Colegio Dominicano de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores
CODIA

CONGRESO INTERNACIONAL, TERREMOTOS Y VULNERABILIDAD

Estudios de escenarios pre desastres sísmicos en las Antillas Mayores

República Dominicana
2023

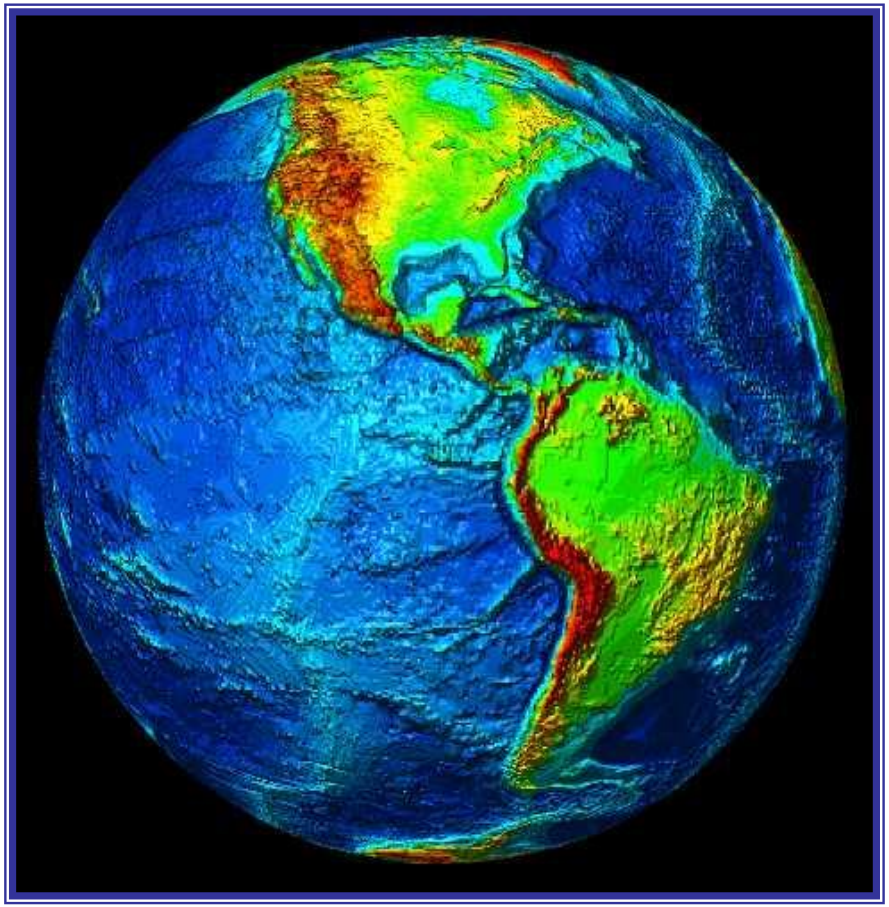
Fernando Guasch Hechavarría
Ingeniero Geofísico
Sismólogo Investigador
Doctor en Ciencias Técnicas
Profesor Titular Consultante
fhechavarría2013@gmail.com

UNAICC Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba

Sociedad Cubana de Geología 1979 SCG

Nuevos paradigmas en la Gestión de los Riesgos Sísmicos

En el 2050 el 80 % de la población se ubicará en ciudades, hoy consideradas en RIESGOS.

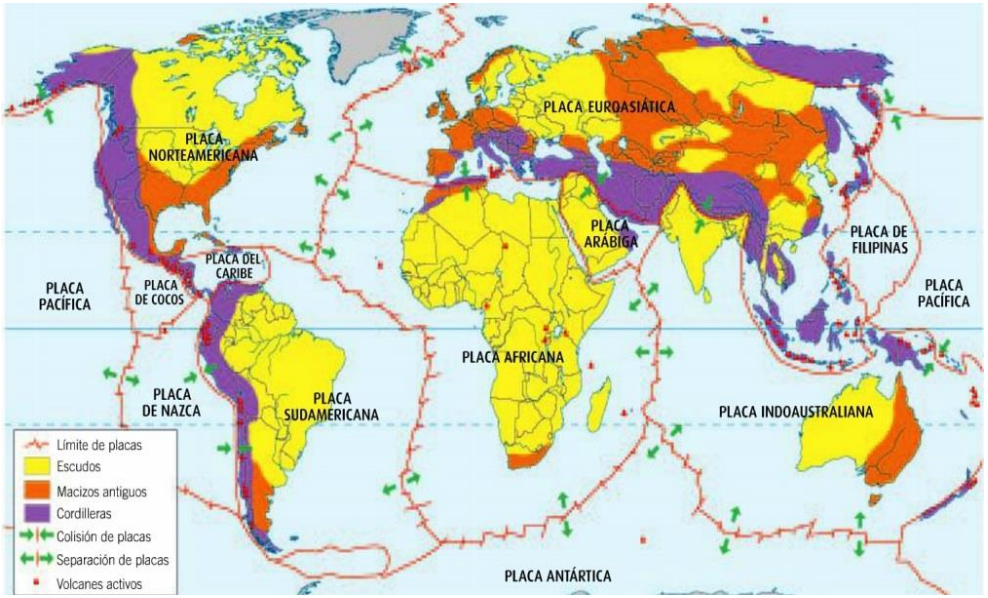


Memoria histórica y evolución de los Escenarios en el tiempo

Qué pasará en un futuro próximo en:

- San Francisco.
- Los Ángeles.
- DF de México.
- Ciudad Guatemala.
- AMSS, El Salvador.
- Tegucigalpa.
- Managua, León, Masaya y Granada.
- San José.
- Ciudad Panamá.
- Caracas.
- Bogotá.
- Quito.
- Lima.
- Santiago de Chile.
- **Los Pequeños Países Insulares del Caribe**

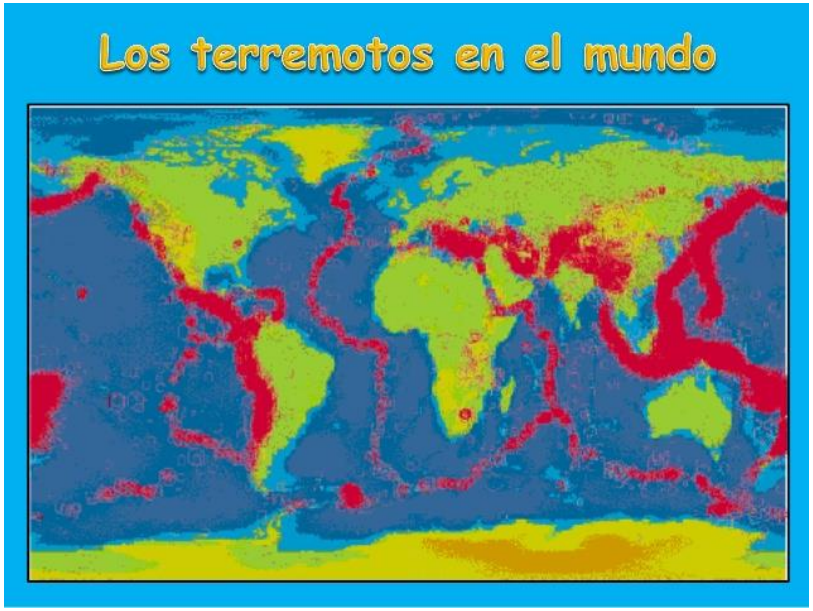
A consecuencias de un Terremoto?

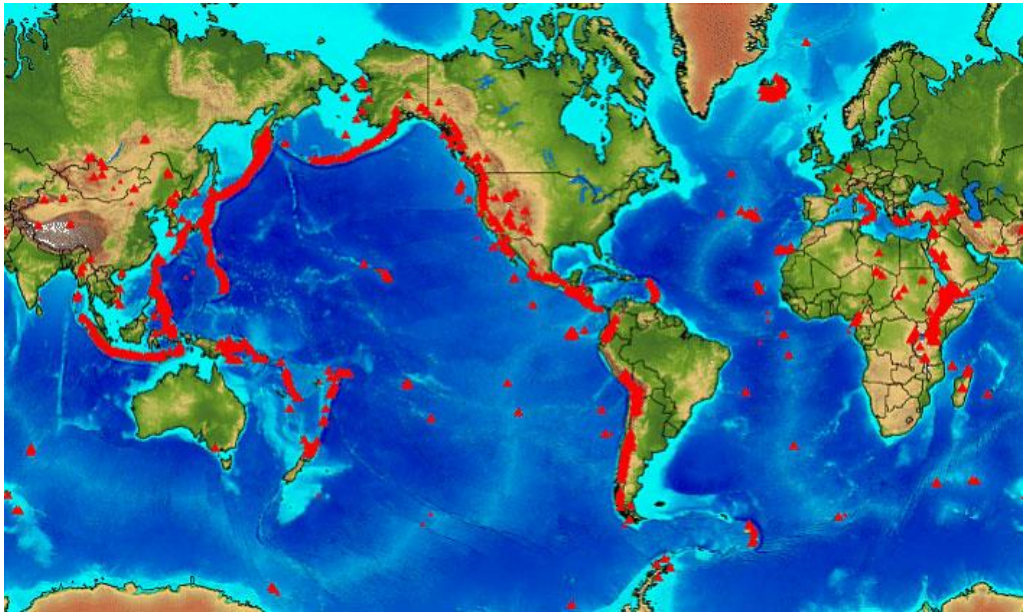


Experiencias personales:

- **México**
- **Tadzhikistan**
- **RPCH**
- **Japón**
- **Costa Rica**
- **Italia**
- **República Dominicana**
- **Jamaica**
- **Barbados**
- **Nicaragua**
- **El Salvador**
- **Guatemala**
- **Honduras**
- **Venezuela**
- **Ecuador**

?





Los Sismos o Terremotos, como amenazas naturales, premisas de desastres

Los sismos o terremotos

-**Energía.**

- Propagación de ondas elásticas.

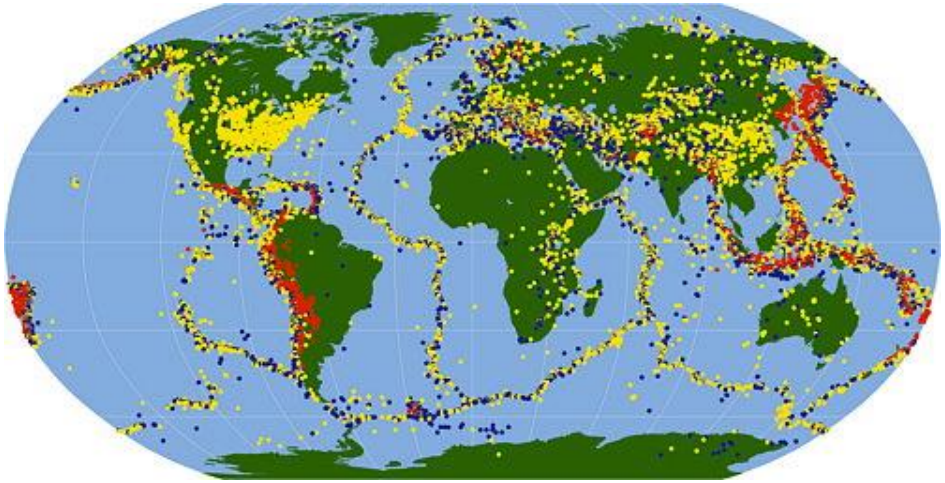
- Efectos de sitio. (Amplificación y/o Atenuación)

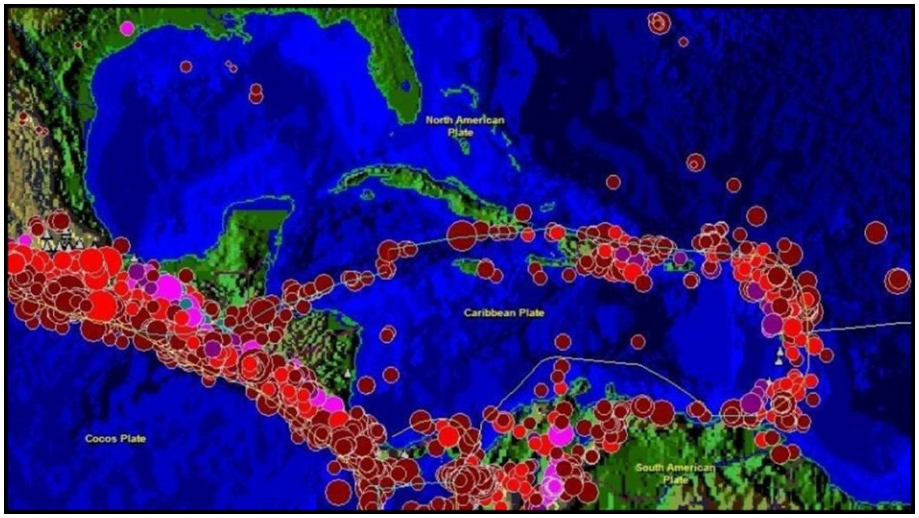
- Relación suelo-estructura.

- Fenómenos Inducidos.

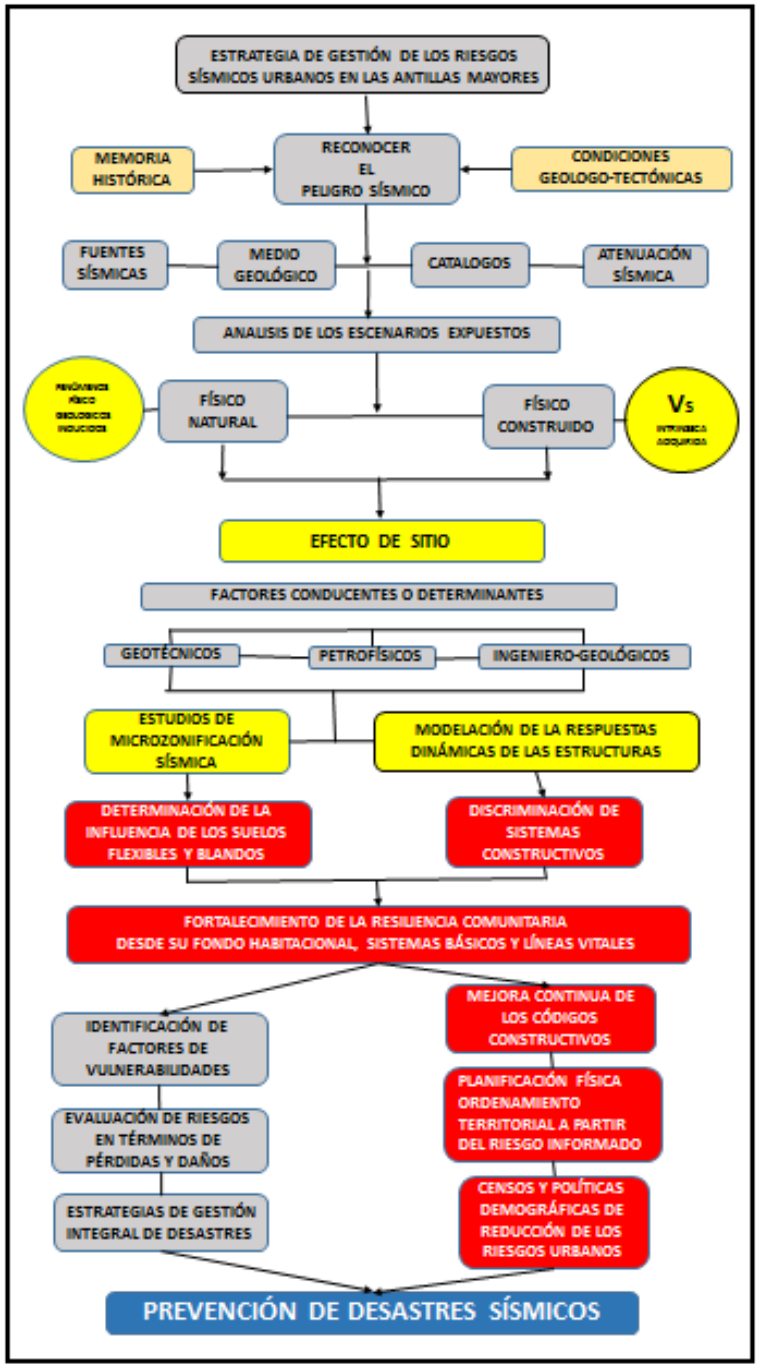
- Impacto.

Incertidumbres con relación al fenómeno natural y sus consecuencias





Obsérvese como la Geodinámica y la Geodiversidad son determinantes en los Peligros Globales y muy específicos para las Antillas Mayores.



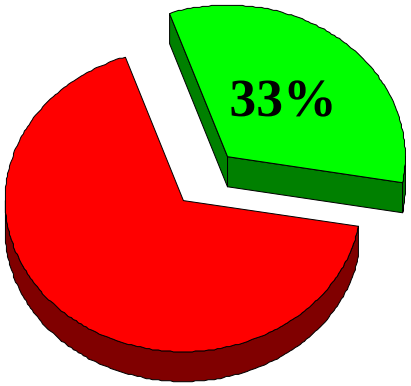
Los Terremotos y sus riesgos

Los Terremotos **por si sólo no son generadores de Desastres, son precisamente las características de los Escenarios las que determinan en el nivel de impacto.**

Factores como:

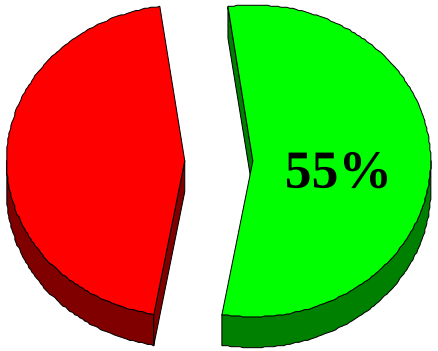
- **La densidad poblacional,**
- **El estado, tipo y uso del fondo habitacional,**
- **El desarrollo de los sistemas básicos (Educación, Salud, Seguridad)**
- **Las características de las líneas vitales (Agua, Electricidad, Comunicaciones y Transporte).**
- **Planificación Física y el Ordenamiento Territorial.**
- **La capacidad de respuesta instaladas**
- **Las medidas de prevención, preparación y mitigación**
- **La cultura comunitaria, entre otros.**

Son determinantes en las situaciones de Desastres.



Terremotos en China

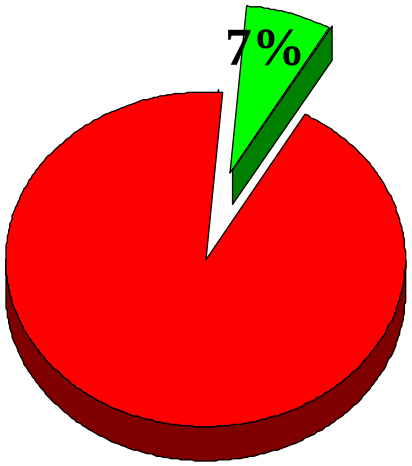
Terremotos en el mundo



R=f(A*V)

Muertos en China por Terremotos.

Muertos en el mundo por terremotos.



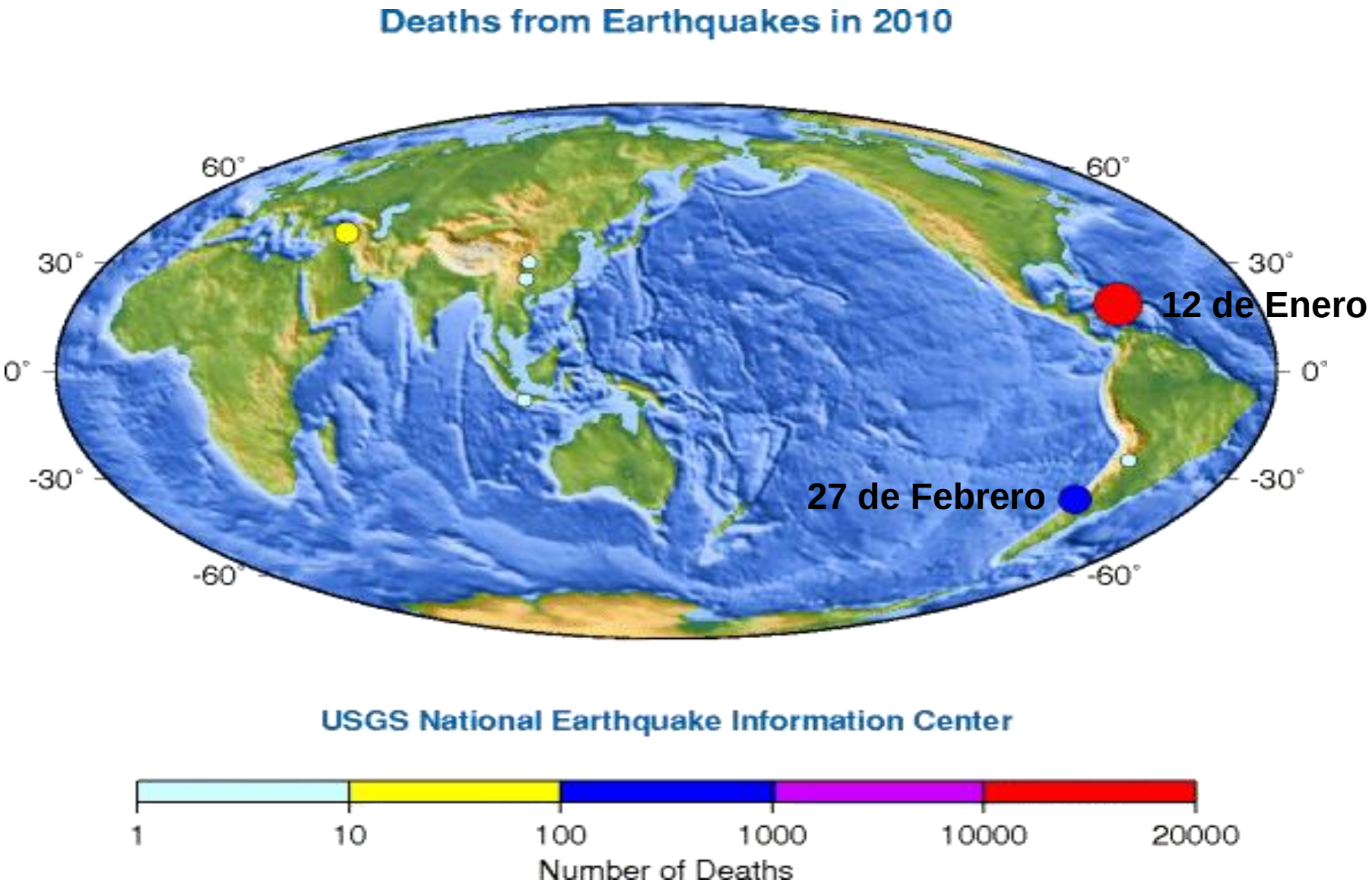
Areas de China

Areas del mundo

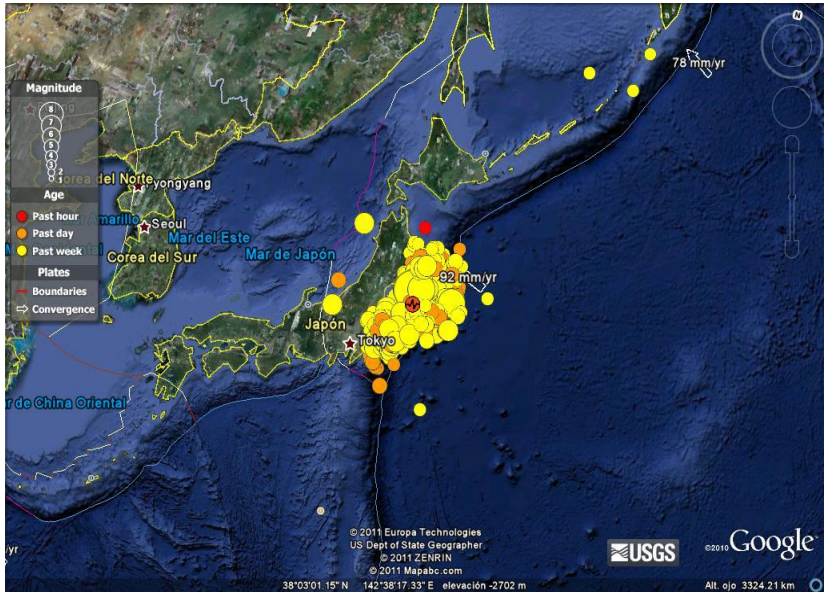
Liquefacción en Port Royal. Kingston. Jamaica. 1698 y. 1907

Los estimados de Peligro y Riesgo realizados para el océano Pacifico no habían sido considerados para el océano Indico y mucho menos la escala y magnitud de los daños.

LECCIONES APRENDIDAS, 2010-2015

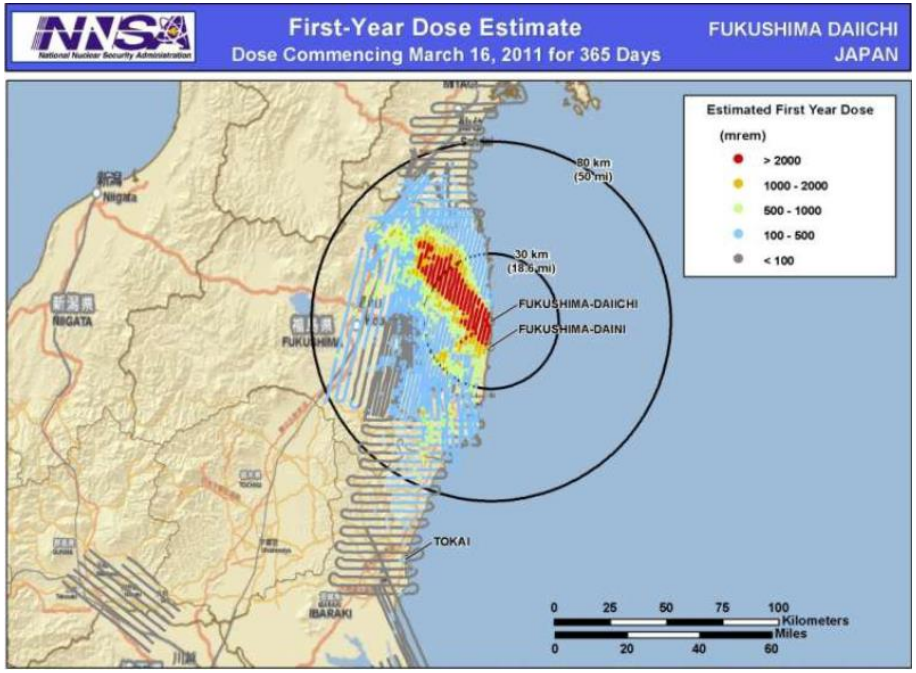


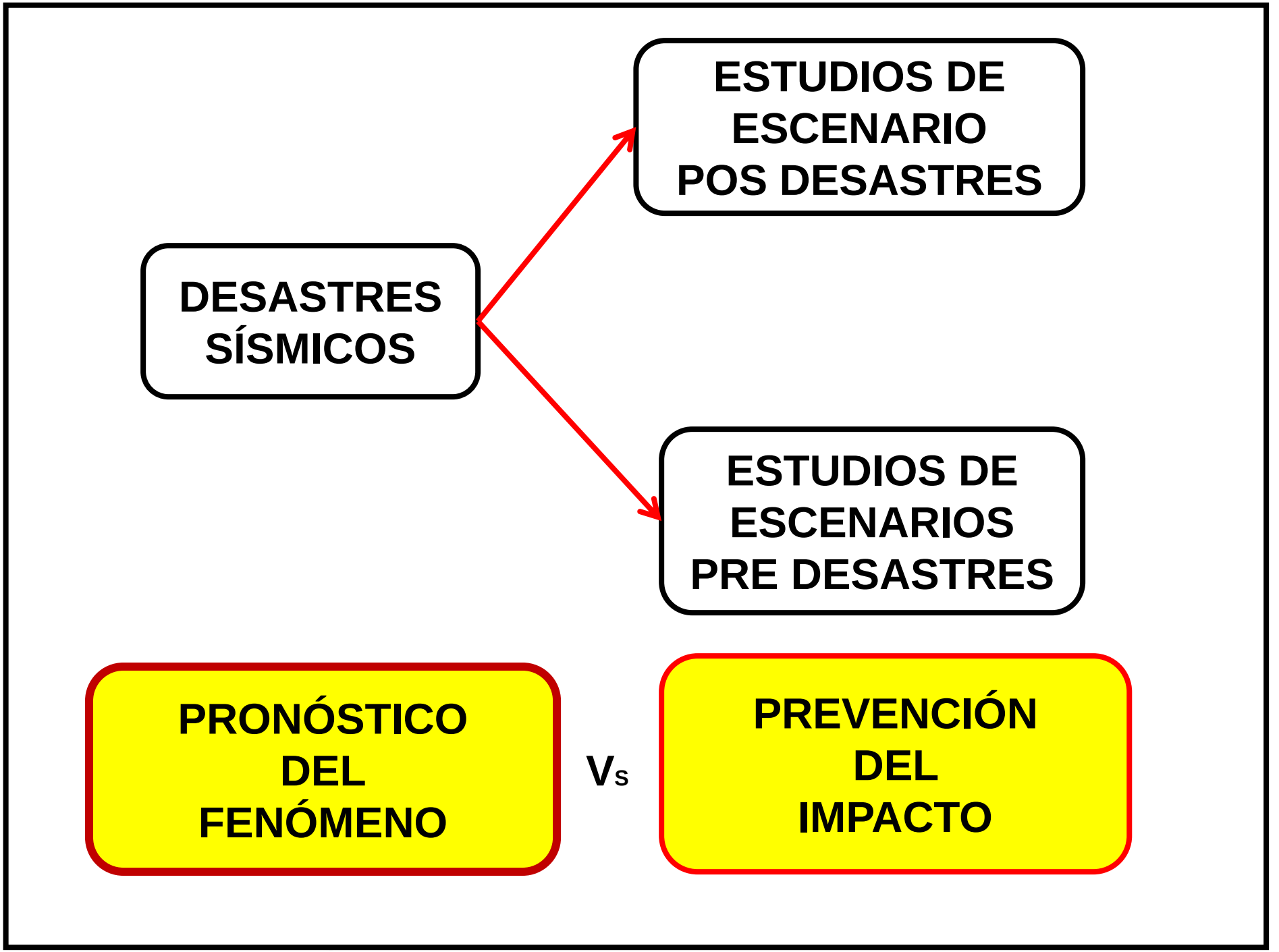
DEBEMOS RECONOCER LA IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES



Japón, 11 de marzo de 2011.
Terremoto.
Tsunami.
Vulnerabilidad Tecnológica.
Emergencia Radioactiva

DESASTRE en CADENA




ESTUDIOS DE ESCENARIO POS DESASTRES
DESASTRES SÍSMICOS
ESTUDIOS DE ESCENARIOS PRE DESASTRES
PRONÓSTICO DEL FENÓMENO
Vs
PREVENCIÓN DEL IMPACTO

SAT

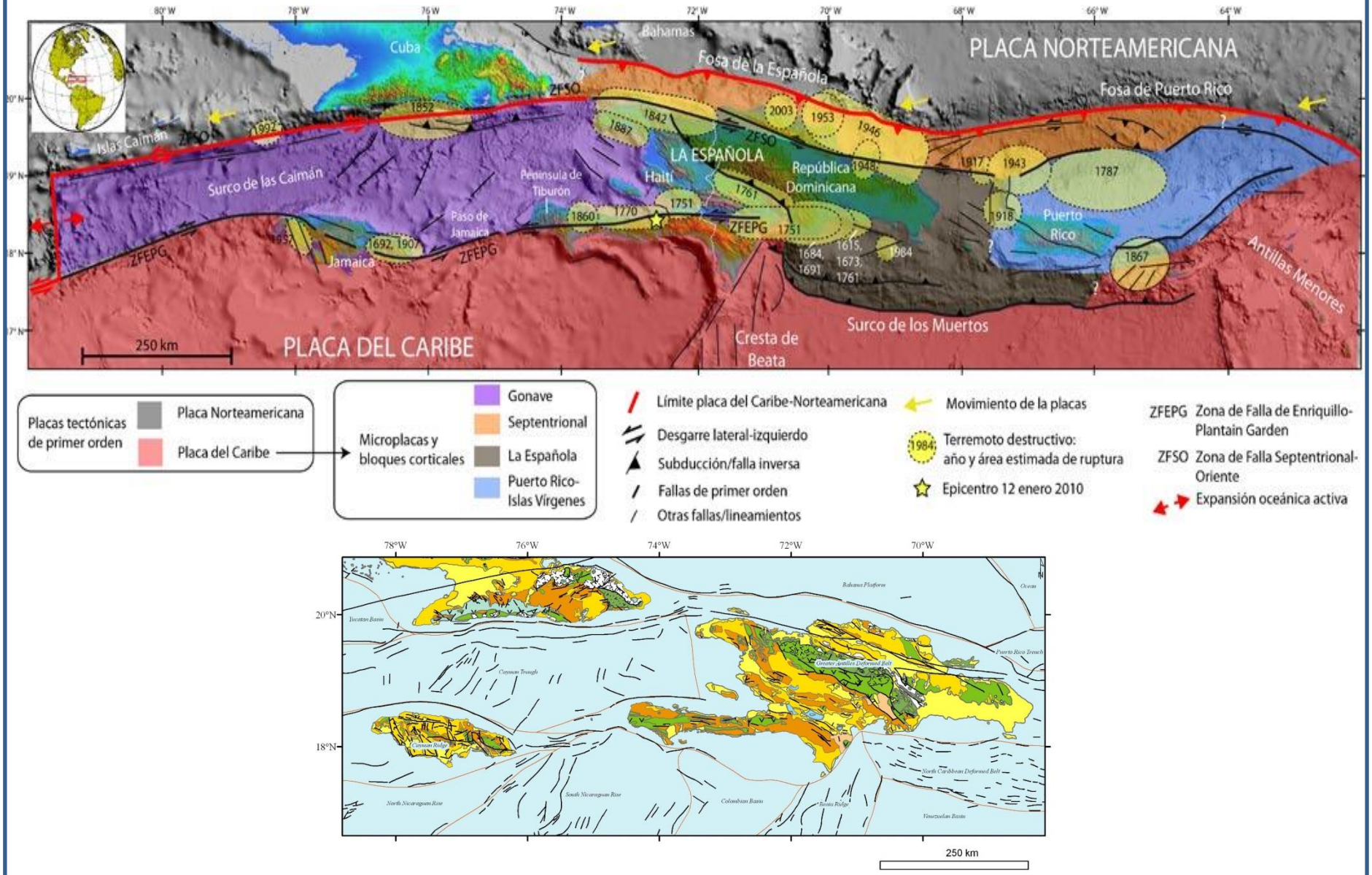
Sistema de Alerta Temprana

SAO

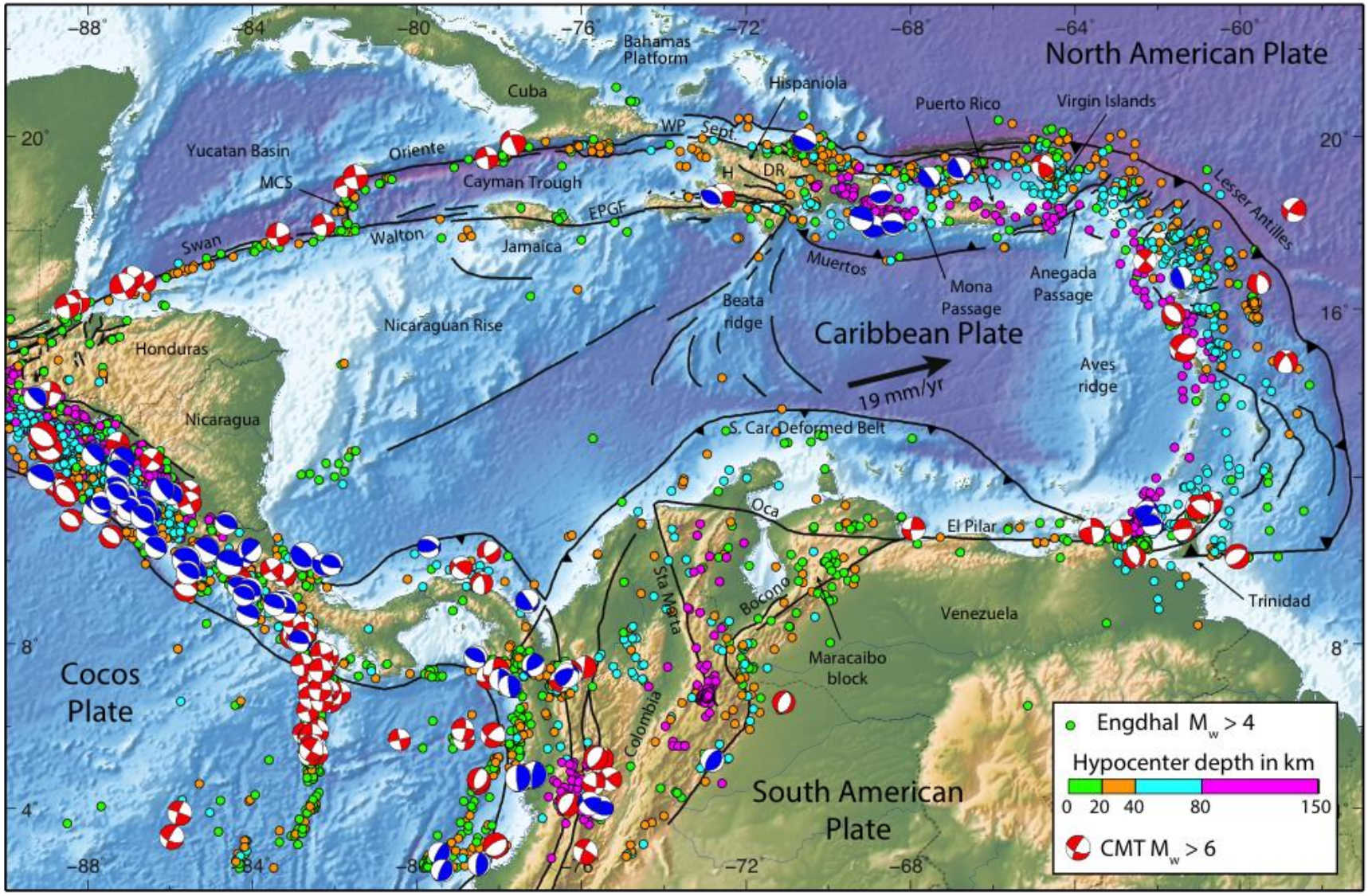
Sistema de Alerta Oportuna

Estimación de las categorías básicas para la Evaluación y Manejo de Emergencias y Desastres

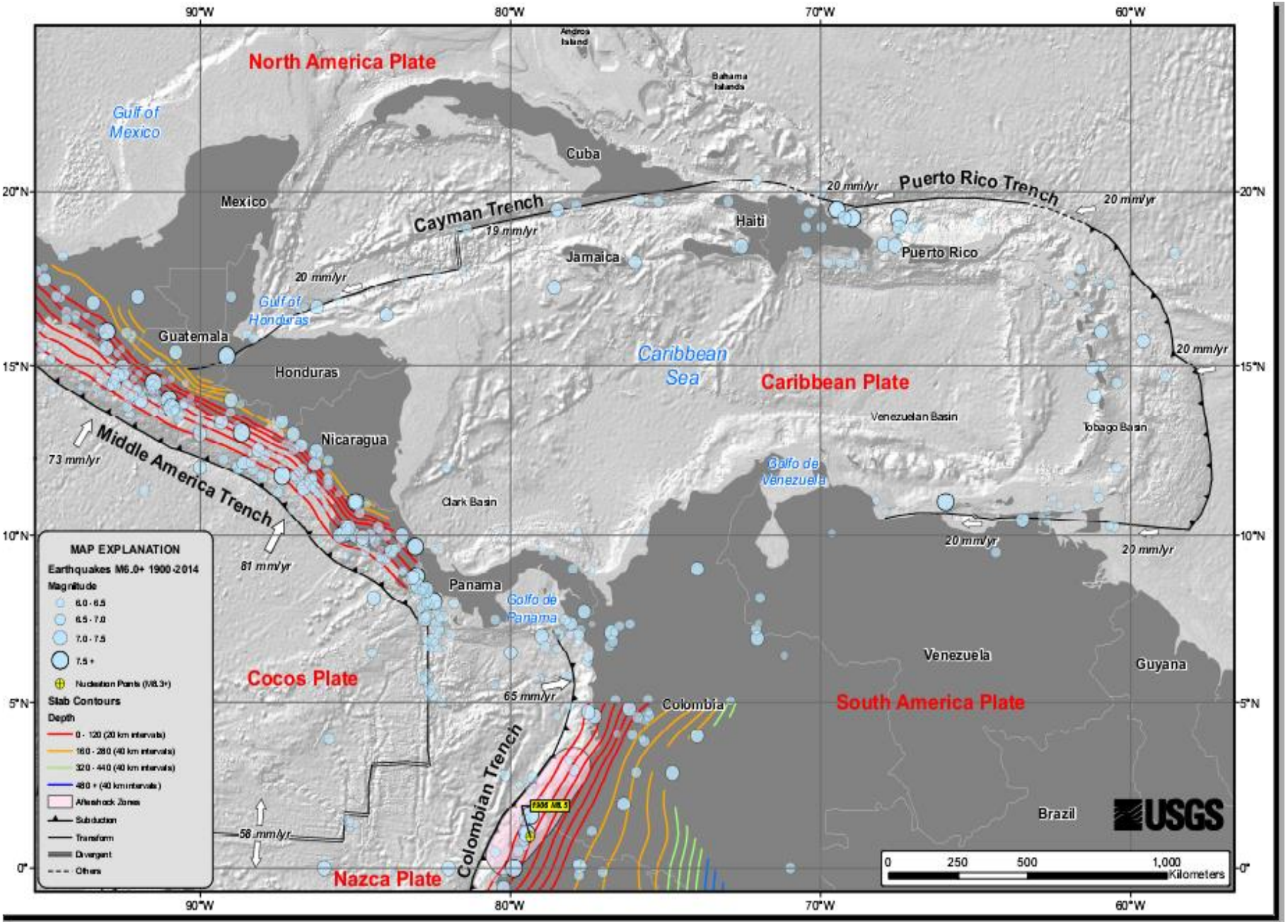
Síntesis del contexto tectónico del norte del Caribe.



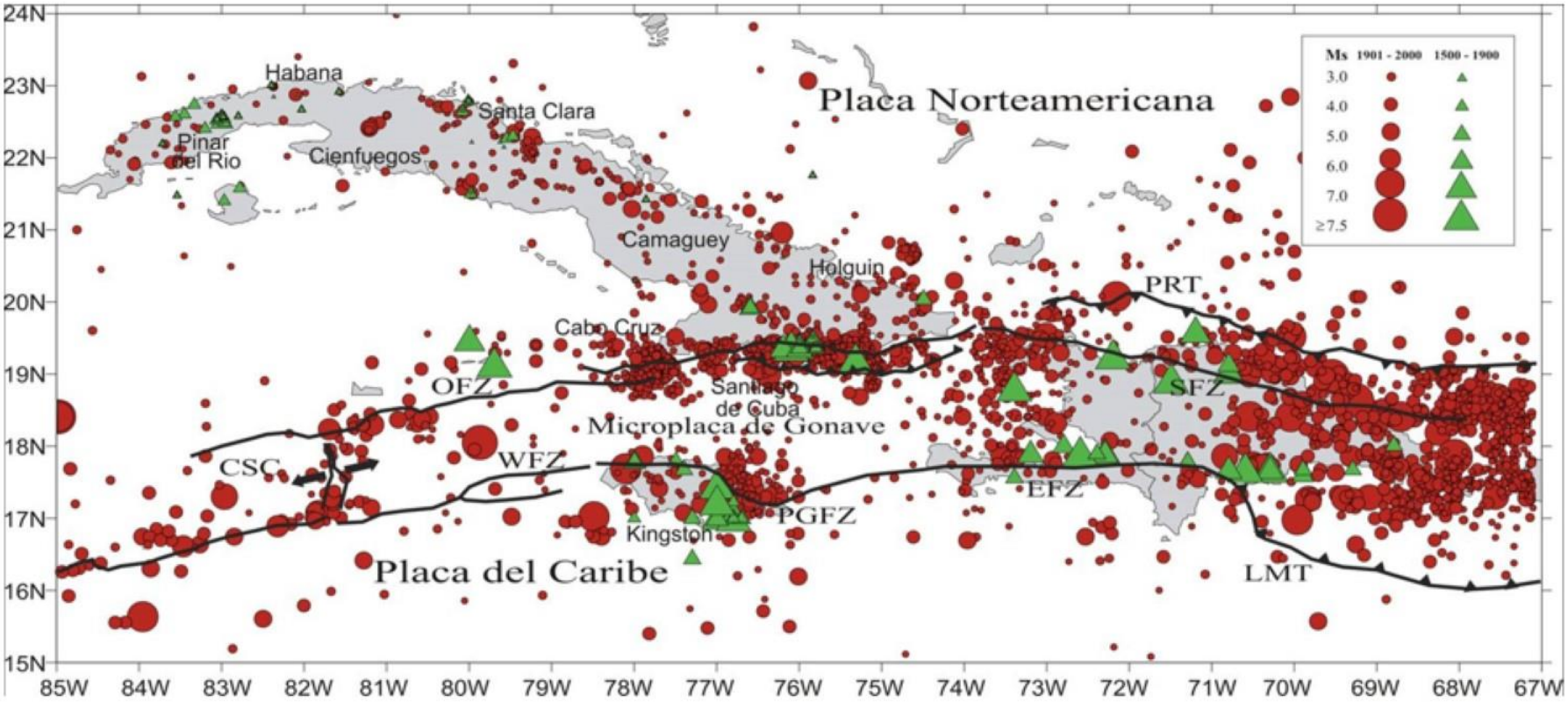
La contribución de la Física en el desarrollo de la Geofísica y las investigaciones sismológicas aplicadas".



Peligros y Riesgos por Tsunamis y Tele-tsunamis



DISA- DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS APLICADAS EN LA REPÚBLICA DE CUBA

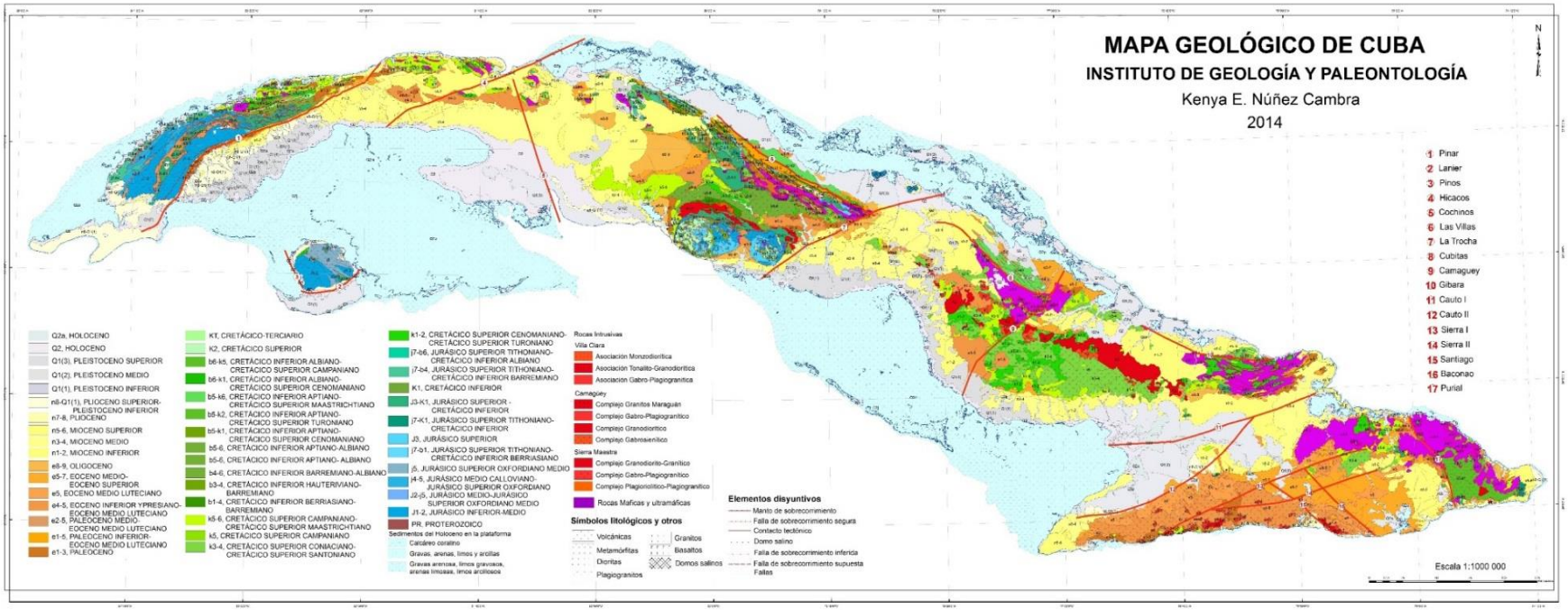


La génesis u origen de la sismicidad de Cuba es tectónica y esta determinada por estructuras y fallas activas, donde se reconocen la existencia de:

- Terremotos de entre placas.
- Terremotos de interface.
- Terremotos de interior de placa.

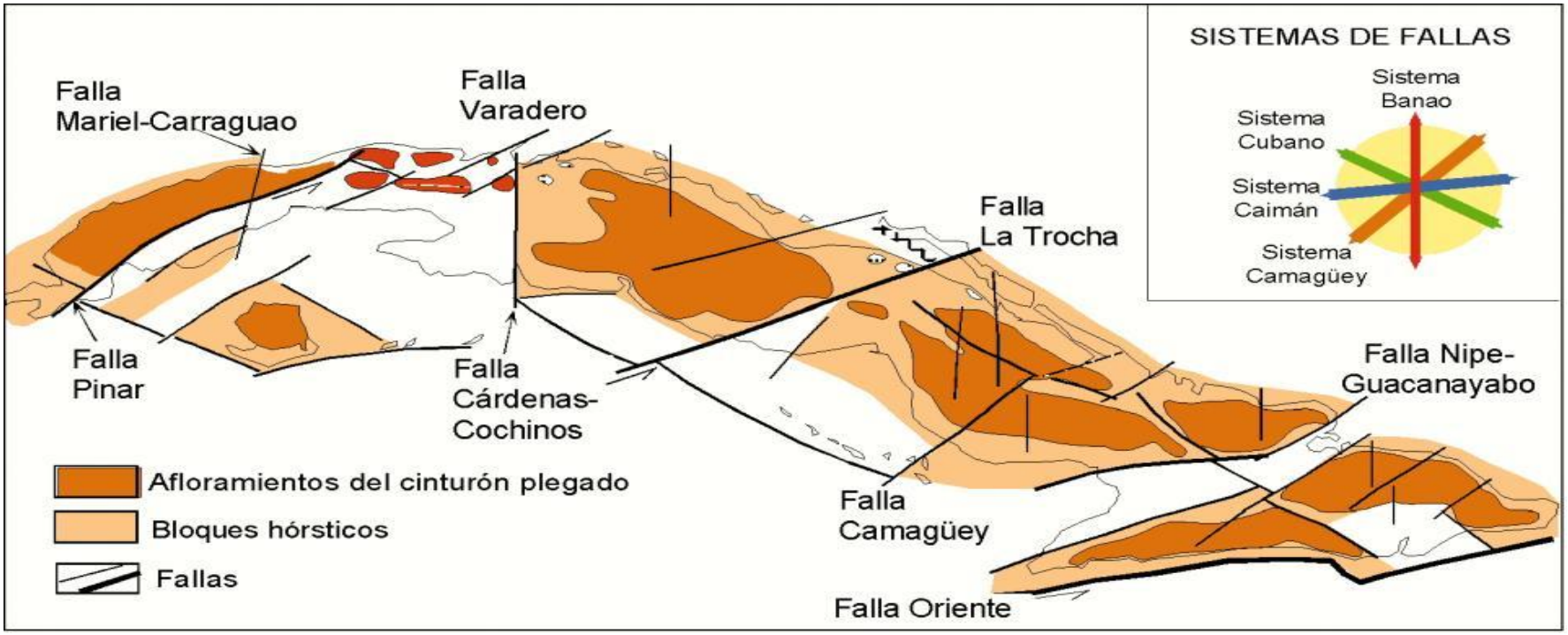
Sismicidad Histórica!

Base geológica



Base Tectónica

Fig. 1. Mapa de las fallas activas en Cuba. Observe las fallas de rumbo NW – SE (Sistema Cubano) asociadas al límite de las zonas de Remedios y Cayo Coco, así como las fallas de rumbo N – S (Sistema Banao) y NE – SW (Sistema Camagüey) que lo interceptan.



DISA- DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS APLICADAS EN LA REPÚBLICA DE CUBA

Foto del autor

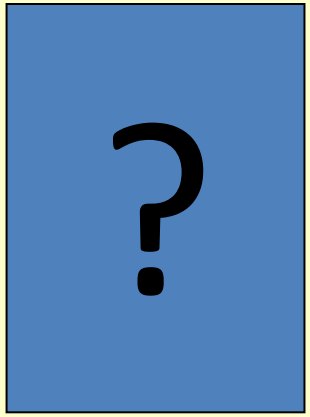
LOS RIESGOS URBANOS COMO GENERADORES DE ESCENARIOS CRÍTICOS DE DESASTRES EN LAS ANTILLAS MAYORES

Programa de Prevención de Desastres.

AMENAZAS.

(SON EL RESULTADO DE LA EXPOSICION Y LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN FENÓMENO)

- ***IDENTIFICARLAS.***
- ***ESTIMARLAS.***
- ***ANALIZARLAS.***
- ***MONITOREARLAS.***
- ***COMUNICARLAS.***



Trabajar por reducir la Incertidumbre sobre las Amenazas

MÉTODOS:
DETERMINÍSTICOS, PROBABILÍSTICOS E HÍBRIDOS

Vulnerabilidad (v): $V = f(A)$

debe ser considerada como una función de funciones, es decir, en este término se encierran a su vez diversos tipos de vulnerabilidades que son necesarias considerar en un análisis integral.

(según los principales sub-escenarios, son sus Vulnerabilidades: Medioambiental, Físico, Social y Económica).

Por el tipo:

- ***Física (E, NE).***
- ***Funcional.***
- ***Organizacional.***

- ***Económica.***
- ***Social.***
- ***Política.***
- ***Ambiental.***

$V = f(V_1 + V_2 + \ldots\ldots\ldots V_n)$.

$V = f(V_{MEDIOAMBIENTAL} + V_{FÍSICA} + V_{SOCIAL} + V_{ECONÓMICA})$

$V = f(V_1p_1, V_2p_2, \ldots\ldots\ldots\ldots V_np_n)$.

- ***Identificación de factores conducentes a cada V.***
- ***Jerarquización de las variables, asignando pesos.***

IMPORTANTE !

- ***Vulnerabilidad de un elemento aislado.***
- ***Vulnerabilidad de los Sistemas Básicos y Líneas Vitales***

Sobre Vulnerabilidad Habitacional

Es un término en uso a partir de la profundización de los estudios de Riesgos Urbanos como Escenarios Críticos. (Guasch, F. 2012).

La Vulnerabilidad Habitacional deriva de un enfoque más complejo que el de Vulnerabilidad del Fondo Habitacional, que centra su atención en la Vulnerabilidad Física.

En ella se destaca la Vulnerabilidad asociada no sólo al estado, sino al uso, por lo tanto es una variable compleja, resultado de la vinculación de la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social.

Se vincula con el concepto de Vulnerabilidad Global dado por Gustavo Wilches en 1992.

Vulnerabilidades Intrínsecas. Es la vulnerabilidad derivada de la concepción y ejecución de los proyectos. En teoría debía ser cero en el **To,** tiempo inicial de la obra o proyecto.

Vulnerabilidades Adquiridas. Como su nombre lo indica, su existencia y desarrollo están relacionadas con el uso y explotación de una obra en el tiempo. Surgen por la falta de mantenimiento especializado y la desatención a los factores conducentes a las patologías de las construcciones y a las acciones antropogénicas. Su exacerbación, incrementa el riesgo y puede ser determinante en la intensidad de las emergencias y desastres.

La principal conclusión de estos análisis para proyectos constructivos se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma.

$$V = f\left(\sum_{i=1}^{n} V\ \text{intrínsecas} + \sum_{i=1}^{n} V\ \text{adquiridas}\right)$$

$$R = f\left(\sum_{i=1}^{n} R\ \text{intrínseco} + \sum_{i=1}^{n} R\ \text{adquirido}\right)$$

Escenario Ideal……V=0

Escenario Real……V>0

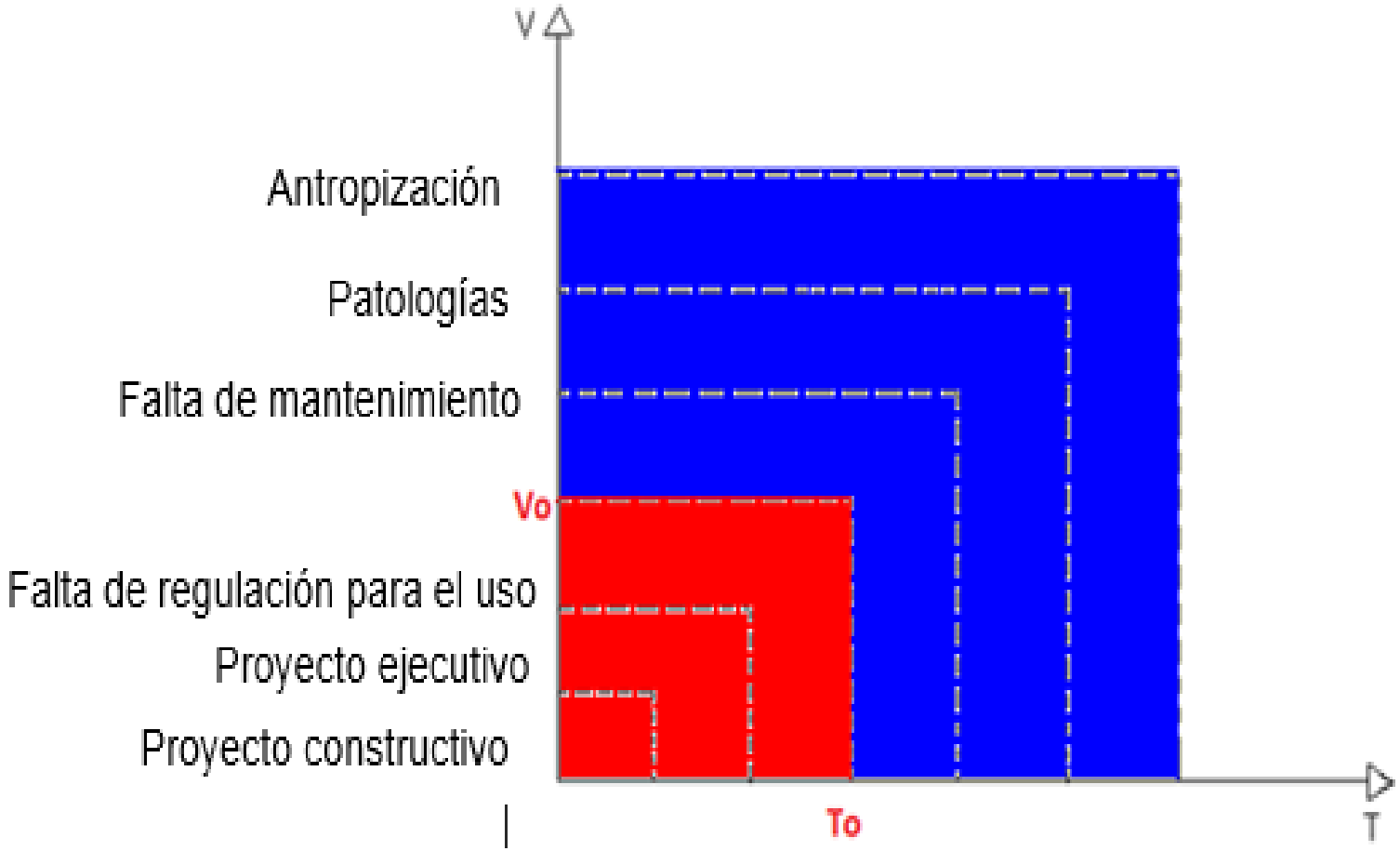


Figura Análisis teórico de la contribución de los factores de vulnerabilidad intrínsecos y adquiridos, donde se observa que para el To la vulnerabilidad correspondiente es diferente a cero.

EL RIESGO

- FUNCIÓN COMPLEJA.
- MULTIDIMENSIONAL.
- DINÁMICA.
- DEFINITORIA EN LOS MODELOS DE DESARROLLO.

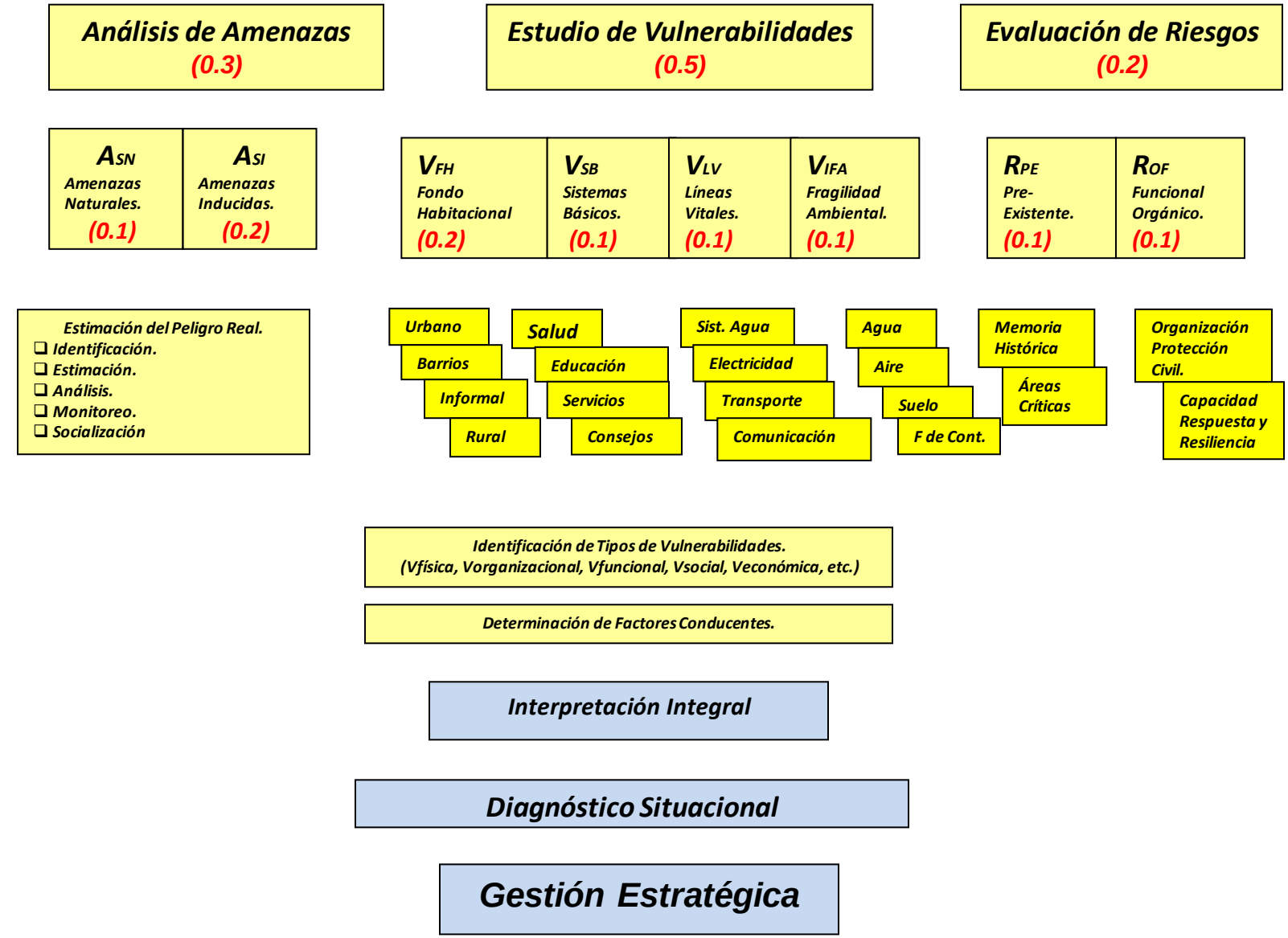
$$R=F(A*V)$$

$R=F\,(A*V).$

$$A_s \begin{cases} V = F(V_{MA}, V_{Físico}, V_{Social}, V_{Económico}) \\ R = F(R_{MA}, R_{Físico}, R_{Social}, R_{Económico}) \end{cases}$$

Análisis integral del Riesgo

Metodología para el diagnóstico situacional con fines de gestión del riesgo sísmico.

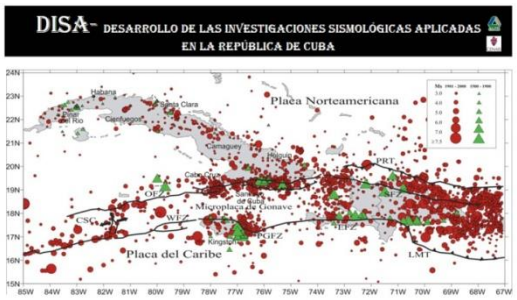


ESCENARIO DE ESTUDIO. CUBA ORIENTAL.

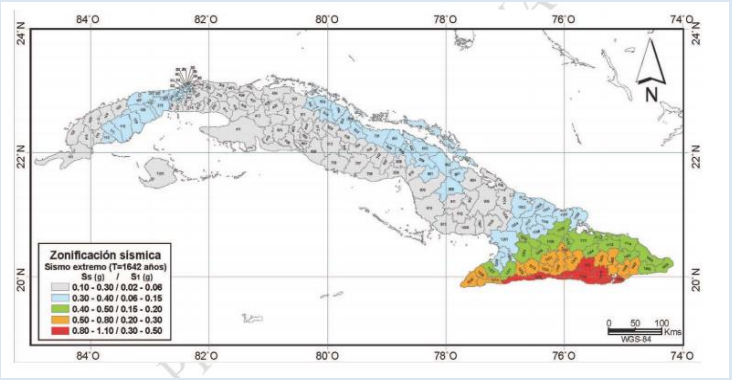
- Memoría histórica.

22/28

80%



- Estimación actualizada del Peligro.



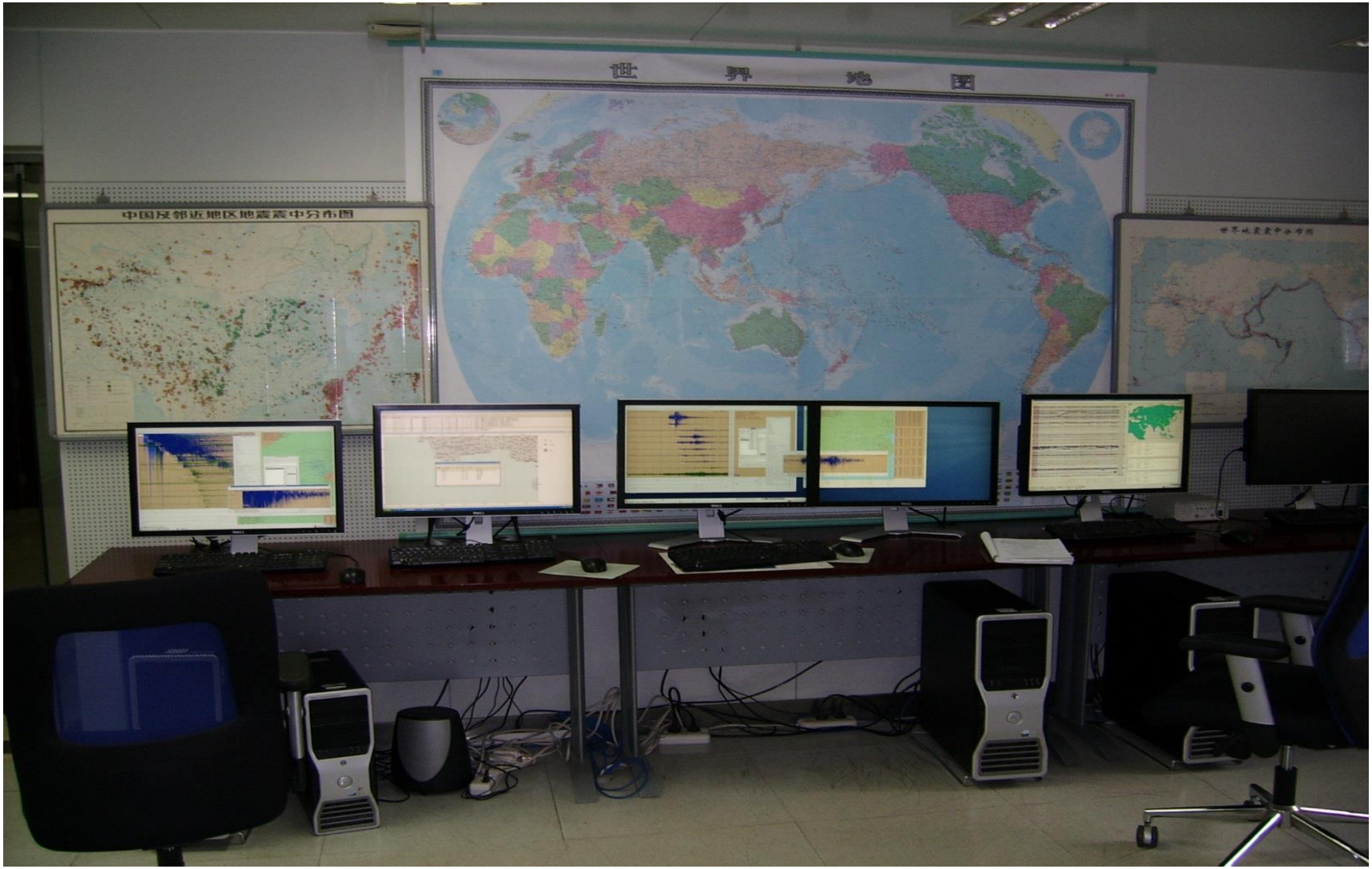
- Demografía en ascenso.
  (Más de 3 millones de hab. Expuestos).

- Riesgo Urbano acentuado en, Stgo de Cuba, Gtmo, Bayamo, Mzllo , Niquero y Pilón.

- Marco legal y juridico.
  - Organización CGRR.
  - Directiva del Pres. CDN
  - otras.

- Fortaleza y Debilidades.

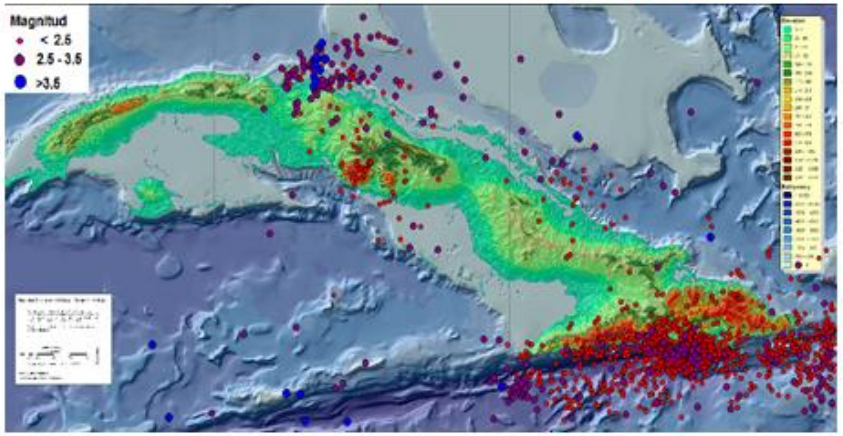
Desarrollo del Servicio Sismológico Nacional



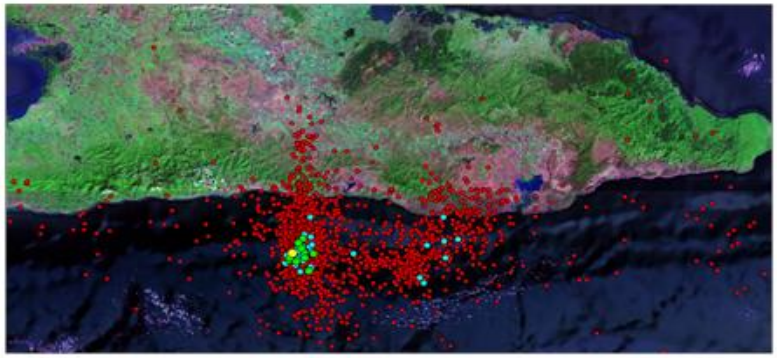
LOS RIESGOS URBANOS COMO GENERADORES DE ESCENARIOS CRÍTICOS DE DESASTRES EN LAS ANTILLAS MAYORES

El terremoto de Haití, catalizo el incremento de la actividad sísmica regional

Mapa de la actividad sísmica reportada en el 2014 por el Servicio Sismológico Nacional



La tendencia de esta actividad sísmica se ha visto influenciada por la ocurrencia del terremoto de Haití



Crisis sísmica de enero de 2016. (SSNC)

Crisis sísmica de enero de 2017. (SSNC)

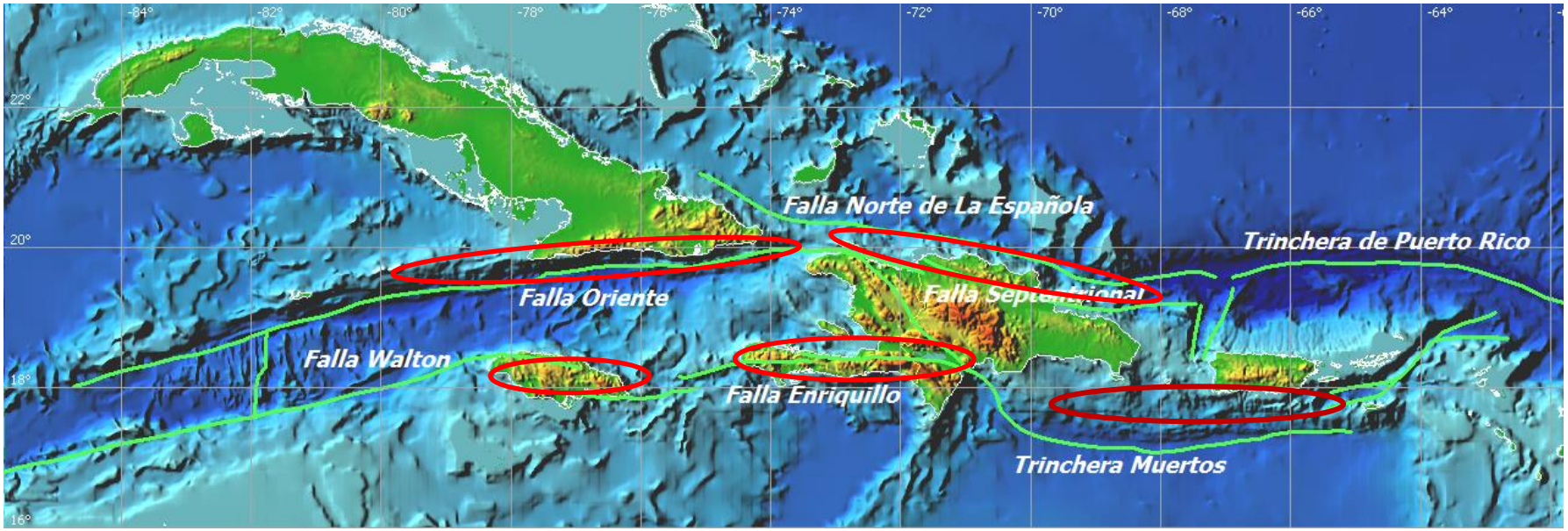
?

Lecciones Aprendidas

ESCENARIOS DE PELIGROS

Estimación determinística del Peligro Sísmico

(Donde podemos esperar los mayores eventos a futuro)



El rol del Sistema de Medidas de la Defensa Civil.

GIRD

RESILIENCIA

"La percepción de los riesgos de desastres , para la construcción de naciones Resilientes ".

La Gestión y Administración de los Riesgos de Desastres, GARD, es el proceso, a través del cual, podemos transformar el RIESGO Pre-existente en un RIESGO Permisible, Aceptable o Manejable que este en correspondencia con las Capacidades de Respuesta del potencial ente afectado.

La eficacia y eficiencia de la GARD depende del alcance del proceso (visión holística) y del uso de INDICADORES REPRESENTATIVOS con el objetivo de establecer criterios de medidas para la GESTIÓN.

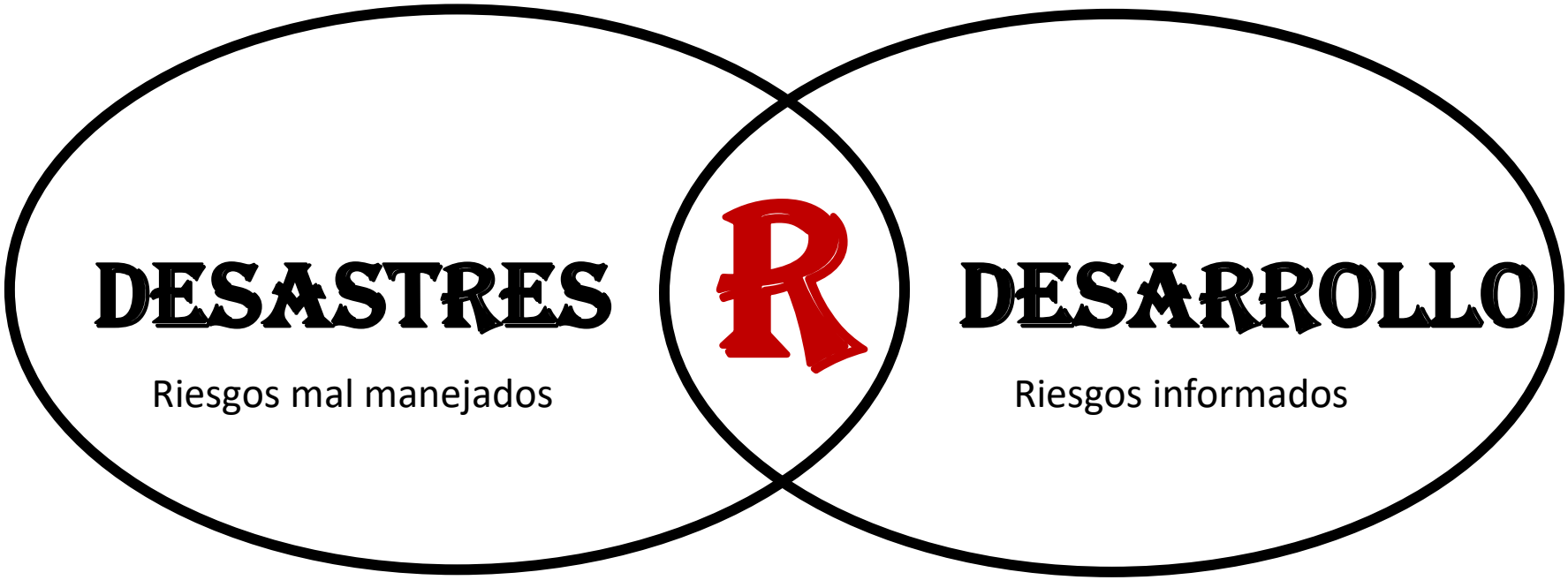
LA GESTIÓN INTEGRAL DE PROYECTOS EN LA INICIATIVA LOCAL.

Fuente: Fernando Guasch -2020

Este modelo permite migrar desde las posiciones Emergenciales a la Gestión Prospectiva y dar cumplimiento a los objetivos del Marco de Sendai.

EL PORQUE DE LOS MODELOS DE GESTIÓN?

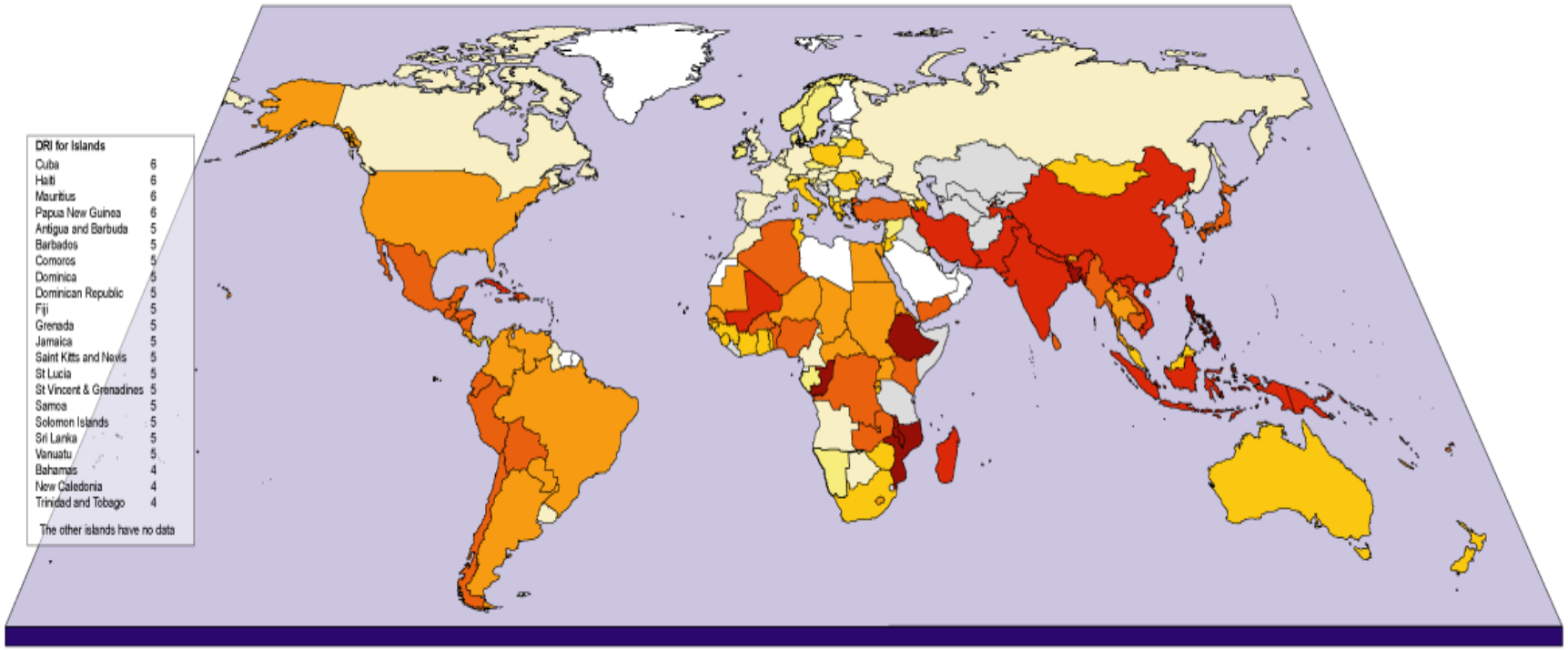
$$R = F(A^*V)$$



Esto obliga a la incidencia directa con relación a la Vulnerabilidad Global y a sus factores conducentes

Fdo Guasch H-2022

The Disaster Risk Index (DRI)



UNEP GRID EUROPE

USO DE INDICADORES DE PROCESOS DE GESTIÓN.

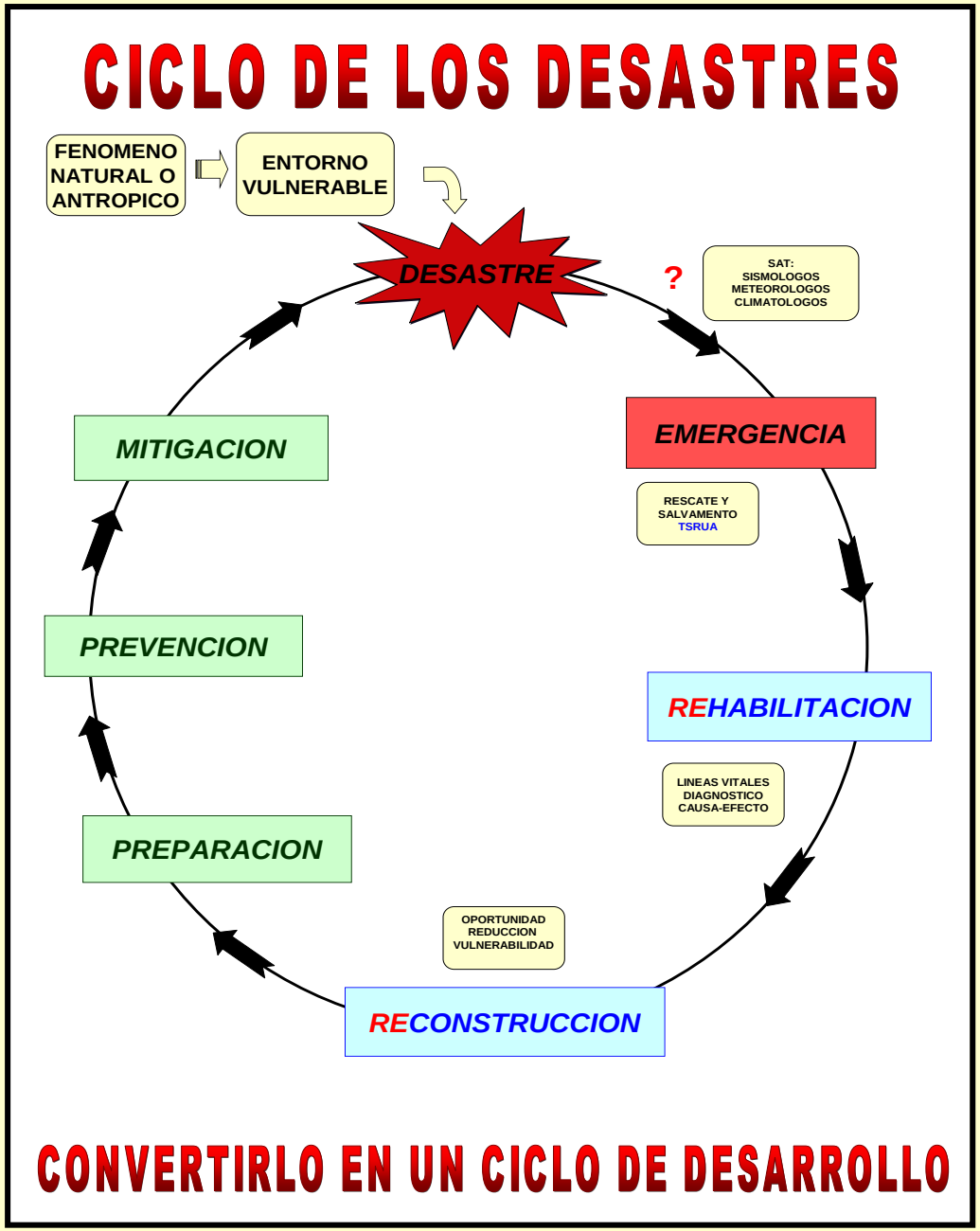
INDICADORES

- DE DESASTRES. (Perdidas)
  (# de muertos, heridos, damnificados)
- DE GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES. (Daños)
  (Amortización de daños evaluados)
- DE DESARROLLO. (Sostenibilidad)
  (nivel de seguridad sobre el PIB)

Desastres
Vs
Capacidad de Respuesta Instalada.

Fondo Habitacional-sistemas básicos-líneas vitales

Evolución en la Visión Estratégica ante las premisas de DESASTRES



Debemos prestar mayor atención a la construcción de:

- ***Escenarios de Peligros.***
- ***Escenarios de Riesgos.***
- ***Escenarios de Desastres.***

$$R=F\,(A*V)$$

Cuba tiene identificadas sus Premisas de Desastres y un Marco legislativo y jurídico para la Gestión de los Riesgos de Desastres.

RESILIENCIA

Definiciones

Capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas por conducto de la gestión de riesgos.

Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastre de UNDRR, 2017

Conclusiones

Cada terremoto constituye una lección para la humanidad, porqué cada manifestación de la naturaleza nos pone al descubierto variables no consideradas en los modelos de estimación de los Peligros.

Uno de los elementos qué más complejiza los escenarios de desastres sísmicos es el llamado **Efecto de Sitio**, razón por la cual la comunidad científica ha concentrado varias décadas al desarrollo de metodologías dirigidas al estudio de los suelos de fundación, la microzonificación sísmica, la relación suelo-estructura y a la respuesta dinámica de las construcciones; que permitan perfeccionar los códigos de construcciones sismo resistentes y gestar adecuadamente los riesgos sísmicos urbanos.

Un Problema latente hoy es el análisis dinámico del Efecto de Sitio generado por Terremotos fuertes en zonas de fallas de transformantes presentes en las Antillas Mayores, que constituye una de las causas de los riesgos sísmicos urbanos y una de las premisas de Desastres para la región.

El contexto Geodinámico del Caribe a la luz de la Tectónica de Placas, nos muestra la diversidad y complejidad geólogo-tectónica- volcánica y sismológica de la región, donde se reconoce una rica memoria histórica de eventos naturales intensos, asociados a los procesos de la geodinámica endógena.

La Identificación, Estimación, Análisis y Monitoreo de la amenaza sísmica, constituye el objetivo esencial de diversos centros de investigación y de Servicios Sismológicos globales, regionales y locales; todos con el fin de profundizar en el estudio, caracterización y definición de la génesis y tendencias de los terremotos como fenómeno natural catalizador de desastres.

Fortalecer los sistemas de alerta temprana ante fenómenos naturales de origen súbito como los terremotos en la región, nos conduce a profundizar en la estimación del peligro, el análisis de las vulnerabilidades y la evaluación de los riesgos en términos de pérdidas y daños.

La necesidad de modelar escenarios sísmicos a escala urbana, nos obliga a usar los resultados de la zonaciones sísmicas, para desarrollar un procedimiento metodológico que permita el pronóstico efectivo de los
Efectos de Sitio, mediante el mapeo de los suelos flexibles y blandos como máximos responsables de las amplificaciones de las ondas sísmicas en determinadas condiciones geológicas típicas.

Se requiere la integración de los análisis geotécnicos, petrofísicos e ingeniero geológicos, para la modelación de la respuesta dinámica de los suelos, la relación suelo-estructura y los factores de seguridad a considerar en los
Códigos de construcciones sismo resistentes.

Los estudios de suelos de fundación o microzonificación sísmica pueden y deben adquirir una nuevo valor de uso, para la planificación física, el Ordenamiento territorial y la gestión de riesgos para el desarrollo.

En 20 años de investigación en el tema, el doctorando ha realizado 8 estudios de Escenarios pos desastres en República Dominicana, Guatemala, Haití (2), Ecuador, Puerto Rico, Italia y Turquía; que le han permitido sistematizar los estudios de caso, donde se ha trabajado la relación Causa-Efecto con el objetivo de robustecer el procedimiento metodológico y validar su implementación y uso.

El esclarecimiento de la génesis de los terremotos y el pronóstico de sus potenciales impactos, da respuesta en la región de las Grandes Antillas al Marco de Acción de Sendai, a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 y sobre todo al fortalecimiento de las políticas públicas en función de la Prevención de Desastres, a través del incremento de la Resiliencia de las Naciones y sus Comunidades.

VOLCÁN CHAPARRASTIQUE O SAN MIGUEL, El Salvador. Julio de 2012

La contribución de la Física en el desarrollo de la Geofísica y las investigaciones sismológicas aplicadas".

El Pronóstico o Predicción científica de este tipo de Fenómeno Natural es un problema no resuelto aún por la ciencia contemporánea.

Desde que los Terremotos impactan a la humanidad ha existido la inquietud por conocer CUANDO, ocurrirán estos Fenómenos, para evitar el pánico, la destrucción y la muerte.

Científicamente se habla de 4 tipos de investigaciones dirigidas al Pronóstico a:

LARGO PLAZO……(años).
MEDIANO PLAZO……(meses).
CORTO PLAZO……(semanas y días).
INMINENTE……..(días y horas).

La contribución de la Física en el desarrollo de la Geofísica y las investigaciones sismológicas aplicadas".

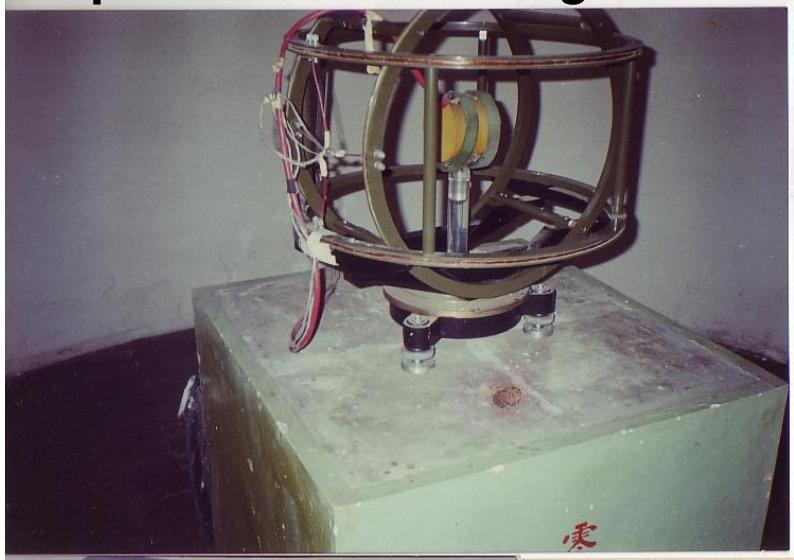
Todas se basan en la OBSERVACIÓN DE LA TENDENCIA de diferentes variables o campos físicos asociados al proceso o mecanismo de generación de los TERREMOTOS en una condición geológica típica y la aparición de ANÓMALIAS que anuncien la proximidad de la ruptura.

Los Geocientíficos trabajan en este objetivo desde inicios del siglo XX, el cual fue impulsado después de la Segunda Guerra mundial, al aparecer los primeros POLÍGONOS DE PRONÓSTICO DE TERREMOTOS y la primera Red Sismológica Mundial.

El Pronóstico de Terremotos requiere del monitoreo de diferentes variables, relacionadas con el proceso de generación de los sismos, tales como:

- ✓ **Geofísicas.**
- ✓ **Geodésicas.**
- ✓ **Geoquímicas**
- ✓ **Hidrológicas, etc.**

Experiencias del Polígono de Dalí. Yunnan. RPCH. (2000).



La contribución de la Física en el desarrollo de la Geofísica y las investigaciones sismológicas aplicadas".

OBJETIVOS del PRONÓSTICO

-Esclarecimiento del proceso físico para la ocurrencia de los Terremotos.

-Análisis e interpretación de los Fenómenos Precursores.

- Movimientos de la Corteza.
  (Horizontales y Verticales)
- Sismicidad. (Cinturones sísmicos,
  Gaps, Migración, Agrupamientos, etc.)
- Campos Geofísicos. (Campos
  potenciales, geoeléctricos y
  electromagnéticos, radiométricos, geofísica satelital).
- Variables Geoquímicas e Hidrológicas.
  (Emanaciones, nivel de agua, P y T).
- Actividad en las fallas geológicas.

La contribución de la Física en el desarrollo de la Geofísica y las investigaciones sismológicas aplicadas".

- Establecimiento de Modelos Geólogo Geofísicos, como base para la interpretación de las Anomalías.

- Análisis multivariados en Tiempo Real de todos los elementos Precursores.

- Instrumentación social del uso de la información.