



# Indice Jerárquico de Vulnerabilidad a Tsunamis para Puerto Rico

**Juan G. Ayala** – Estudiante Graduado  
Departamento de Ingeniería Industrial UPRM  
[juan.ayala1@upr.edu](mailto:juan.ayala1@upr.edu)

**Dra. Saylisse Dávila** – Investigadora Principal  
Departamento de Ingeniería Industrial UPRM  
[saylisse.davila@upr.edu](mailto:saylisse.davila@upr.edu)

**Roy Ruiz Vélez**– Auxiliar de Investigaciones  
Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) e  
Instituto de Recursos de Agua (PRWRERI) UPRM  
[roy.ruiz1@upr.edu](mailto:roy.ruiz1@upr.edu)



**11<sup>ma</sup> Reunión de PRYSIG**

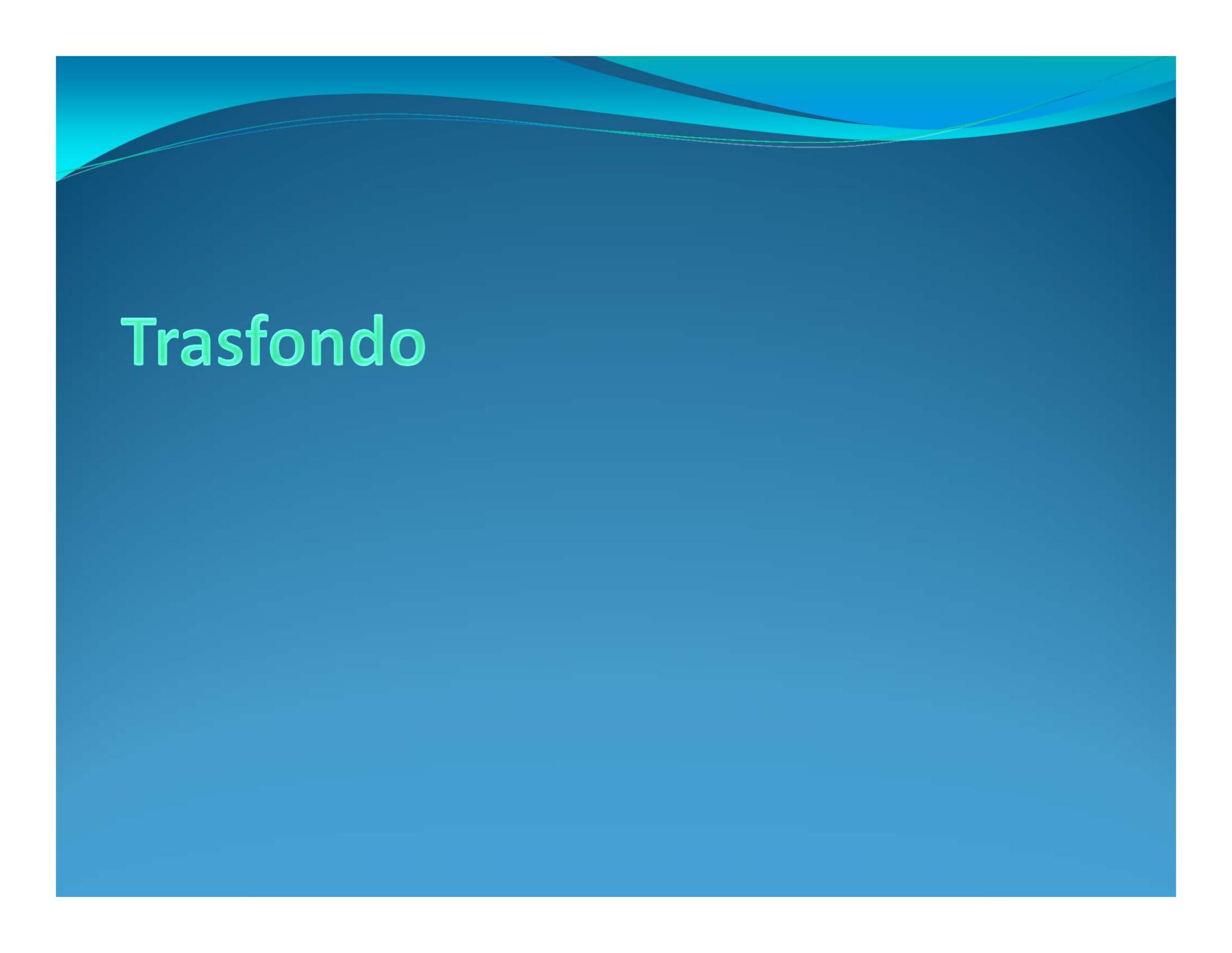
4 de octubre de 2013

UPR-Recinto Universitario de Mayagüez



# Agenda

- Trasfondo
- Objetivos
- Motivación
- Revisión de Literatura
- Metodología
- Discusión

The background is a solid blue gradient, transitioning from a lighter blue at the top to a darker blue at the bottom. There are several thin, wavy lines in shades of blue and cyan that sweep across the top of the image, creating a sense of movement and depth.

# Trasfondo

SOURCE:



# ¿Qué es un tsunami?

- Una serie de *grandes olas* generadas por un *disturbio submarino* generalmente ubicado cerca de las costas o en el océano.
- Las olas de un tsunami pueden *viajar grandes distancias* y *propagarse en todas direcciones* a partir del lugar donde se genero el disturbio.



Sumatra, Indonesia



# Vulnerabilidad

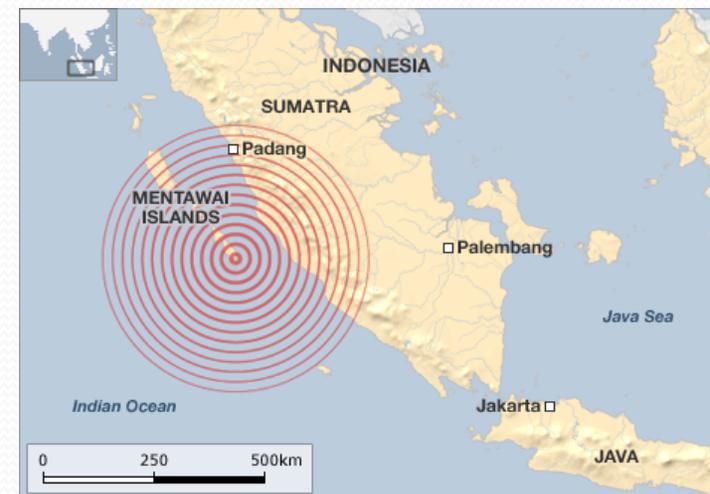
- *Atributos del humano y el ambiente que incrementan el potencial de pérdidas o reduce la capacidad de recuperación de una comunidad.*



1. **Exposición** = se enfoca en la cantidad de activos o recursos dentro del TEZ.
2. **Sensibilidad** = componente de vulnerabilidad que se enfoca en el impacto relativo de pérdidas en una comunidad.
  - ¿Qué proporción de los activos del municipio están dentro del TEZ?
3. **Capacidad de recuperación** = habilidad de una comunidad para tolerar, adaptarse y recuperarse de las pérdidas.

# Motivación

- Tsunamis devastadores en la última década:
  - Océano Índico en 2004
    - 227,898 muertos
    - 9.9 billones de dólares
  - Japón en 2011
    - 20,319 muertes
    - 210 billones de dólares
    - Crisis nuclear



SOURCE:

# Motivación

Existe evidencia histórica que sugiere que Puerto Rico y el Caribe se han visto afectados por la ocurrencia de tsunamis en el pasado.

- PR
  - Cuestionables: 1
  - Probables: 2
  - Confirmados: 2 (1867, 1918)
- Caribe
  - Cuestionables: 55
  - Probables: 10
  - Confirmados: 37



SOURCE:



**NOAA** NATIONAL GEOPHYSICAL  
DATA CENTER

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION



# Motivación

- Actualmente no existe un índice de vulnerabilidad a tsunamis para todo Puerto Rico.
- Limitaciones de los modelos existentes en la literatura
  - Asunción de independencia no es válida.





# Objetivos del Índice

1. Identificar las características de las comunidades costeras que aumentan su vulnerabilidad a tsunamis.
2. Proponer una herramienta analítica para el entrenamiento del personal de manejo de emergencias y la asignación de recursos a nivel nacional ante la eventualidad de un tsunami.
3. Proveer conocimiento sobre la vulnerabilidad a tsunamis que sirva de guía para la planificación urbana en las zonas de desalojo a través de la isla.

# Revisión de literatura

# Revisión de Literatura:

## *Índices de Vulnerabilidad*

<b>Autores</b>	<b>Enfoque</b>
<b>Wood et al. (2007)</b>	Tsunamis
<b>Wood &amp; Schmittlein (2013)</b>	Tsunamis
<b>Wood et al. (2002)</b>	Tsunamis
<b>Wood (2007)</b>	Tsunamis
<b>Santos-Hernández (2007)</b>	Tsunamis
<b>Wood &amp; Ratliff (2012)</b>	Tsunamis
<b>Morrow (1999)</b>	Desastres naturales
<b>Cutter et al. (2003)</b>	Desastres naturales
<b>Birkmann ( 2007)</b>	Desastres naturales
<b>Birkmann,( 2007)</b> <b>Bollin &amp; Hidajat (2006)</b>	Desastres naturales
<b>Cutter et al. (2009)</b>	Desastres naturales



# Revisión de Literatura:

## *Índices de Vulnerabilidad a Tsunamis*

- Modelo de vulnerabilidad propuesto para:
  - **Hawai'i [Wood (2007)]**
    - Crear y desarrollar un análisis de vulnerabilidad limitado a **exposición y sensibilidad** de los activos de la comunidad que están en peligro de ser afectados por un tsunami.
  - **Port Harbor [Wood (2002)]**
    - Categorizar un índice de vulnerabilidad para la zona de Port Harbor utilizando el insumo de los líderes y empresarios locales, profesionales de diferentes áreas de manejo de emergencia, consejeros técnicos, ingenieros, geólogos y expertos en tsunamis.
  - **Zona Oeste de Puerto Rico [Hernández (2007)]**
    - Conceptualizar y estimar un índice de vulnerabilidad para la costa oeste de Puerto Rico y examinar los cambios de la vulnerabilidad social en estas comunidades costeras.
  - **Indonesia [Bollin & Hidajat (2003)]**
    - Desarrollar un índice de riesgo para Indonesia con el propósito de evaluar e identificar los riesgos y necesidades de cada municipio utilizando variables sociales, económicas, y demográficas de la zona así como también cuenta con discusiones con los líderes y empresarios locales.

# Uso de herramientas de SIG

# Sistemas de Información Geográfica (SIG)

- Los SIG son una herramienta efectiva para calcular y estimar la mayoría de las variables envueltas para éste Índice de Vulnerabilidad a Tsunamis para Puerto Rico.



Modelo de inundación por Tsunami 2012 (RSPR)

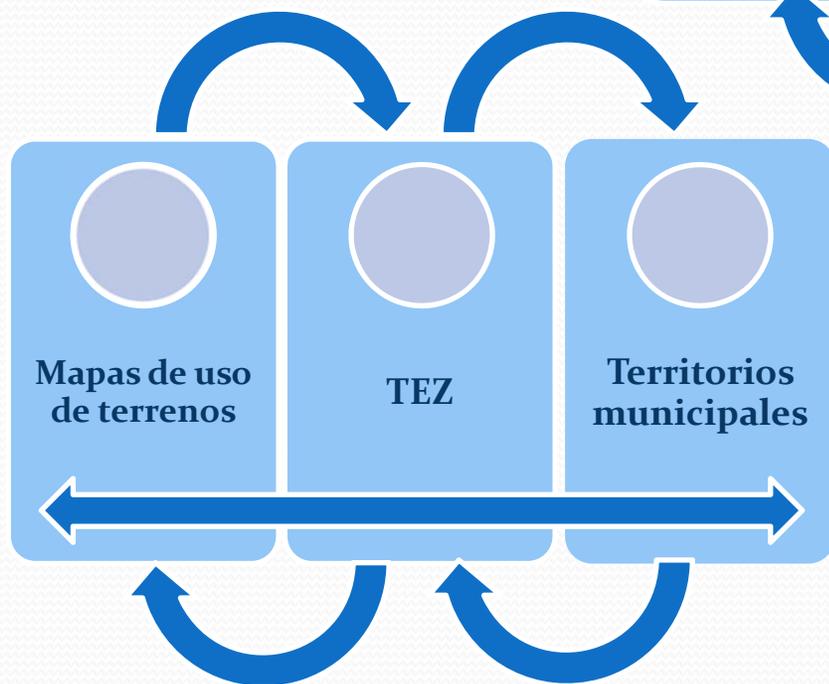


Zonas de desalojo por Tsunami (RSPR)

SIG



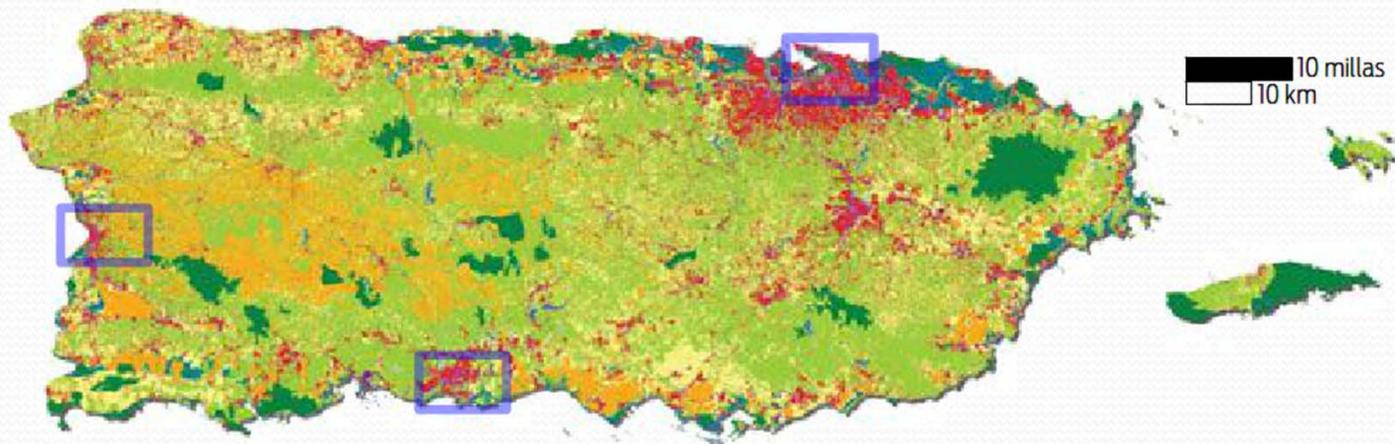
TEZ



Zona urbanizada /  
Zona no urbanizada

# USO DE TERRENOS

Mapas y distribución de usos



2006

Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico

**Zona Urbana**

 **VER USOS**

**LEYENDA**

- |   |  |   |   |   |
|---|--|---|---|---|
|  Natural |  Agricultura  |  Industrial            |  Minería - (lugares de extracción de agregados como piedra, gravilla, arena) |  Reservas forestales |
|  Bosque  |  Construcción |  Comercios y servicios |   |  Humedales y mangles |
|   |  |  Residencial           |   |   |



# Métodos

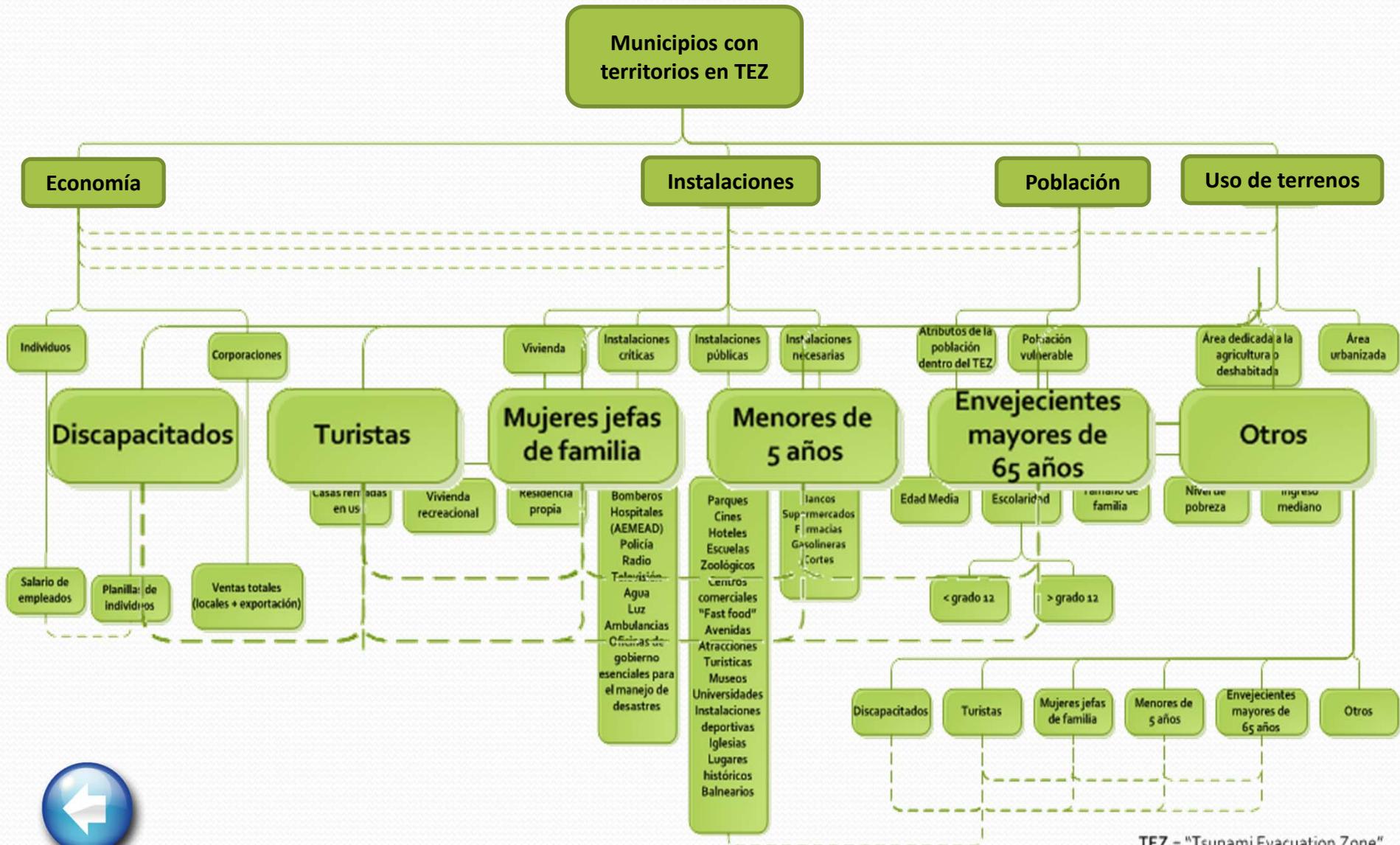
# Variables Seleccionadas

- Población
  - Turistas
  - Menores de 5 años
  - Mayores de 65 años
  - Mujeres jefas de hogar con hijos
  - Discapacitados
  - Edad mediana
  - Nivel de pobreza
  - Tamaño de familia
  - Educación
  - Ingreso mediano
- Uso de terrenos
  - Urbanizado
  - No urbanizado
- Economía
  - Salarios de individuos
  - Ventas totales de comercios
  - Planillas de individuos
- Instalaciones
  - Instalaciones críticas
  - Instalaciones públicas
  - Instalaciones necesarias
  - Instalaciones de vivienda



# Modelo de Vulnerabilidad en ANP

Municipios con territorios en TEZ



TEZ = "Tsunami Evacuation Zone"



# Fuentes de información para el modelo

<b>Factores</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Recursos o Fuentes</b>
<b>Población</b>	Total	US Census Bureau (2010)
	TEZ	US Census Bureau (2010) & Red Sismica de PR
	Edad Media	US Census Bureau (2010)
	Tamaño de Familia	US Census Bureau (2010)
	Nivel de pobreza	US Census Bureau (2010)
	Ingreso mediano por habitante	US Census Bureau (2010)
	Educación menos de grado 12	US Census Bureau (2010)
	Educación mas de grado 12	US Census Bureau (2010)
	Turistas	Compañía de Turismo de Puerto Rico Compañía de Parques Nacionales
	Mujeres Jefas de Familia	US Census Bureau (2010)
	Menores de 5 Años	US Census Bureau (2010)
	Mayores de 65 Años	US Census Bureau (2010)
	Discapacitados	American Community Survey

# Fuentes de información para el modelo

<b>Factores</b>	<b>Variables</b>	<b>Recursos o Fuentes</b>
<b>Uso de terrenos</b>	Zona no urbana	Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico (2006) & Red Sismica de PR
	Zona urbana	Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico (2006) & Red Sismica de PR

<b>Factor</b>	<b>Variables</b>	<b>Recursos o Fuentes</b>
<b>Economía</b>	Ingresos anuales de ventas totales	Departamento de Hacienda
	Salarios anuales	Departamento del Trabajo
	Planillas de individuos	Departamento de Hacienda

# Fuentes de información para el modelo

<b>Factores</b>	<b>Variables</b>	<b>Recursos o Fuentes</b>
<b>Instalaciones</b>	Casas rentadas en uso	US Census Bureau (2010)
	Residencia propia	US Census Bureau (2010)
	Vivienda recreacional	US Census Bureau (2010)
	Instalaciones críticas	Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres
	Instalaciones necesarias	Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres
	Instalaciones de uso público	Compañía de Parques Nacionales de Puerto Rico, Agencia Estatal para el Manejo de Emergencias y Administración de Desastres



# Trabajo Futuro

- Desarrollar índice de vulnerabilidad locales.
  - Para una falla en particular, identificar los municipios afectados y como priorizar las asignación de recursos entre ellos.
- Ampliar y detallar las variables del sector económico que se vería afectado por el impacto de un tsunami en la isla .
  - Capacidad de recuperación
- Desarrollar un modelo más exhaustivo para medir turismo.
- Cuantificar el impacto en la agricultura de la isla.
- Considerar variables que reducen la vulnerabilidad de los municipios.
  - Ejemplo: Programa Tsunami Ready

# Preguntas



**Juan G. Ayala** – Estudiante Graduado  
Departamento de Ingeniería Industrial UPRM  
[juan.ayala1@upr.edu](mailto:juan.ayala1@upr.edu)

**Dra. Saylisse Dávila** – Investigadora Principal  
Departamento de Ingeniería Industrial UPRM  
[saylisse.davila@upr.edu](mailto:saylisse.davila@upr.edu)

**Roy Ruiz Vélez**– Auxiliar de Investigaciones  
Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR) e  
Instituto de Recursos de Agua (PRWRERI) UPRM  
[roy.ruiz1@upr.edu](mailto:roy.ruiz1@upr.edu)



# Vulnerabilidad

- Vulnerabilidad =  $\frac{\text{Exposición} \times \text{Sensitividad}}{\text{Capacidad}}$

¿Qué bienes son expuestos?

¿Cuán sensitivos son los bienes expuestos?

¿Pueden lidiar con los impactos?

NOTA: Exposición a un riesgo combinado con sensibilidad e incapacidad para mitigar, adaptarse o recuperarse ante un riesgo natural y sus posibles daños aumenta la vulnerabilidad.



# Modelo “Analytic Network Process”

- ¿Por qué seleccionamos ANP?
  - Método orientado a la toma de decisiones.
  - Generalización más robusta del método “Analytic Hierarchy Process” o (AHP)
  - Permite modelar dos características importantes en nuestros datos:
    - Jerarquía
    - Dependencia
- El modelo evalúa y considera estas dependencias a través de una serie de comparaciones pareadas que le permiten calcular los pesos o importancia de las variables.
  - Encuestas a expertos en la materia .
- Estos pesos o importancias son los que a su vez conformaran el índice final de vulnerabilidad.

# Presunciones de Modelo

- Todas las variables están uniformemente distribuidas en las zonas urbanas del municipio.
- La variable *Otros* es la diferencia entre la población en territorio de evacuación de tsunami y las demás variables de ese nivel.
- Todos los negocios y corporaciones rinden contribuciones sobre ventas locales y de exportación.
- Todas las personas en capacidad de rendir planillas lo hacen.



# Comparaciones Pareadas y Cuestionario

- Se desarrolló un cuestionario en línea, el cuál recogerá insumo de profesionales de manejo de emergencia así como otros expertos en el tema de tsunamis.
- Dado que un cuestionario para todo el modelo sería demasiado extenso y tedioso se decidió utilizar dos métodos para la reducción y simplificación del mismo.
  - Alrededor de 500 comparaciones pareadas.

# Método de Reducción 1

- Este método solo pregunta cuán importante cree usted que es cierta variable para describir la vulnerabilidad de un municipio ante la eventualidad de un tsunami.
  - Escala Likert: 1 - 10
- Simplifica comparaciones difíciles.
- Reduce la cantidad de preguntas a solo una pregunta por cada variable o factor en el modelo.

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Equally preferred
3	Moderate Importance	Weak preference
5	Strong Importance	Strong preference
7	Very strong Importance	Demonstrated preference
9	Extreme Importance	Absolute preference
2,4,6,8	For comparisons between the above values	Interpolation of a compromised judgment
Reciprocals Of Intensities	Activity <i>i</i> when compared to activity <i>j</i> , then <i>j</i> has the reciprocal value when compared with <i>i</i>	A comparison mandated by choosing the smaller unit as the unit to estimate the larger one as a multiple of that unit



# Método de Reducción 1

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & R_i = R_j \\ \frac{(\max(R_i, R_j) - \min(R_i, R_j))}{\text{rango} - 1} + 0.0625 & R_i > R_j \\ 1 - \left( \frac{(\max(R_i, R_j) - \min(R_i, R_j))}{\text{rango} - 1} + 0.0625 \right) & R_i < R_j \end{cases}$$

$D_{ij}$	$P_{ij}$
0	1
0-0.125	2
0.125-0.25	3
0.25-0.375	4
0.375-0.50	5
0.50-0.625	6
0.625-0.75	7
0.75-0.875	8
0.875	9

