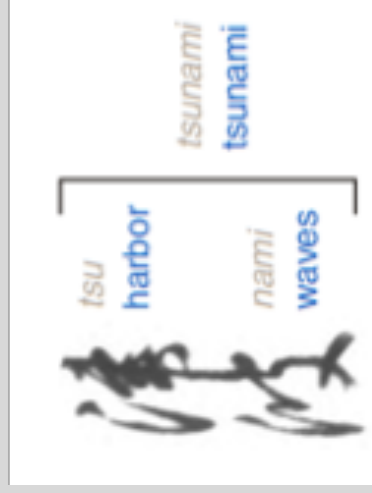


Gravat que representa l'impacte del
tsunami de l'Atlàntic Nord, 1755
a Lisboa.

Com s'estudien? El registre històric...

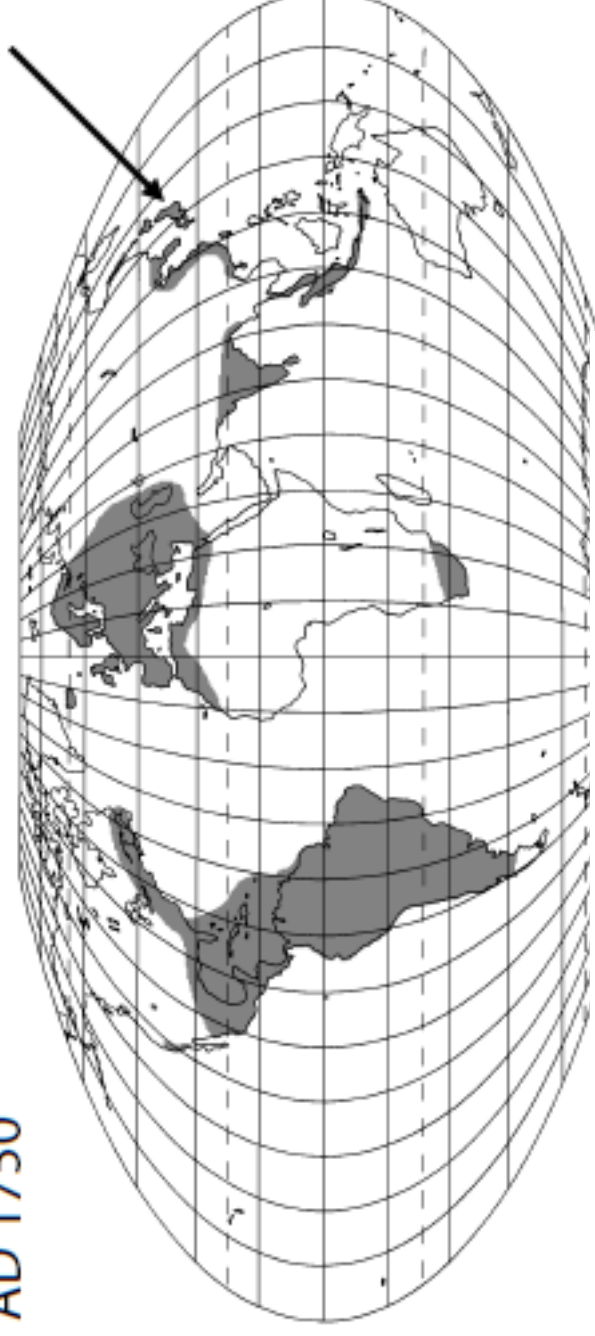
Els tsunamis són esdeveniments de **baixa freqüència**.

Charles Lyell: “el passat és la clau del present” .



AD 1750

Registre escrit d'un tsunami al Japó l'any 1700



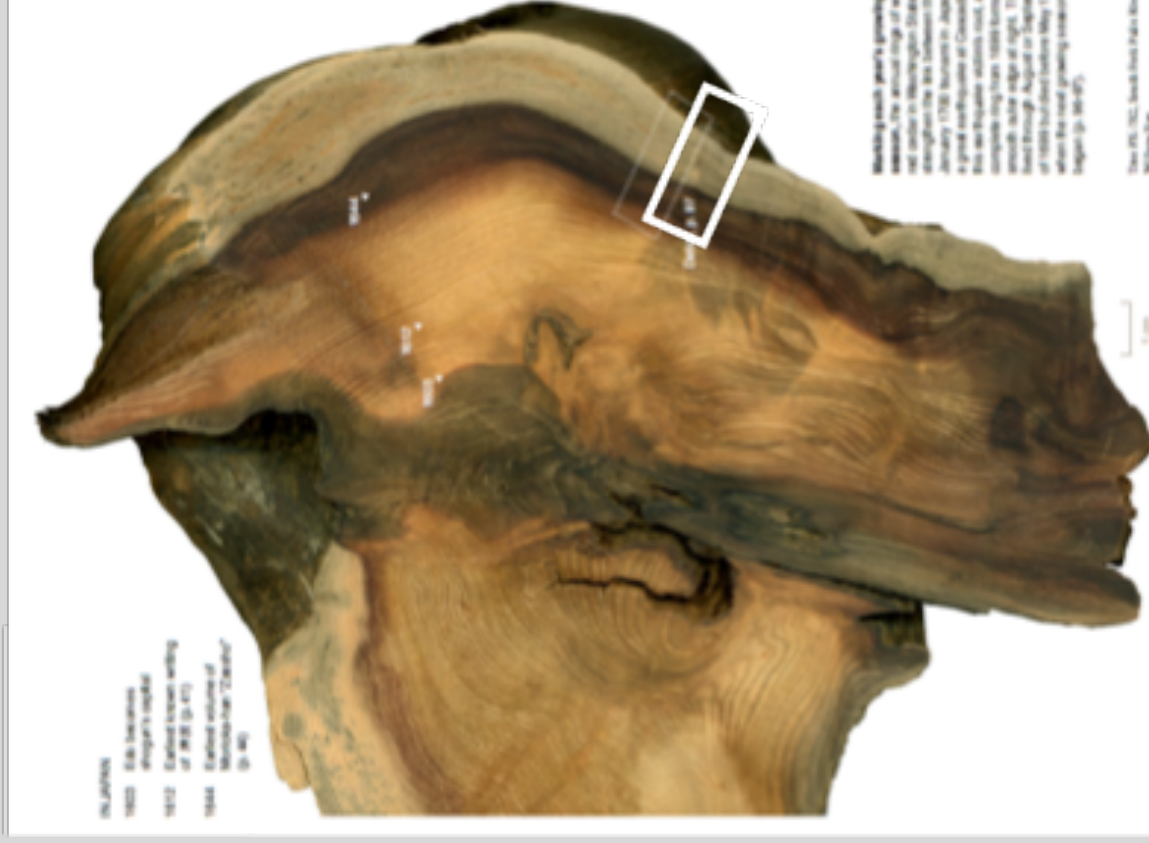
Regions amb registre històric escrit l'any 1750

Bryant
(2008)

Com s'estudien? El registre històric i el geològic!



Arrel d'un cedre mort i enterrat per dipòsits de tsunami abans de la primavera de 1700, trobat a l'Estat de Washington (costa pacífica dels EUA).



1629-1630: First known
written record of
a tsunami in the
Pacific Ocean
(p. 40)

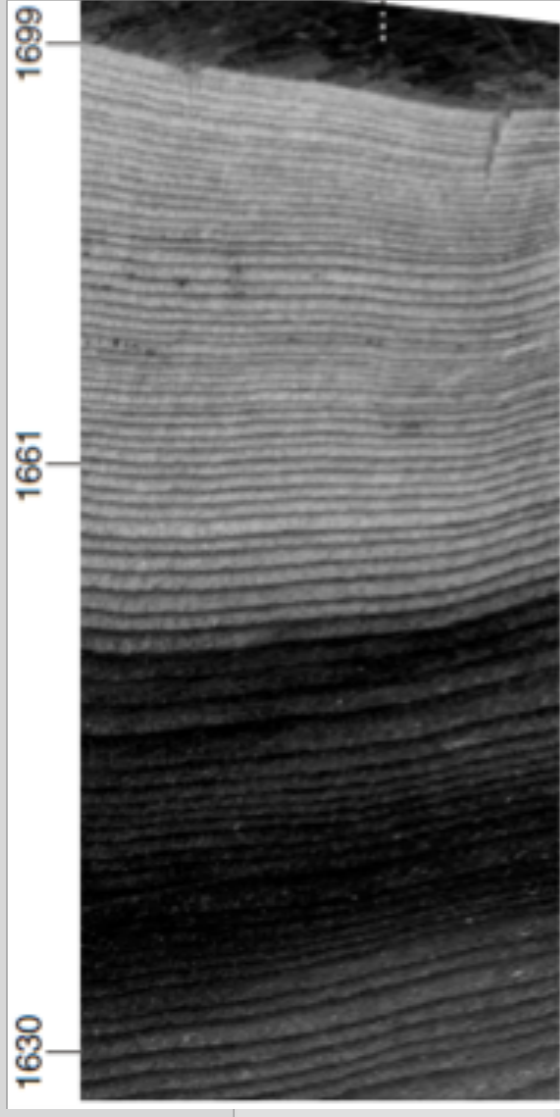
1632: First known
written record of
a tsunami in the
Pacific Ocean
(p. 40)

1634: First known
written record of
a tsunami in the
Pacific Ocean
(p. 40)

Marking each year's growth
season, the annual ring of a
tree trunk in Washington State
reveals the first tsunami to
strike the Pacific Northwest in
January 1700. Buried in the
ground, the tree trunk was
a good indicator of the
tsunami's impact. The tree
trunk was buried in the
ground in January 1700, and
the annual ring of the tree
trunk was buried in the
ground in January 1700.

1700

1700: First known
written record of
a tsunami in the
Pacific Ocean
(p. 40)



Com s'estudien? El registre històric i el geològic!

Permet conèixer la **recurrència** per una regió i per tant quantificar el perill.



Testimonis de sediment marí

C. Goldfinger



Estratigrafia

AIS T



Geomorfologia

GIU. Kohl

Es poden preveure? La monitorització

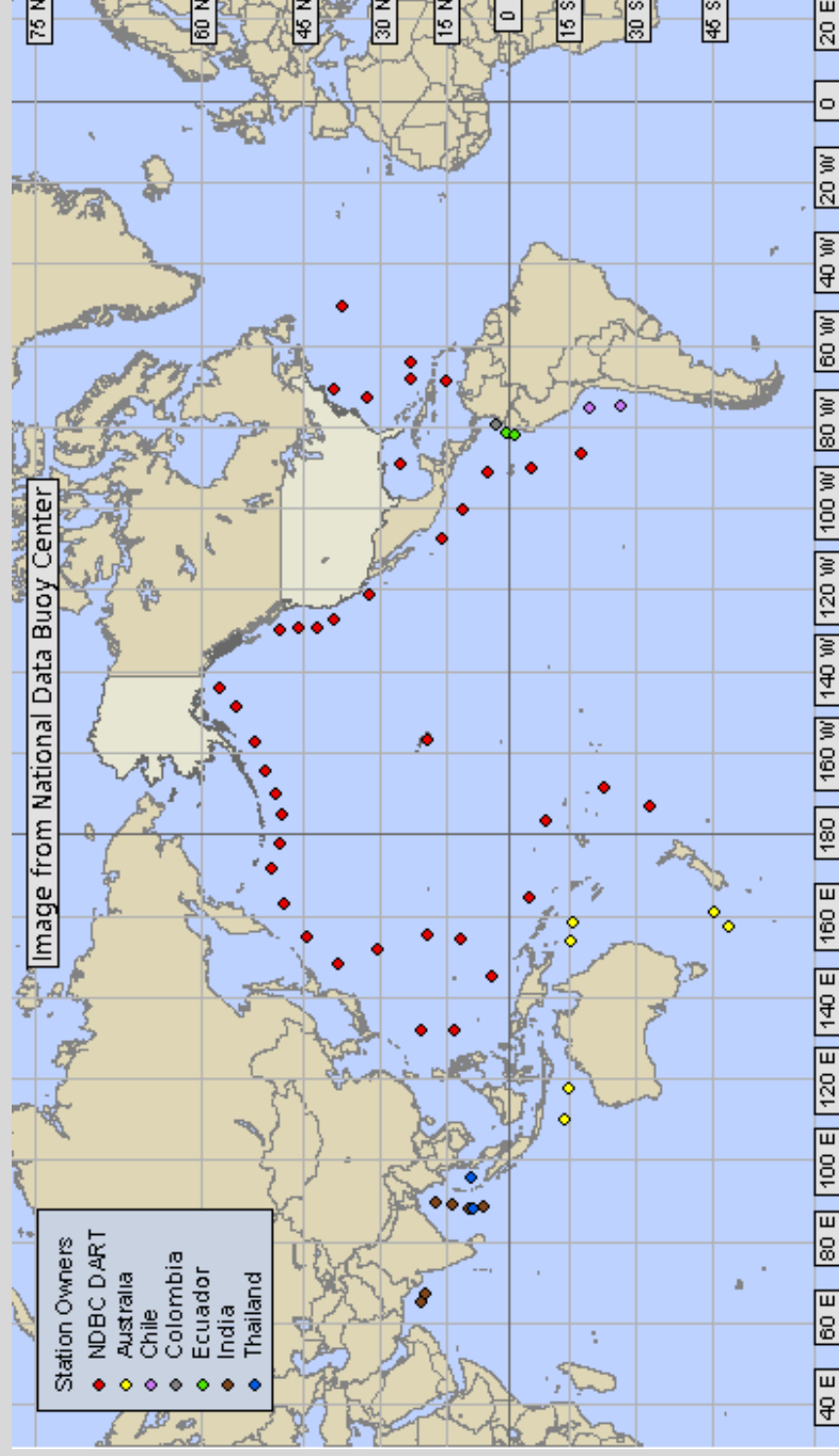
No es pot evitar la generació i la propagació d'un tsunami.

No es pot predir la generació d'un tsunami (no es poden predir els terratrèmols!)

Però...

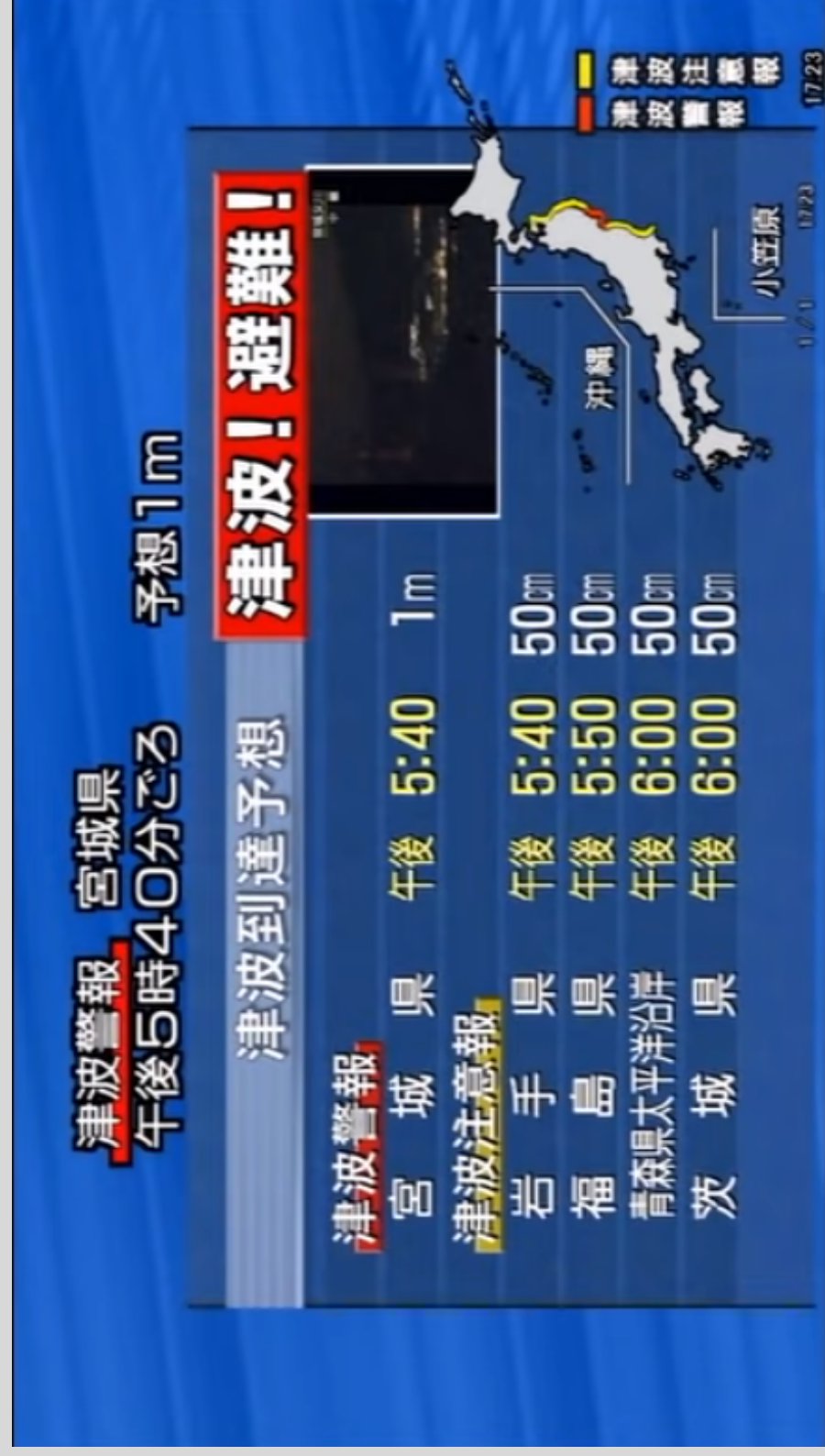
Amb xarxes sísmiques es poden **detectar** terratrèmols generadors de tsunamis.

Les boies DART en oceà obert permeten **detectar el pas dels tsunamis** generats.



Es poden prevenir? La monitorització

La modelització en temps real **pronosticar la propagació** de l'onada. Amb sensors de marea a la costa es pot confirmar l'arribada i mesurar l'alçada. Per tant, un cop s'han generat, es pot pronosticar: el lloc, la hora i l'alçada d'ona amb què pot impactar, i emetre **ALERTE**S.



Com ens protegim davant del perill?

Estem en una zona d'alt risc i a la costa? Cal **saber com actuar, i fer-ho!**

Per possibles tsunamis **locals** (notem el terratrèmol), autoprotecció:

- (1) protegir-nos del terratrèmol
- (2) guanyar alçada (edificis alts, turons)
- (3) empoderar-nos (p.e. comunicant als altres el possible perill)

Per tsunamis **llunyans**, estar atents a les alertes i seguir indicacions



Com ens protegim davant del perill?

Planificació del territori: zones costaneres protegides, amb vegetació, manglars.

Solucions d'enginyeria:

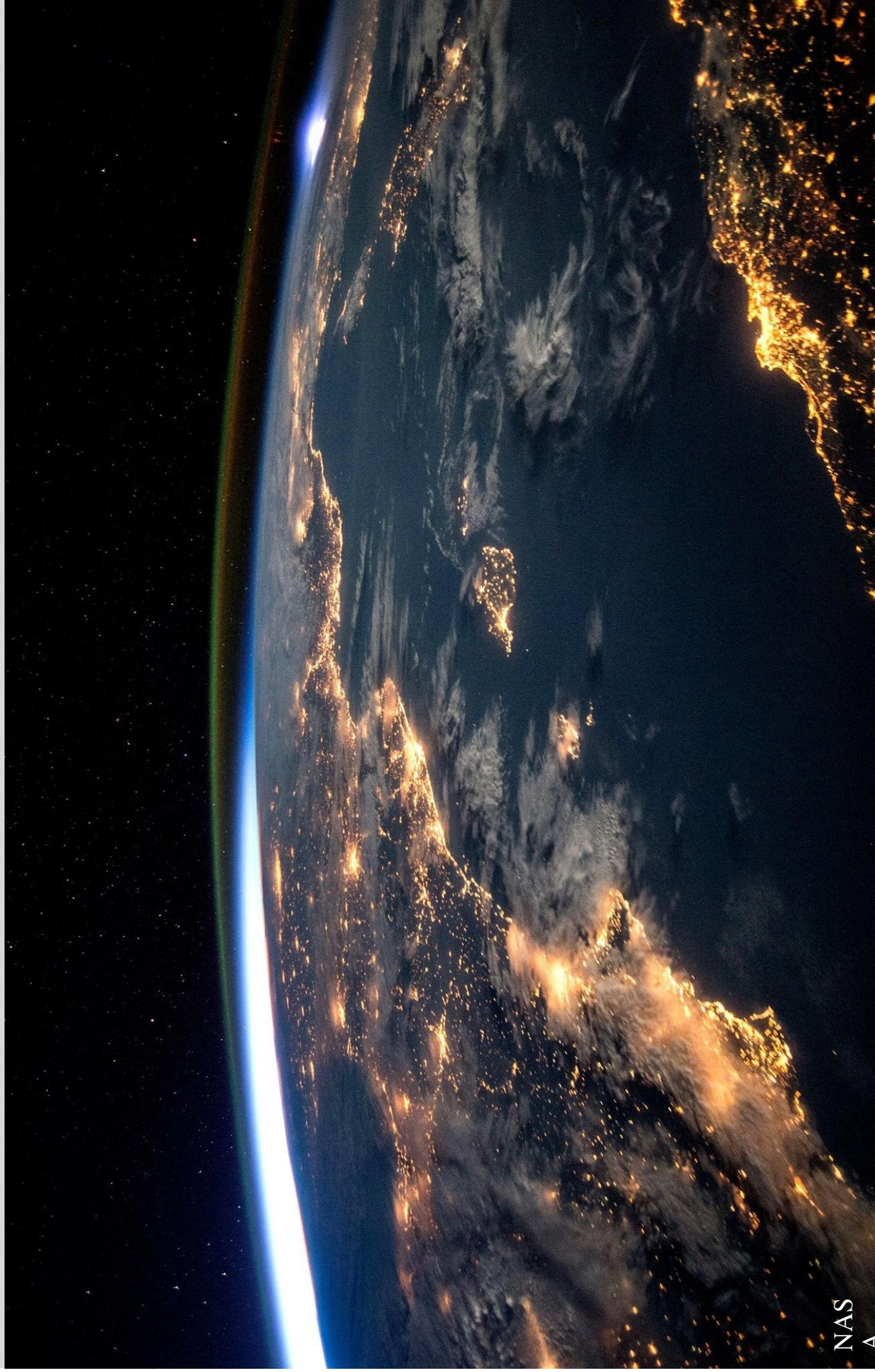
murs, trencacònes, canals, però poden ser contraproductes

refugis anti-tsunami



Mur anti-tsunamis de Yamada, abans i després del tsunami de 2011

I a casa nostra, hi pot haver un tsunami?



I a casa nostra, hi pot haver un tsunami?

Van der verschicklicher zinn-
 runge vñ Liefelinghe. So geschien cyn grol-
 lse Synflois die da Stede sint vñ myn selde
 erdecht lag. vñ vyl and wonderliker dyce ic gescreue sijn
 In sene *Wogelo eylande* by d' groffen Canarie gelegen.
 Des geliden int *Ik dunnereyde* vñ Granaten, *Zistret* i
 vñ Barbaryen *Dp de gewij dach* S. Xemeisinae
 Im iare. *MD. CCC. CC. XL.* ic vñ Do: tegelol
 seker spaciue go dunsel gemuect *al barm*
 lieken 130. leken. *¶* 3

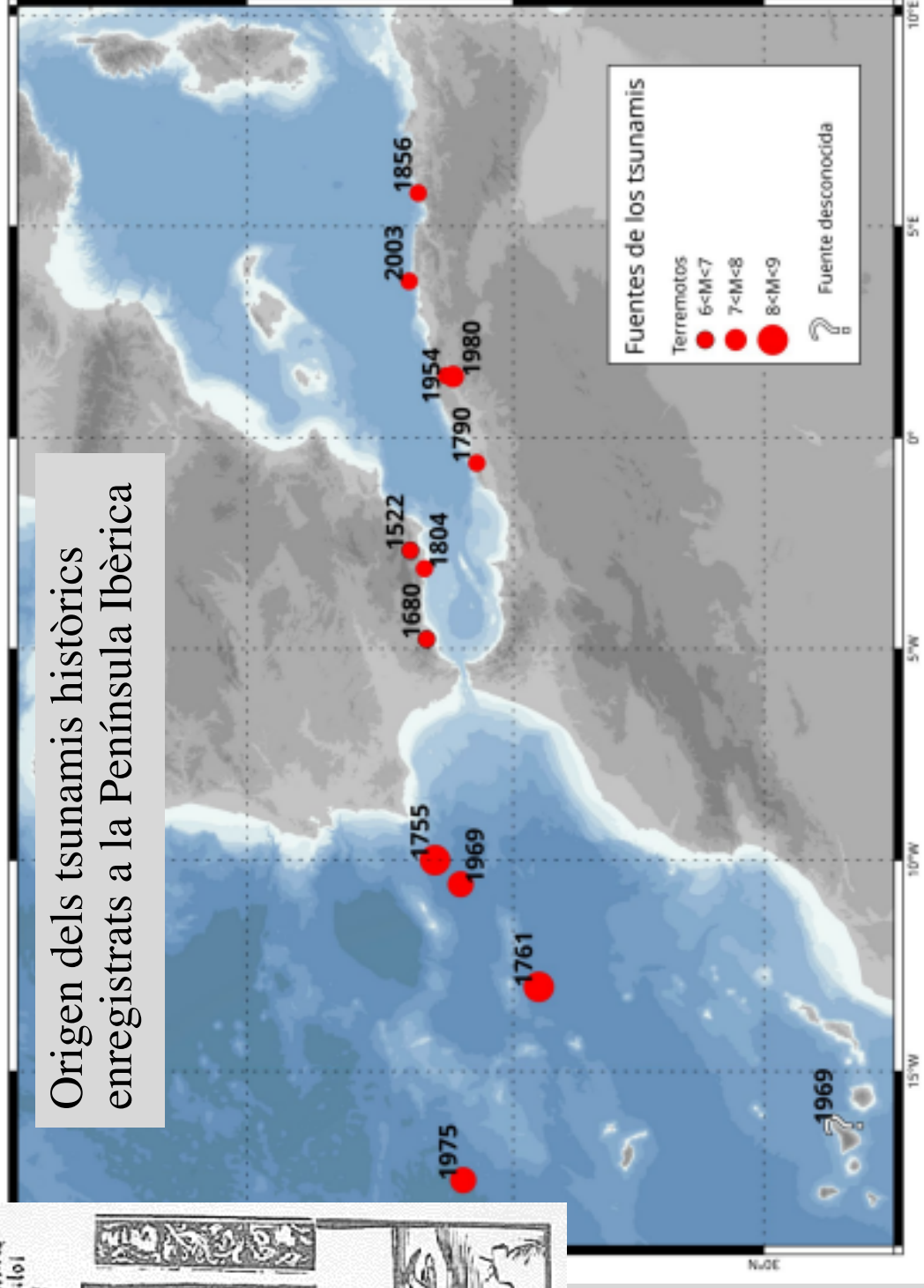
A black and white illustration. The top half shows a cityscape with a large church featuring a dome and a spire, surrounded by other buildings. The bottom half shows a river scene with a boat, several people, and a small structure on the bank. The entire illustration is framed by decorative borders at the top and bottom.

Riechter i Hübscher (2007)

Almeria (1522)

“una gran inundació que va devastar la ciutat i la terra”

Origen dels tsunamis històrics enregistrats a la Península Ibèrica



Fuentes de los tsunamis

Terremotos

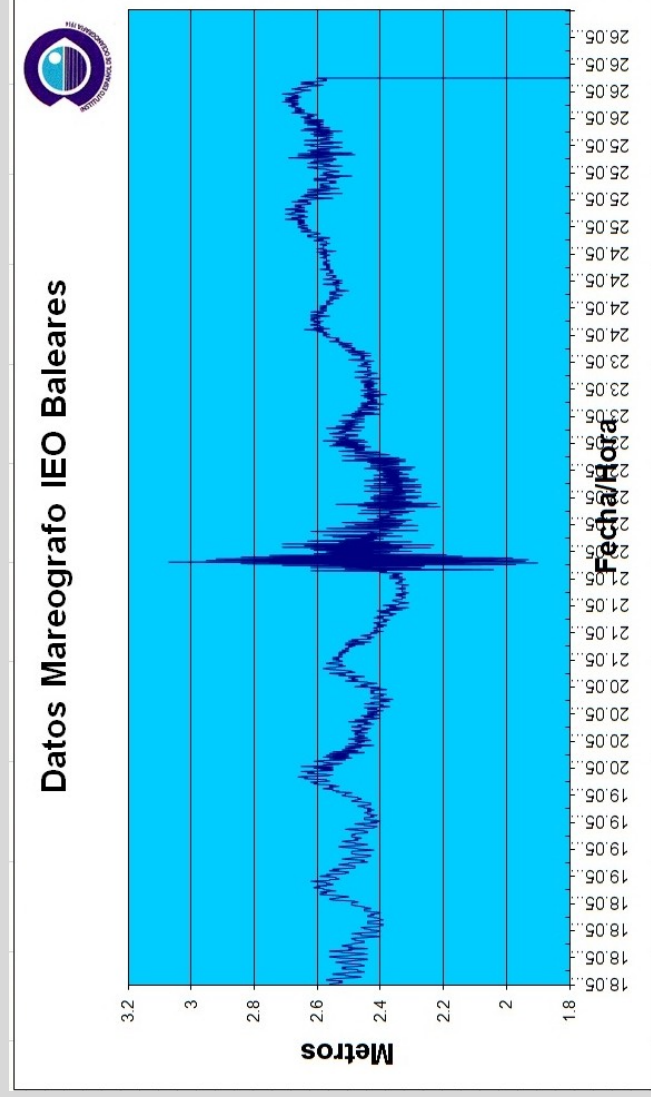
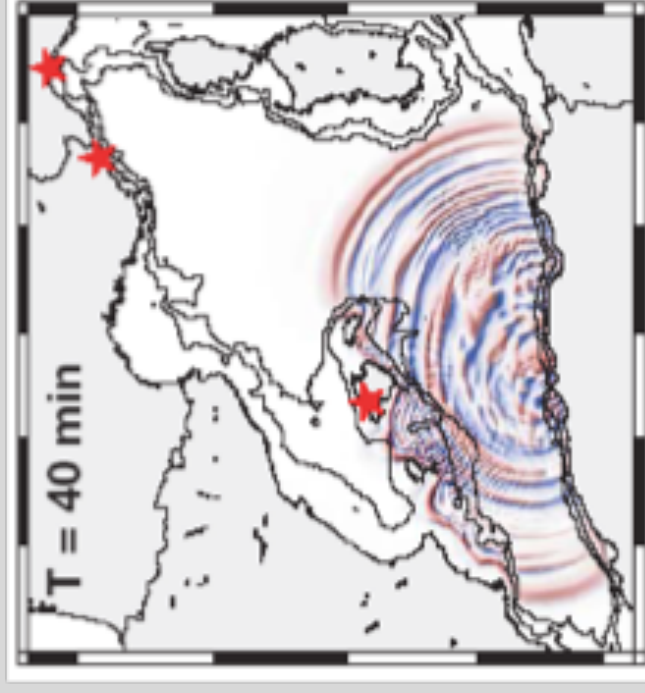
- $6 < M < 7$
- $7 < M < 8$
- $8 < M < 9$

¿ Fuente desconocida

I a casa nostra, hi pot haver un tsunami?

21 de maig de 2003,
Mw 6.9 a Boumerdès, Algèria

2.0 m St. Antoni (Eivissa) – 20-30 minuts
0.7 m - 1.2 m Palma
0.3 m València
0.3 m Barcelona
0.2 m Mònaco



I a casa nostra, hi pot haver un tsunami?



Sistema d'alerta de tsunamis a la Mediterrània (Itàlia, França, Grècia i Turquia)
Monitoratge en temps real 24h (foto: sala de control de l'INGV, Roma)

- Recepció de la senyal de xarxes sísmiques
- Càlcul automàtic de localització, profunditat i magnitud del terratrèmol (2-5 min)
- Emissió d'alertes a les autoritats

**Endavant amb
les preguntes!**



Què fer en cas de tsunami

Quan evacuar?

Un tsunami es pot produir per un terratrèmol llunyà que no es percepí



Quan esteu a prop de la costa i sentiu un terratrèmol fort o prolongat



Quan observeu una retirada ràpida i evident de la mar
L'aigua tornarà bruscament!
Quan sentiu una remor similar a la d'un tren



Quan hi hagi un avís o comunicat oficial



No espereu a veure 'l'o a fer surf
És impossible escapar!

Quan tornar?



Quan ho disposin les autoritats
Un tsunami és una sèrie d'ones que poden durar hores!
L'onada més gran pot ser la següent!

No són com les onades habituals; s'assemblen més a la inundació d'un riu o a una muntanya d'aigua amb enderrocs

Què fer en cas de tsunami

Tingueu identificades les zones d'evacuació accessibles a peu en 15 minuts
Les carreteres i ponts poden estar malmesos!



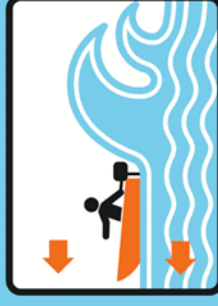
Aneu al lloc més elevat i terra endins possible



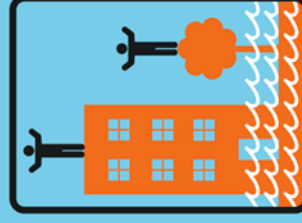
Allunyeu-vos de rius i estuaris
La mar pot endinsar-se per ells!



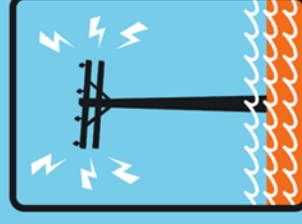
Si sou arrossegat - agafeu-vos a alguna cosa que suri



Si esteu en una embarcació, navegueu mar endins fins que la profunditat sigui superior a 100 metres



Pugeu per sobre d'un 3^{er} pis o al terrat d'una construcció sòlida
Com a últim recurs pugeu a un arbre



Si el terratrèmol ha afectat la zona, tingueu precaució amb els cables i objectes que puguin caure