

# El Cambio Climático y la Evaluación de la Vulnerabilidad de las Infraestructuras

*Ing. Freddy Bolaños C.*

**CFIA – Presentación del Protocolo de Vulnerabilidad de la  
Infraestructura ante el Cambio Climático**

**Proyectos Piloto – Sistema de recolección,  
acondicionamiento y disposición final de aguas residuales  
de la ciudad de Limón / Puentes en Honduras**

**Santiago, Chile**



# Antecedentes

- Años 90: CFIA e Ingenieros Canadá acreditación de programas universitarios
- Año 2000: Gobierno Canadá/Ingenieros Canadá - herramientas para enfrentar Cambio Climático
- Año 2006 – 2010: Ingenieros Canadá – Comité ambiente FMOI / CFIA – presidencia UPADI
- 2010 - 2011: Primer proyecto aplicación PIEVC fuera de Canadá (Limón, Costa Rica) [Video](#)
- 2011: Ingenieros Canadá – CFIA firman convenio para la promoción y apoyo mutuo para aplicación del PIEVC
- 2012: Proyecto aplicación PIEVC de manera conjunta CFIA, Ingenieros Canadá y el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras.



# Definición de infraestructura

El protocolo del CVIIP define infraestructura como:

- Edificaciones, sistemas y/o recursos
- Operados por entes públicos y/o entes privados o no-gubernamentales
- Para el beneficio de la colectividad pública
- Generan bienestar en términos de salud, seguridad, aspectos culturales y económicos
- Brindan servicio a una región o un grupo de residentes de un país



# La sociedad depende de sistemas interconectados de infraestructura

**Dependencia pública en sistemas de infraestructura tales como:**

- Viviendas y edificaciones
- Sistemas potables y sanitarios
- Rellenos sanitarios y transformación de residuos
- Edificaciones de recreación
- Edificaciones industriales
- Generación, transmisión y distribución eléctrica
- Redes de transporte
- Redes de comunicación
- Hospitales



# El cambio climático representa amenaza adicional a los sistemas de infraestructura

- Códigos de diseño y estándares dependen en los registros climáticos regionales y/o locales históricos para definir las condiciones de operación de un determinado diseño
  - Diseño para un evento con periodo de retorno de 1 en 100 años
  - Históricos representan un enfoque prudente de diseño



# El cambio climático representa amenaza adicional a los sistemas de infraestructura

- Cuestionamientos
  - Si el histórico de clima no representa lo que los diseños van a enfrentar .....
  - Un evento que, de acuerdo al histórico, se da 1 vez en 100 años pero se experimenta recientemente que su ocurrencia es de 3 en 10 años
- Si el clima futuro contiene un rango más amplio de extremos climáticos .....
- Un evento que se esta dando 1 vez en 100 años cuya magnitud es mayor a lo que se ha experimentado a la fecha



# Efectos ambientales generados por el calentamiento global

- Calentamiento de océanos
  - Aumento de nivel del mar
  - Aumento de energía calórica
- Aumento de energía calórica en la atmósfera
  - Aumento de temperatura promedio
  - Aumento en la frecuencia y severidad de precipitaciones con alta intensidad
  - Aumento en la frecuencia y severidad de sequías



# Vulnerabilidad de la infraestructura

“La incapacidad de la infraestructura pública para absorber los efectos negativos y beneficiarse de los efectos positivos de los cambios en las condiciones climáticas utilizadas para diseñar y operar la infraestructura.”

La vulnerabilidad está en función de:

- El **carácter, magnitud y velocidad de cambio de las condiciones climáticas** a las cuales se prevé que la infraestructura estará expuesta.
- Las **sensibilidades de la infraestructura frente a los cambios**, en términos de consecuencias positivas o negativas de los cambios en las condiciones climáticas imperantes.
- **Capacidad intrínseca de la infraestructura** para absorber cualquier consecuencia negativa neta de los cambios previstos en las condiciones climáticas.

⇒ Por consiguiente, la evaluación de la vulnerabilidad requerirá la evaluación de estos tres puntos mencionados.



# Tres principios que son cuestionados por el cambio climático:

## Enfoque tradicional

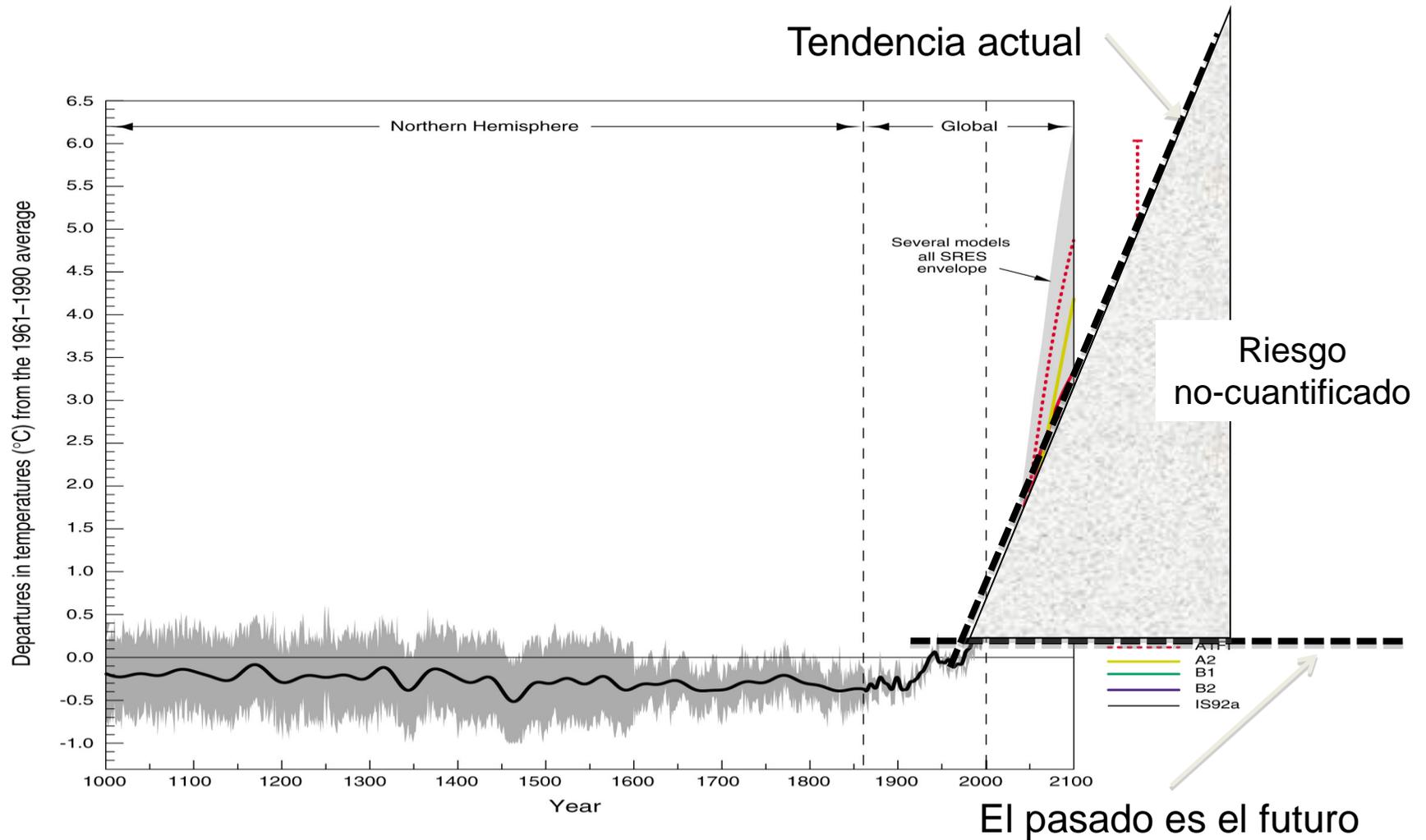
- El pasado predice el futuro
- Los principios científicos siempre se aplican
- Los problemas pueden ser resueltos aplicando el razonamiento lógico

## Cambio climático

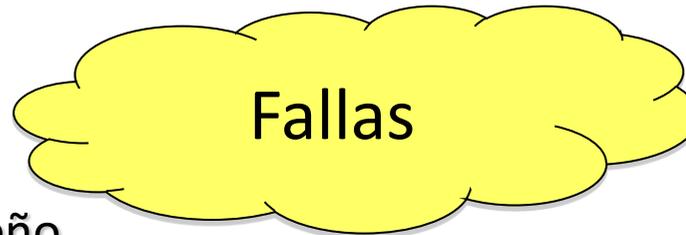
- El pasado NO ES el futuro.
- Los principios científicos se deben aplicar en su propio contexto.
- La solución de problemas aplicando la lógica sólo funciona cuando nuestros supuestos son correctos.



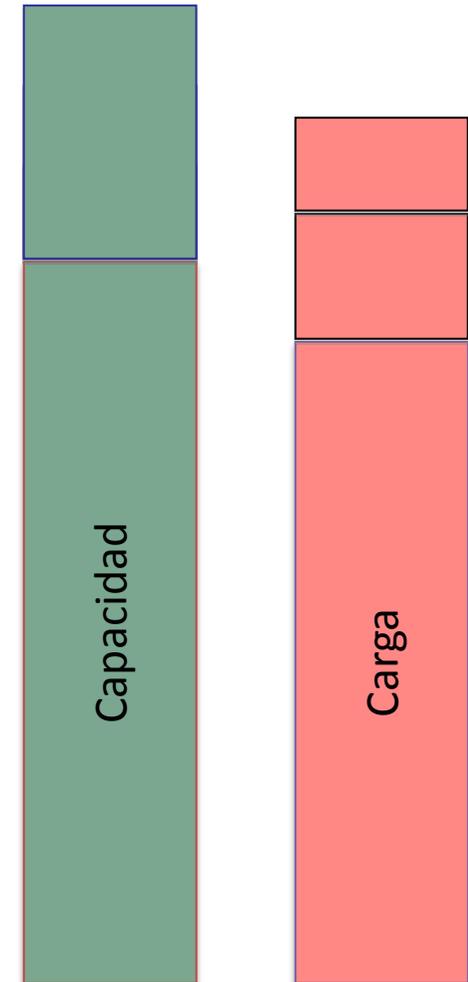
# El pasado NO ES el futuro



# ¿Cómo cambios originan fallas catastróficas?



- Capacidad del diseño
- Factor de seguridad
- Impacto de la antigüedad en la estructura
- Impacto de una alteración climática imprevista
- Carga del diseño
- Cambio de uso con el tiempo
  - Por ejemplo, debido al crecimiento demográfico
- Evento climático severo

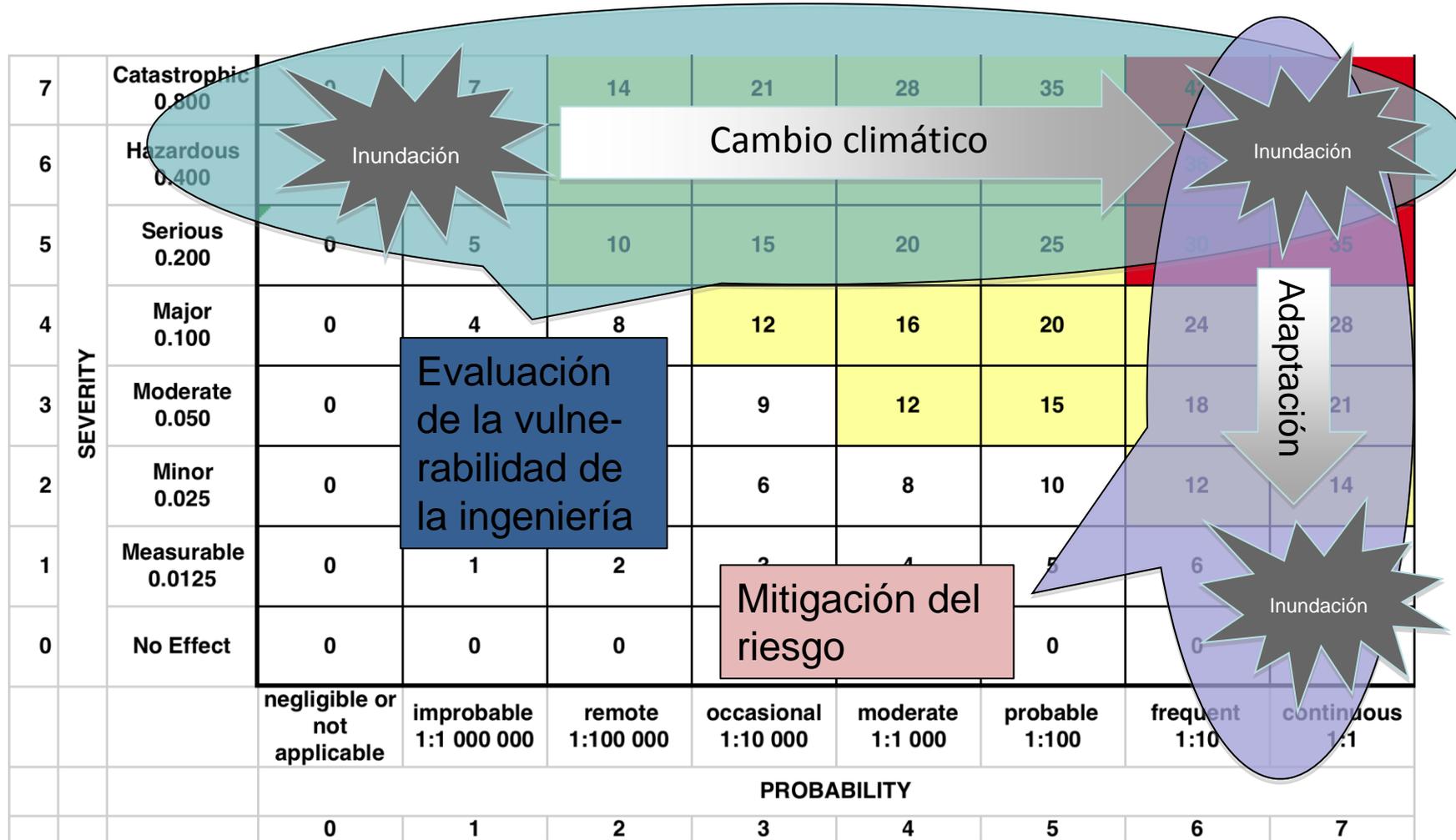


# ¿Cómo podemos evaluar vulnerabilidad y la capacidad extra?

- El Protocolo del CVIIP conduce a los profesionales a través de un proceso formal y documentado de identificación de vulnerabilidades y de capacidad extra.
- Aplicación de evaluación del riesgo:
  - Para un determinado evento
  - Riesgo (R) = Probabilidad (P) x Gravedad (S)



# Evaluación de la vulnerabilidad y mitigación del riesgo



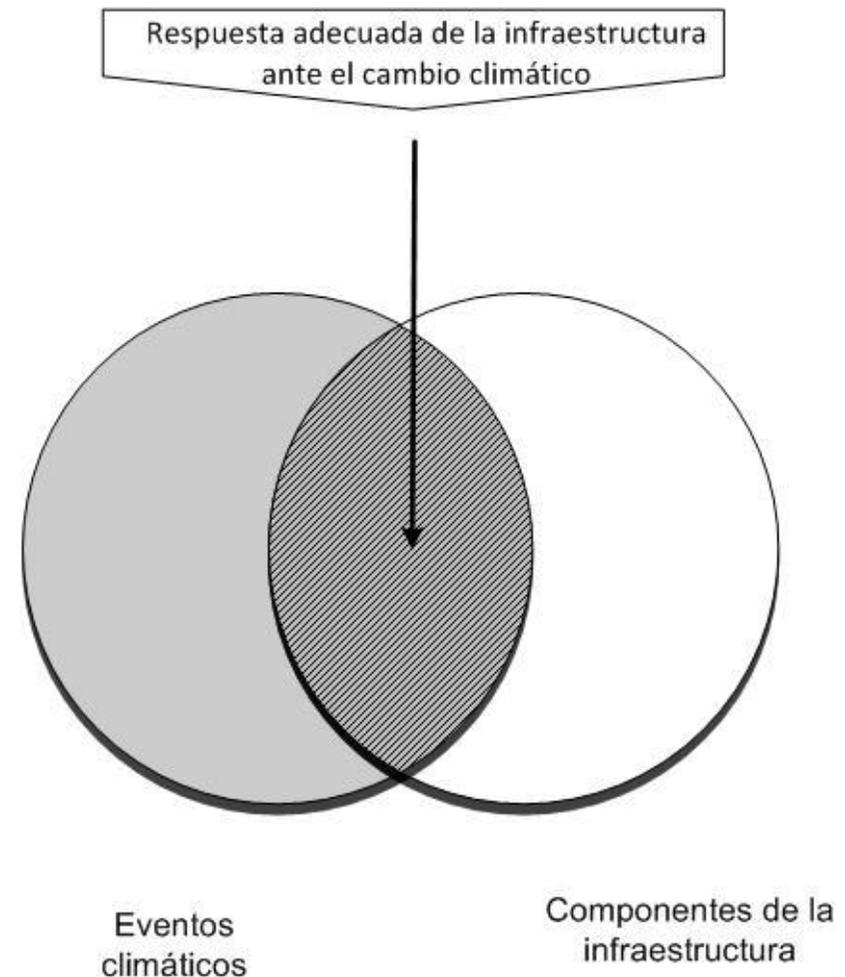
# Actividades clave para comprender y minimizar los riesgos climáticos para la infraestructura

- Ganar comprensión del clima
  - Comprender nuevas vulnerabilidades
  - Priorizar los riesgos
  - Minimizar los riesgos
- 
- La combinación de estas actividades brindan elementos clave para el desarrollo del análisis de riesgo climático para infraestructura y el plan de mitigación de riesgo

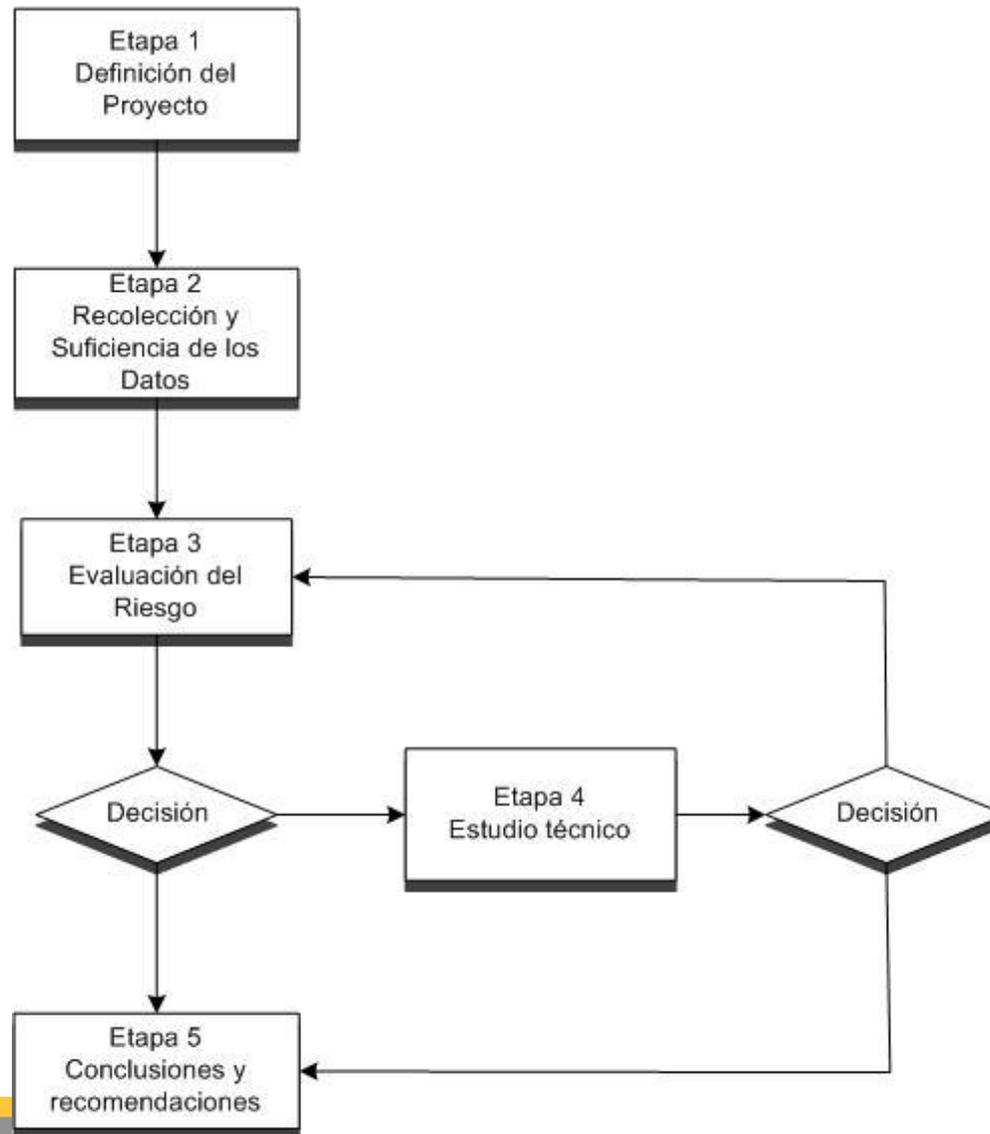


# Principios del Protocolo del CVIIP

- El Protocolo del CVIIP es un proceso constituido por etapas en las que se evalúa los impactos del cambio climático en la infraestructura.
- Objetivo:
  - Ayudar a los propietarios y operadores de las infraestructuras a incorporar de manera efectiva la adaptación al cambio climático en el diseño, desarrollo y toma de decisiones.



# Proceso de cinco etapas



# Beneficios de aplicar la Evaluación de Riesgo Climático para la Infraestructura

- Identifica la naturaleza y severidad de los riesgos
- Identifica las áreas en donde se requiere de un análisis profundo de ingeniería
- Brinda una rápida identificación de las vulnerabilidades obvias
- Enfoque estructurado y documentado (asegura consistencia y trazabilidad)
- Define ajustes al diseño, la operación y el mantenimiento
- Tiene versatilidad de aplicación
- Permite revisión de códigos, estándares y prácticas en ingeniería.



# Proyecto Piloto 1

## Sistema de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de la ciudad de Limón

### Componentes

- Sistema de recolección de aguas residuales
- Tratamiento (militamices)
- Disposición de efluente (emisario)



# Esquema proyecto

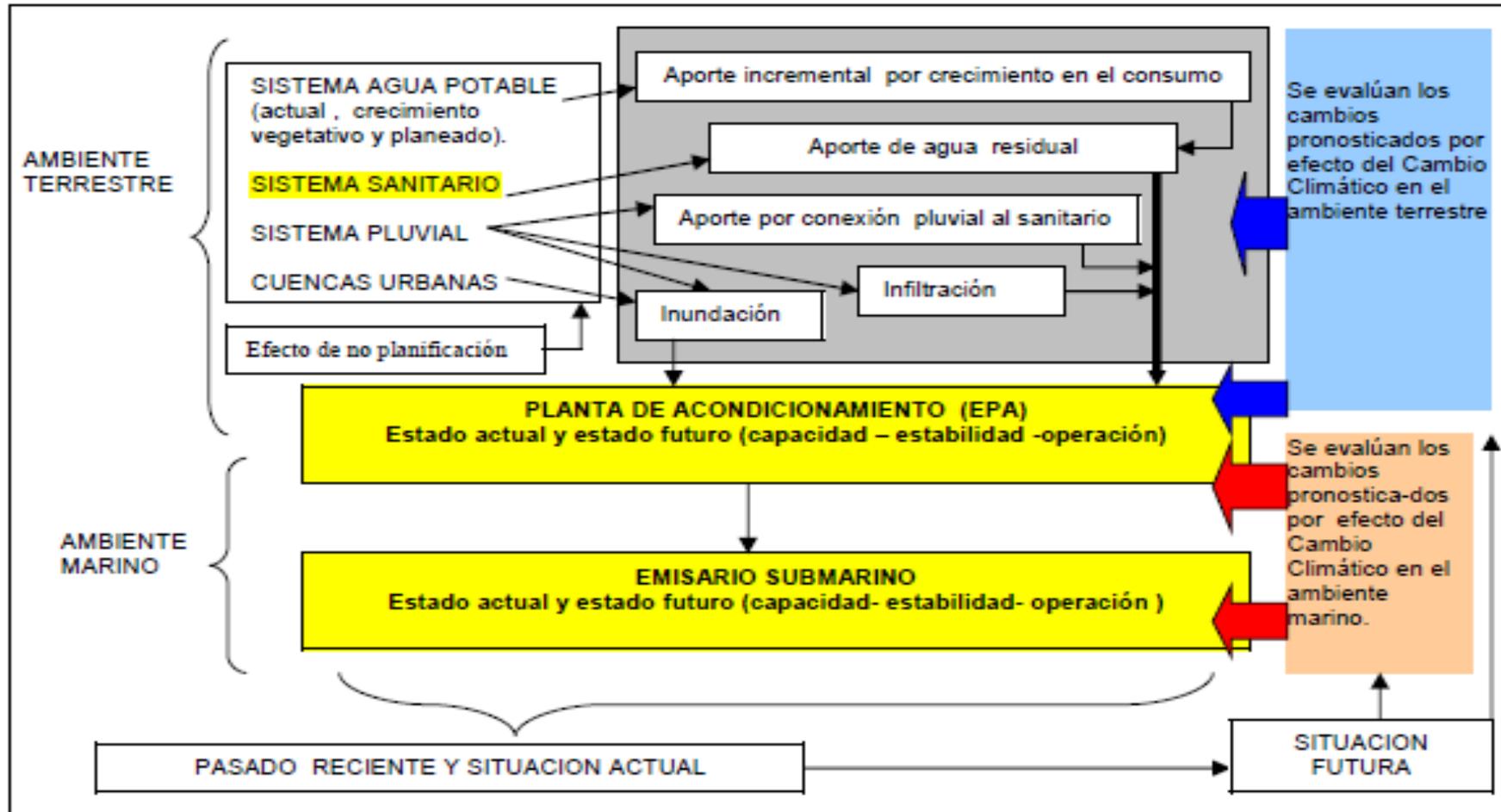


Figura 2. Esquema conceptual de los sistemas relacionados para evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático en la infraestructura seleccionada.



# Componentes de Infraestructura

## SISTEMA DE RECOLECCION DEL ALCANTARILLADO SANITARIO

- Sifones, Acometidas
- Redes, Subcolectores, Colectores
- Pozos de registro.

## ESTACIONES BOMBEO

- Mini estaciones costeras:
  - Clínica, Plaza, Iglesia, Católica, Nano, Roots.
- Mini estaciones terrestres:
  - Lomas, Siglo XXI
- Estaciones centrífugas:
  - Asis Esna
  - Cristobal Colón.
- Estaciones Sumergibles:
  - Pacuare 1
  - Pacuare 2

## (EPA) ESTACION DE PRECONDICIONAMIENTO

- Edificio
- Sistema ventilación
- Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión
- Militamices
- Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte
- Tanque cisterna
- Bombas
- Accesorios de la línea de bombeo
- Estructura de Rebalse
- Panel de control
- Planta eléctrica

## EMISARIO SUBMARINO

- Tuberías
- Difusores
- Válvula de cierre
- Anclajes

## MURO PROTECCION CONTRA OLEAJES

## PERSONAL

- En el sistema de recolección de aguas residuales
- En la EPA
- En emisario submarino

## EQUIPOS DE COMUNICACIÓN

- Teléfonos de la EPA
- Telemetría
- Radio
- Mensajería de texto por internet



# Parámetros Climáticos

Alta  
temperatura

Lluvia de  
inundación

Viento

Brisa Marina

Descarga  
atmosférica

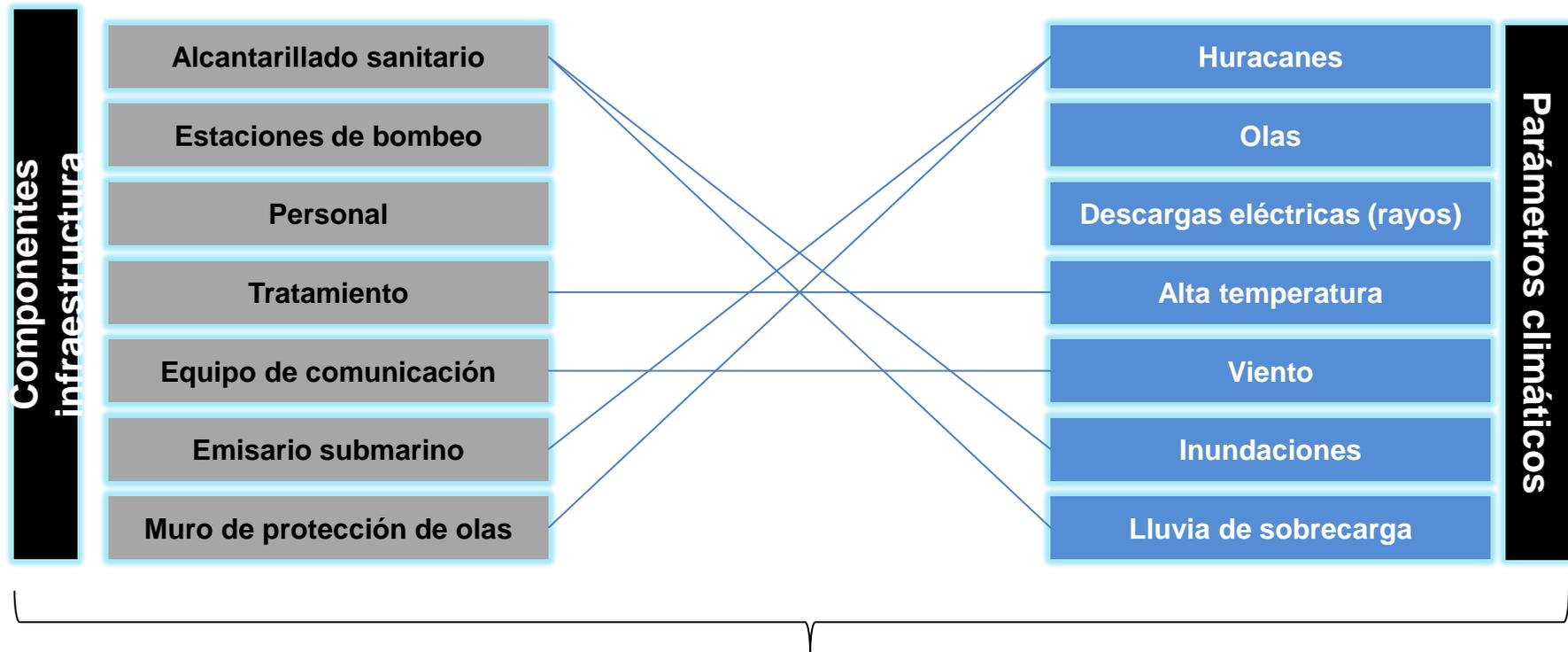
Lluvia de  
Sobrecarga

Huracanes

Oleaje



# Protocolo para Diagnóstico de Riesgo



$$\text{Probabilidad} \times \text{Gravedad} = \text{Riesgo}$$



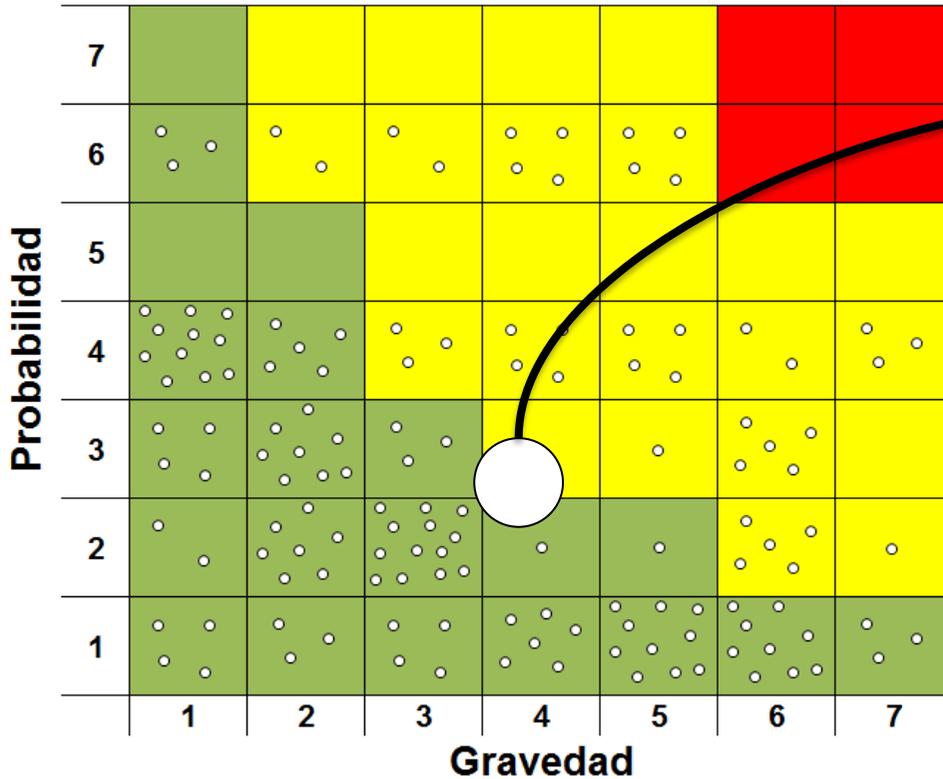
# Resumen - componentes con mayor riesgo

Componente de Infraestructura	Parámetro Climático	PA	PF	G	RA	RF
Asis Esna,	Lluvia de inundación	4	5	7	28	35
Pacuare 2		4	5	7	28	35
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión		4	5	7	28	35
Redes, Subcolectores, Colectores	Lluvia de sobrecarga	6	7	5	30	35
Mini estaciones terrestres		6	7	5	30	35
Asis Esna,		6	7	5	30	35
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	Lluvia de inundación	6	7	5	30	35
Redes, Subcolectores, Colectores		4	5	6	24	30
Mini estaciones costeras		4	5	6	24	30
Mini estaciones costeras	Lluvia de sobrecarga	6	7	4	24	28
Pacuare 1		6	7	4	24	28
Pacuare 2		6	7	4	24	28
Tanque cisterna		6	7	4	24	28
Mini estaciones terrestres	Lluvia de inundación	4	5	5	20	25
Pacuare 1		4	5	5	20	25
Tanque cisterna		4	5	5	20	25
Estructura de Rebalse		4	5	5	20	25
Planta eléctrica	Brisa Marina	3	3	7	21	21
Bombas	Lluvia de sobrecarga	6	7	3	18	21
Estructura de Rebalse		6	7	3	18	21
En la EPA	Alta temperatura	4	5	4	16	20

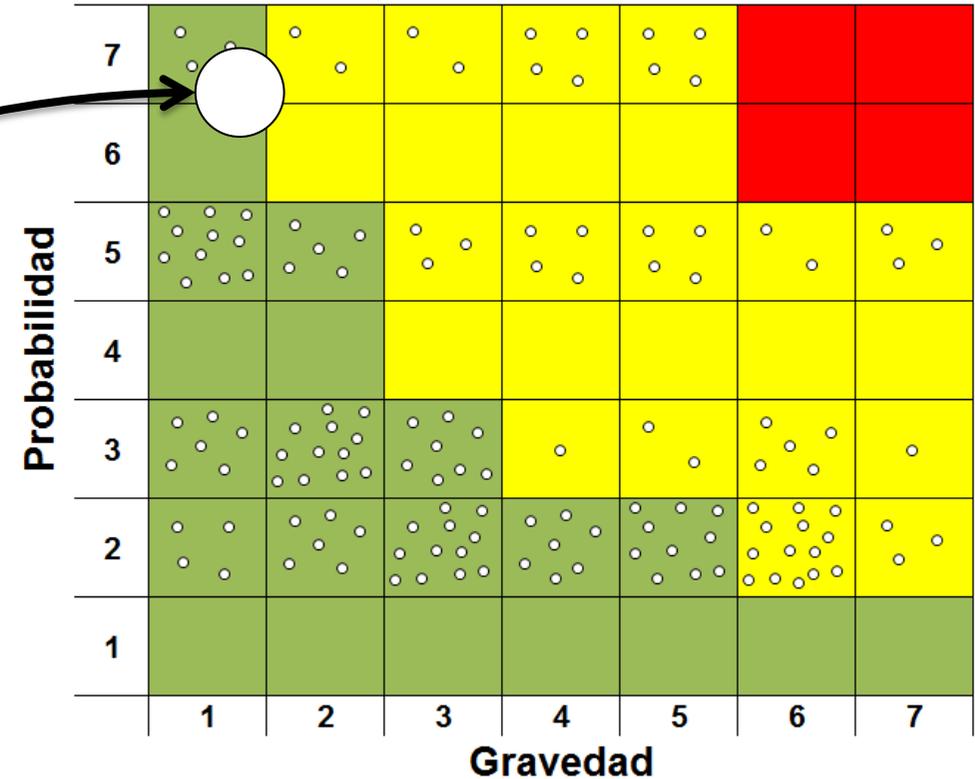


# Escenarios climáticos futuros de riesgo

Riesgos actuales



Riesgos futuros



- 32 % de componentes de infraestructura cambiaron de BAJO a MEDIANO riesgo



# Acciones de Adaptación

<b>Alta temp</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Rediseño de sistema de extracción de gases en planta de tratamiento.</li></ul>
<b>Descargas eléctricas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Aplicación de protección eléctrica para equipo.</li></ul>
<b>Lluvia de inundación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Instalación de estación de registro</li><li>•Reparación y limpieza de tragantes</li><li>•Análisis de ingeniería adicional</li></ul>
<b>Lluvia de sobrecarga</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Programa conjunto (Min Salud) para reducción de conexiones ilícitas</li><li>•Instalación de estación de registro</li></ul>
<b>Viento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Programa de determinación de CF en áreas no cubiertas por alcantarillado</li><li>•Verificación de velocidad/dirección de viento respecto a pluma de contaminación.</li></ul>



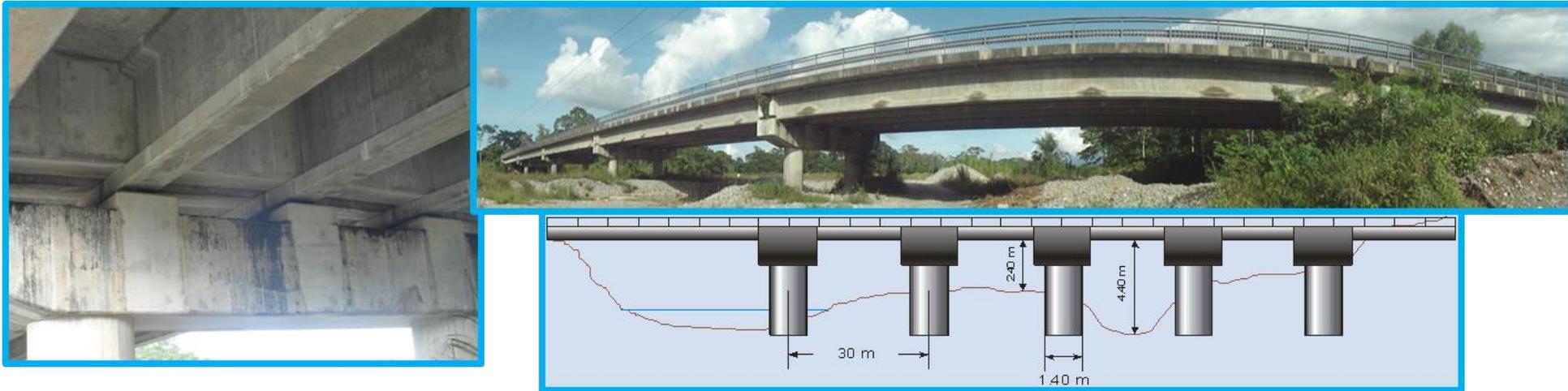
# Conclusiones generales

- El protocolo permitió definir prioridades para la adaptación y se constituye en una poderosa herramienta de planificación
- Se pudieron identificar áreas en donde es requerido un análisis de ingeniería necesarios para justificar mejoras en el sistema
- Necesidad de procedimientos estandarizados para reconstrucción
- No introducir la variable de adaptación = reconstruir la vulnerabilidad

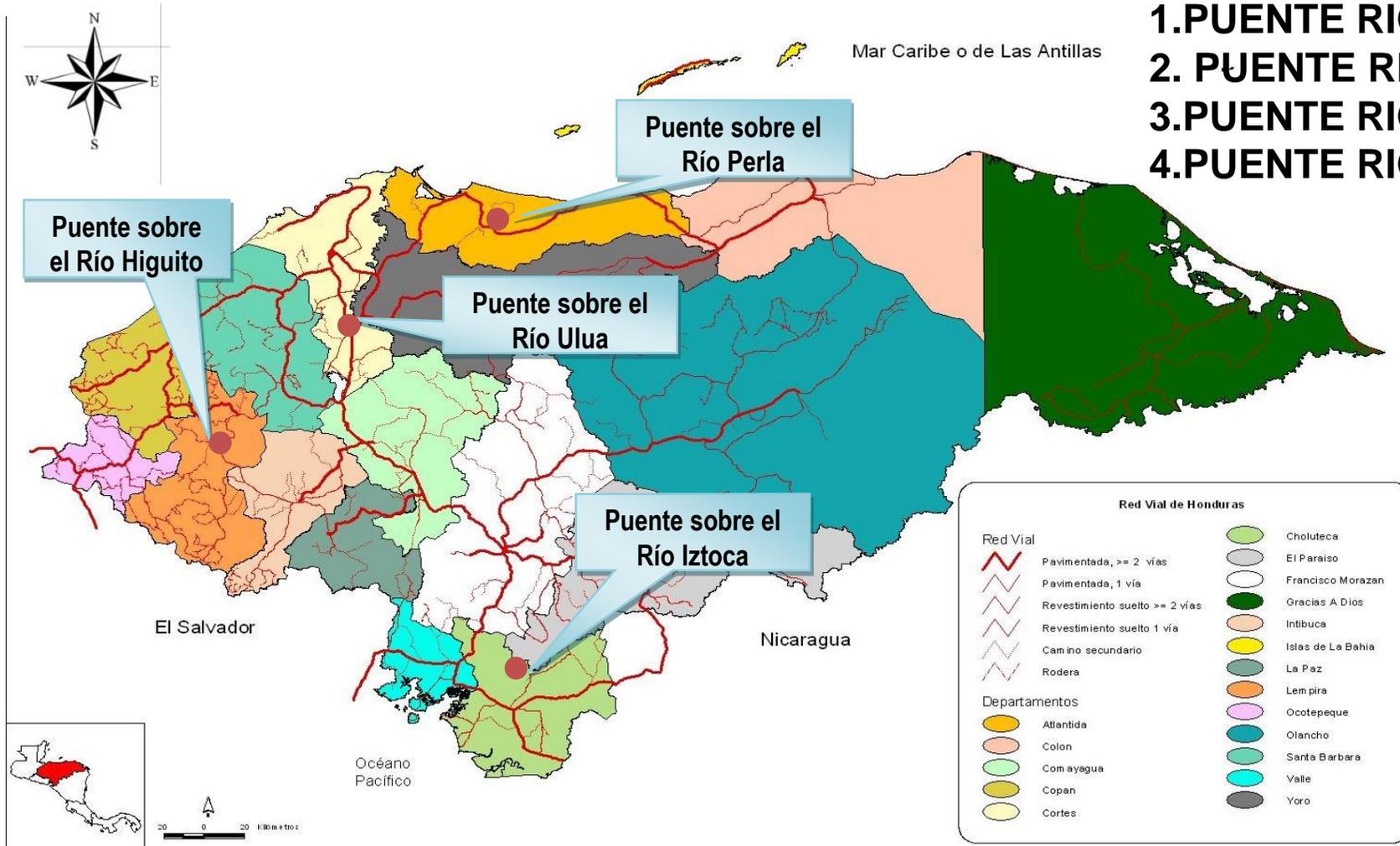


# Proyecto piloto 2

## Cuatro puentes sobre autopistas principales Honduras



# PUENTES SELECCIONADOS



1. PUENTE RIO PERLA
2. PUENTE RIO HIGUITO
3. PUENTE RIO ULUA
4. PUENTE RIO IZTOCA

 REPUBLICA DE HONDURAS	SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE Sistema Nacional de Información Ambiental <b>Sinia</b>	Descriptores Cartográficos 1.- Proyección : UTM 2.- Esfera : Zona 16 3.- Unidad de Medida : Metros 4.- Unidad de Medida : Metros	Conformación Digital 1.- Formato : Cobertura Actual Shape 2.- Tabla de Atributos : DDF 3.- Topología : ArcInfo (Línea) 4.- Coor. Horizontal : ArcInfo, Autocad, MicroStation 5.- Tolerancia Dado : 1.00 Metro 6.- Tolerancia Píxel : 1.00 Metro	Fuente Original : IGN Fecha Digital : Año de Digitalización : 2004 Sistema de Información Geográfica : ArcInfo (SIT)	Escala Original : 1:500,000 Derechos Reservados : Julio 2004
		<h2>Red Vial de Honduras</h2>			



# PUENTE SOBRE EL RIO ULÚA

## CORTES – CA 5

### CUENCA

**COBERTURA CUENCA:** Bosque variado y matorral

**DESEMBOCA EN :** Mar Caribe

**CUENCA :** Río Ulúa



- Año de construcción 1968
- tramo 7 luces de 30.00m
- 7 vigas prefabricadas por tramo.
- Los estribos se encuentran desprotegidos a la erosión.

### GEOLOGIA GEOTECNIA

**UNIDAD GEOLOGICA**

Suelos cuaternarios recientes.



# Componentes evaluados

## Estructuras

- **Superestructura:**
  - ✓ Posición del puente
  - ✓ Losa de rodadura y carpeta
  - ✓ Vigas & apoyos
  - ✓ Diafragmas
- **Sub estructura:**
  - ✓ Pilas
  - ✓ Estribos y aletas
  - ✓ Cimentación
- **Otros componentes**
  - ✓ Aproximaciones .
  - ✓ Sistema de drenaje
  - ✓ Señalización Vertical

## Hidrología e hidráulica

- **Hidrología**
  - ✓ Estado/condiciones de la cuenca
  - ✓ Unidades hidrológicas
- **Hidráulica**
  - ✓ Tipo de río (joven, adulto)
  - ✓ Planicies de inundación
  - ✓ Pendientes predominantes
  - ✓ Socavación /Sedimentación
  - ✓ Zonas de Deslizamiento
  - ✓ Rugosidad del cauce



# Componentes evaluados

## Geología y geotécnia

- **Geología:**

- ✓ Ubicación de fallas
- ✓ Morfología
- ✓ Unidades geológicas

- **Geotecnia:**

- ✓ Clasificación del suelo
- ✓ Propiedades del suelo ( $\phi$ ,  $c$ ,  $\gamma$ )
- ✓ Capacidad soportante del suelo
- ✓ Asentamiento

## Aspectos climatológicos

- ✓ Tormentas Tropicales (mm lluvia/5 días)
- ✓ Vientos (Velocidad :64.4 a 118 Km/hr)
- ✓ Crecidas instantáneas (mm lluvia/1 día)
- ✓ Temperatura (40 C )
- ✓ Huracanes (Velocidad > 118 Km/hr.)
- ✓ Evento MITCH (1 evento c/30 años)
- ✓ Empuje Frío



# ASIGNAR PROBABILIDAD Y SEVERIDAD, DETERMINAR EL RIESGO (PRESENTE Y FUTURO)

## Tabla de Evaluación

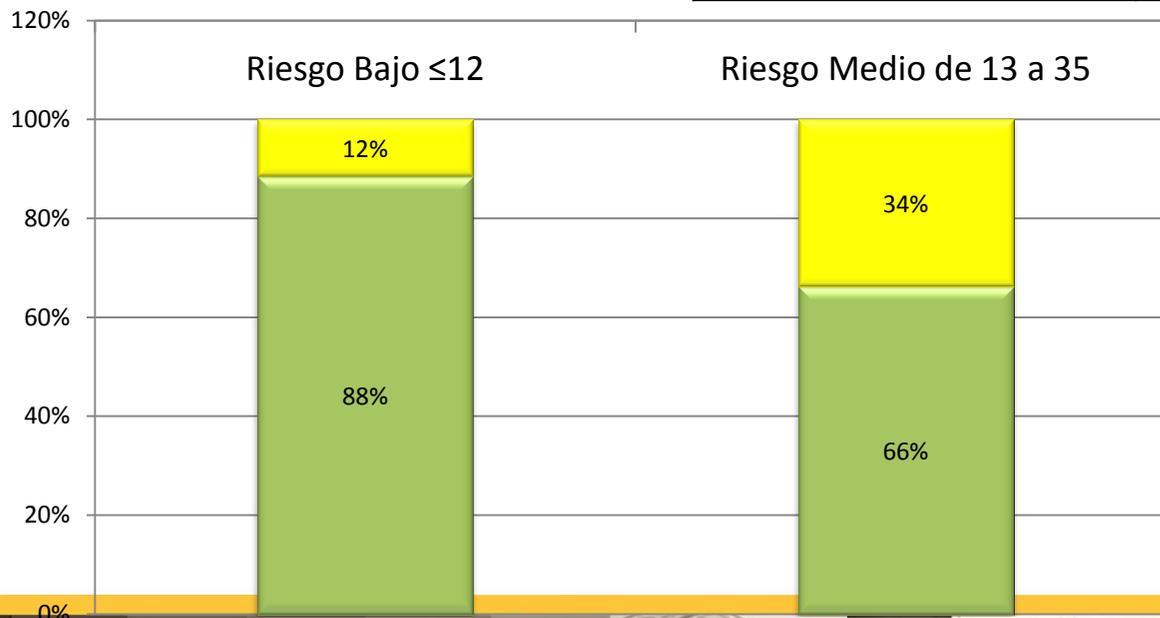
COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA		Tormentas Tropicales				Fenómenos extremos (huracanes)				Vientos			
		Intensidad de lluvia de 800 mm / 5 Dias 1 evento en 10 años				Velocidad de Viento Vv >117.6 km/hr 11 eventos en 100 años				Vv > 117.76 km/hr 64.4 km/hr			
H		S/N	P	S	R	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R
E	ESTRUCTURA:	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R	S/N	P	S	R
	<b>HIDROLOGÍA E HIDRAULICA</b>												
	<b>Superestructura:</b>												
E.1.1	Posición del puente	N				N				N			
E.1.2	Losa de rodadura	S	3	2	6	S	3	2	6	N			
E.1.3	Vigas	S	3	5	15	S	3	5	15	N			
E.1.4	Diafragmas	S	3	5	15	S	3	5	15	N			
E.1.5	Apoyos	S	3	2	6	S	3	2	6	N			
E.1.6	Pretiles	S	3	2	6	S	3	2	6	N			
E.1.7	Carpeta Asfaltica de rodadura	S	3	2	6	S	3	2	6	N			
E.1.8	Aproximaciones	S	3	5	15	S	3	5	15	N			
E.1.9	Sistema de drenaje	S	3	4	12	S	3	4	12	N			
E.1.10	Señalización Vertical	N				N				N			
	<b>Sub estructura:</b>												
E.2.1	Pilas	S	3	4	12	S	3	4	12	N			
E.2.2	Estribos	S	3	4	12	S	3	4	12	N			
E.2.3	Aletas del estribo	S	3	4	12	S	3	4	12	N			
E.2.4	Cimentación	S	3	2	6	S	3	2	6	N			
G	<b>GEOLOGÍA Y GEOTECNIA:</b>	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R	S/N (Y/N)	P	S (S)	R



# RESULTADOS DE LA EVALUACION

## Distribución de Riesgo Actual y Futuro

Umbrales de Riesgo			Actual	Futuro	%	%
< 12	Riesgo Bajo <13	Se descarta para análisis posterior	367	275	88%	66%
12 a 35	Riesgo Medio de 13 a 35	Se conserva para análisis posterior	48	140	12%	34%
> 35	Riesgo Alto >35	Ir directamente a recomendaciones	0	0	0	0
Total			415			



Actual Futuro



# CONCLUSIONES

- Luego de evaluar la vulnerabilidad de los cuatro puentes presentados, se concluye que varios de los componentes de cada uno de ellos, se encuentran en riesgo medio dentro del horizonte de vida asignado.
- El riesgo identificado en cada uno de los puentes requiere tomar acciones para mitigarlo.
- Recomendaciones Generales:
  - Base de datos
  - Programa y políticas de Mantenimiento



# PUENTE SOBRE EL RIO ULÚA

La estructura podría sufrir afectación marginal.

1.- Reconstrucción de la viga del extremo derecho del lado Sur del puente.



2. Proteger el talud expuesto a la crecida con "colchonetas" (antes de la temporada lluviosa)

3.- Instalar alcantarillas con un diámetro mínimo de 42" cada 10m.



# Aplicaciones del PIEVC

- Recursos hídricos y costeros (Portage, Canadá)
- Sistemas de drenaje y plantas de tratamiento (Vancouver y Nova Scotia, Canadá)
- Edificaciones de gobierno (territorios noroeste)
- Puentes (Edmonton, Canadá)
- Carreteras y estructuras asociadas (Sudbury y Columbia, Canadá)
- Represas y sistemas de distribución (Toronto, Canadá)
- Aeropuertos (Toronto, Canadá)



# Muchas gracias

*Colegio Federado de  
Ingenieros y de  
Arquitectos de Costa Rica*

**Ing. Freddy Bolaños C**  
**[E.mail: fbolanos@cfia.cr](mailto:fbolanos@cfia.cr)**  
**Ap. P: 2346-1000 Costa Rica**  
**Tel: (506)22023925**  
**[www.cfia.or.cr](http://www.cfia.or.cr)**

*Ingenieros Canadá*

**Ing. David Lapp**  
**[E.mail: david.lapp@engineerscanada.ca](mailto:david.lapp@engineerscanada.ca)**  
**Tel: 613.232.2474 ext. 240**  
**[www.engineerscanada.ca](http://www.engineerscanada.ca)**

