



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

# GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES EN LA INGENIERÍA CIVIL

William Vargas Monge, Ph.D.

Profesor Asociado EIC, Investigador LanammeUCR

Foro Institucional

Noviembre, 2018

# CONTENIDO

- ¿Qué es la gestión de riesgos? (Tema)
- ¿Por qué se debe hacer? (Justificación)
- ¿Para qué es? (Objetivos)
- ¿Cómo hacerla? (Enfoques y métodos)
- ¿Qué se ha hecho? (Resultados)

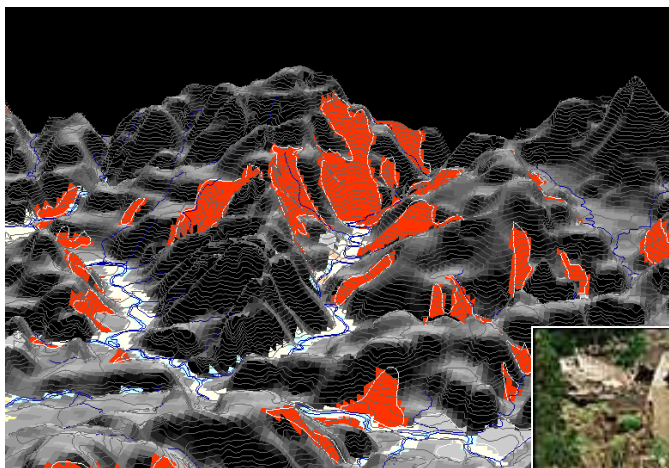
## ¿Qué es el riesgo?

- En el sentido más general, es la probabilidad de sufrir daños y/o pérdidas como resultado de una acción o actividad.
- Se puede prever, calcular y hasta sacar ventaja económica del riesgo o puede ser inadvertido, desconocido por completo y potencialmente fatal.
- Siempre existirán riesgos desconocidos en cualquier actividad.
- Los desastres “*naturales*” son la materialización de un riesgo pre-existente muy alto.

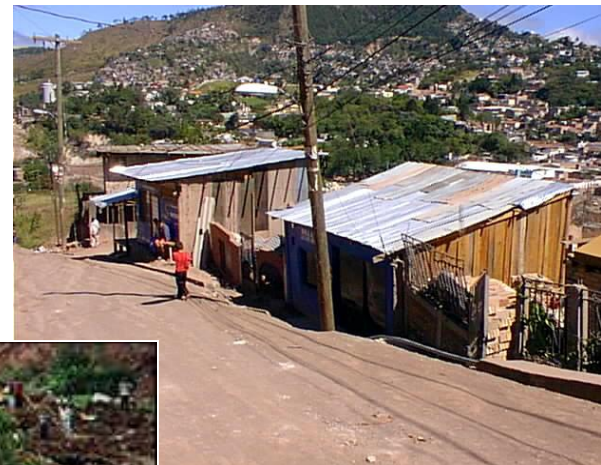
# Componentes del Riesgo

- **Riesgo = Amenaza \* Vulnerabilidad**
- **Amenaza:** es la ocurrencia de eventos naturales capaces de producir daños y/o pérdidas a la sociedad, en un espacio geográfico y un periodo de tiempo definidos.
- **Vulnerabilidad:** es la falta de capacidad de la infraestructura y la población de soportar adecuadamente los efectos de los fenómenos.
- **Sin vulnerabilidad no hay riesgo**

# Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo



**AMENAZA**



**VULNERABILIDAD**



**RIESGO = AMENAZA X VULNERABILIDAD**

# Gestión de Riesgos

## Definición

- Conjunto de estrategias, procedimientos y actividades destinadas a minimizar las pérdidas humanas y económicas causadas por las acciones y condiciones adversas del entorno natural, con el fin de garantizar el desarrollo sustentable de la sociedad.

## Estrategia fundamental

- No se pueden controlar o evitar las amenazas pero sí se puede reducir la vulnerabilidad.

# ¿Por qué hacer gestión de riesgos?

## Pobreza, desastres y subdesarrollo humano

- Los sectores más pobres de la sociedad no pueden pagar por su seguridad y son los más vulnerables, susceptibles al daño y las pérdidas.
- Las pérdidas en caso de desastre producen el rezago del desarrollo, la continuación de la dependencia y el endeudamiento económicos de los países.

## ¿Por qué hacer gestión de riesgos?

- El desarrollo económico debe producir el avance de la sociedad hacia una condición de plenitud de sus potenciales.
- El desarrollo implica la modificación del entorno natural y construcción de infraestructura necesaria para:
  - Explotación y aprovechamiento de recursos
  - Realización de actividades productivas
  - Habitación, convivencia, cultura y defensa
- El desarrollo está limitado por las características del entorno.



# ¿Por qué hacer gestión de riesgos?

## Riesgos naturales y desarrollo sustentable

- El desarrollo sin control impacta negativamente al ambiente y genera condiciones adversas e inestables a largo plazo.
- El desarrollo sustentable de la sociedad implica una relación adecuada con el entorno:
  - Mínimo impacto sobre el ambiente, recuperable a largo plazo
  - Seguridad de la población y de la infraestructura ante los procesos dinámicos naturales, geológicos y atmosféricos

# ¿Por qué hacer gestión de riesgos?

## Riesgos naturales y cambio climático

- El cambio climático es un proceso en marcha, generado por el incremento sostenido de la temperatura de la atmósfera y los mares desde el siglo pasado
  - Causas diversas, principalmente los gases liberados por la combustión de hidrocarburos
- Altera los procesos climáticos “normales” (conocidos y registrados) y produce consecuencias negativas en el ambiente
  - Pérdida de hábitats de especies y aumento del peligro de extinción
  - Eventos climáticos extremos más frecuentes (tormentas, huracanes, lluvias intensas y sequías)

# ¿Para qué hacer gestión de riesgos?

## Riesgos naturales e integración económica

- La globalización de la economía ofrece ventajas potenciales a los países pequeños, al abrir grandes mercados para sus productos
- La participación de Costa Rica en la integración económica mundial es un proceso necesario e inevitable
- La ventaja o competitividad del país dependerá, entre otros factores, de una infraestructura robusta y poco vulnerable a los eventos naturales destructivos

# ¿Para qué hacer gestión de riesgos?

## Objetivos de la gestión de riesgos

- Minimizar los efectos negativos de los fenómenos naturales en la infraestructura y la población
- Regular el uso adecuado del terreno según las amenazas naturales existentes
- Construir obras de control de los efectos de las amenazas
- Construir o modificar las obras civiles con la capacidad adecuada según las demandas del medio
- Mantener la funcionalidad de los sistemas vitales con mecanismos de respaldo y redundancia

# ¿Cómo hacer gestión de riesgos?

## Actividades (multidisciplinarias):

- **Evaluación:** conocimiento necesario del riesgo
- **Prevención:** pautas de comportamiento de bajo riesgo, individuales, grupales, sociales e institucionales
- **Preparación:** respaldo para la recuperación de las pérdidas en caso de eventos
- **Mitigación:** obras de infraestructura con diseño, construcción y mantenimiento adecuados

# ¿Cómo hacer gestión de riesgos?

## Gestión de riesgos en ingeniería civil:

- **Evaluación**
  - Amenazas y vulnerabilidades
- **Prevención**
  - Planificación del uso del espacio
  - Regulación del diseño y construcción
- **Mitigación**
  - Revisión, renovación y mejoramiento de obras existentes
  - Diseño y construcción adecuados de obras nuevas

# Reducción del riesgo

- **Reducción de la amenaza**
  - Control tecnológico y pronóstico de eventos adversos sólo es posible para algunas amenazas (inundación, erupción volcánica) y en forma limitada
- **Reducción de la vulnerabilidad**
  - Única forma viable y sostenible de reducir el riesgo asociado con la mayoría de las amenazas naturales
  - Medidas estructurales (ingeniería, tecnología)
  - Medidas no estructurales (preparación y regulación)

# Reducción de vulnerabilidad

## Medidas estructurales

- **Construcción y mejoramiento de la infraestructura para resistir adecuadamente, minimizar o detener los efectos adversos de un fenómeno natural**
  - Reubicación, reforzamiento y readecuación de estructuras vulnerables
  - Construcción de obras de protección, control y seguridad contra amenazas



# Reducción de vulnerabilidad

## Medidas no estructurales

- **Preparación para emergencias (corto plazo)**
  - Sistemas de alerta, planes de emergencia y de evacuación
- **Planificación y regulación (largo plazo)**
  - Códigos de diseño y construcción, microzonificación de amenazas, ordenamiento territorial, leyes
- **Controles efectivos del proceso de desarrollo**
  - Aseguramiento, impuestos
- **Educación y capacitación**

# Evaluación de riesgos

## Tipos de evaluación

- Catálogos de eventos destructivos y sus efectos
- Zonificación de las amenazas naturales
  - Susceptibilidad geográfica a eventos potencialmente destructivos
- Modelación del impacto de eventos
  - Escenarios de sismos históricos o hipotéticos
- Vulnerabilidad de la infraestructura existente
  - Combinaciones de evaluaciones de obras

# Amenaza

- Potencial destructivo de los eventos naturales
- Probabilidad de ocurrencia en el espacio y el tiempo de eventos destructivos
- $A = \text{Susceptibilidad} * \text{Magnitud} * \text{Frecuencia}$ 
  - *Susceptibilidad* = Probabilidad de ocurrencia geográfica o espacial
  - *Magnitud* = Severidad de los efectos
  - *Frecuencia* = Recurrencia en el tiempo

# Vulnerabilidad

- Insuficiencia de la infraestructura para soportar los eventos potencialmente destructivos
- Probabilidad de daño o pérdida (0 a 100%)
- Se debe evaluar para cada amenaza
- $V = \text{Exposición} / \text{Calidad}$ 
  - Exposición = Ubicación espacial inadecuada
  - Calidad = Capacidad de respuesta a las demandas de las amenazas..
    - Diseño, Construcción, Mantenimiento y Readequación

# Amenazas para la infraestructura vial

- Taludes de corte y terraplenes:
  - Pavimentos:
  - Puentes:
  - Alcantarillas:
- Inestabilidad por saturación (con la humedad de lluvia) y vibración (sismo)
  - Deformaciones y cambios volumétricos de suelos de subrasante, erosión y arrastre
  - Vibraciones sísmicas, socavación, flujos de lodos (avalanchas)
  - Caudales máximos (avenidas) y flujos de lodos

# Factores de vulnerabilidad de la infraestructura vial

## Técnicas de diseño y construcción deficientes

- Existen limitaciones económicas y legales para expropiaciones, ampliaciones y correcciones del “derecho de vía”
- Los caminos de carretas del siglo XIX se convirtieron en carreteras en el siglo XX sin mejorar el trazado
- No existe aún normativa para el diseño de obras viales, geotécnicas e hidráulicas, solamente existe para el diseño de puentes y muros.
- Se usan excesivamente o en forma inapropiada soluciones geotécnicas de bajo costo y baja dificultad constructiva
- Se permite el uso de materiales inadecuados en rellenos

# Factores de vulnerabilidad de la infraestructura vial

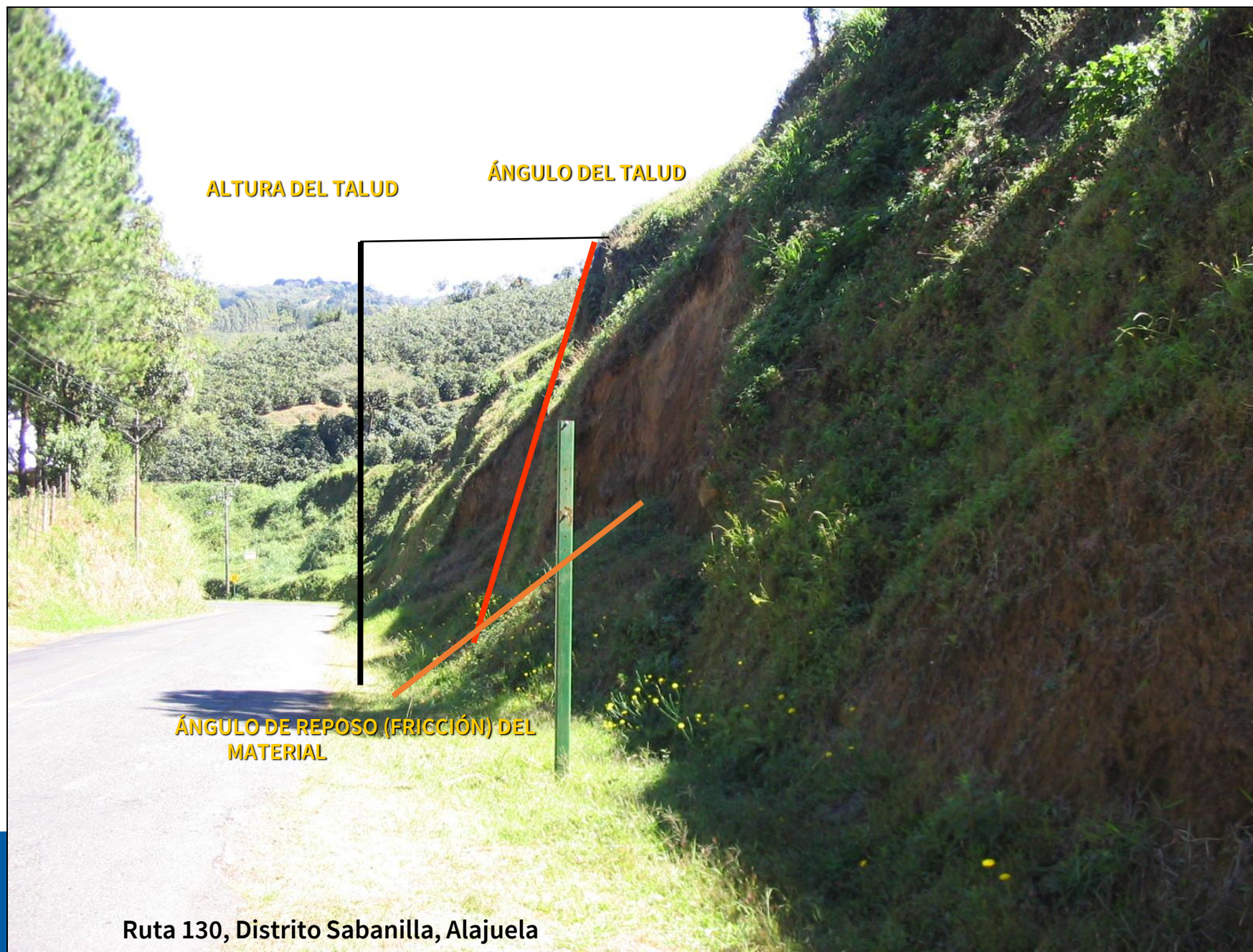
## Falta de mantenimiento adecuado

- Conservación vial está focalizada en pavimentos
- Se abandonan otras obras o componentes viales
  - Los drenajes superficiales (cunetas) sufren sedimentación, crecimiento de vegetación y pérdida de función
  - Los sub-drenajes y alcantarillas sufren sedimentación, obstrucción y pérdida de capacidad
  - Los taludes y rellenos se saturan con la humedad y fallan
  - Los puentes se deterioran y colapsan
- La vulnerabilidad es rentable para los contratistas

# Vulnerabilidad geotécnica de taludes de corte

- Los materiales que los conforman son usualmente suelos residuales de baja resistencia.
- La inclinación de los taludes supera el ángulo de estabilidad natural a largo plazo
- Los cortes son estables en condición no saturada por el aporte a la resistencia de la succión.
- Las fallas (deslizamientos) ocurren en caso de lluvia o de sismo:
  - Lluvia: el suelo se satura, aumenta la sobrecarga y disminuye la resistencia
  - Sismo: genera una carga horizontal adicional y disminución de la resistencia







**Zona de amenaza moderada**

**Deslizamiento en talud con altura  
entre 3 y 5 metros**

**Vulnerabilidad moderada**



**Zona de amenaza alta**

**Deslizamiento en talud con  
altura mayor a 10 metros**

**Vulnerabilidad muy alta**

# Vulnerabilidad de taludes de corte y rellenos (terraplenes):

- Resultante de las propiedades mecánicas pobres de los materiales, el diseño y/o construcción inadecuados y la falta de mantenimiento
- Directamente proporcional a la altura e inclinación del talud
- Inversamente proporcional a la resistencia del material
- Se atenúa o reduce con:
  - Obras de protección contra la infiltración y drenaje de la escorrentía superficial (cunetas y contracunetas)
  - Obras de estabilización (muros, etc.)

# Licuación del suelo de cimentación



Ruta Nacional 36, Terremoto de Telire-Limón, 1991  
(Laboratorio de Ingeniería Sísmica)

# Socavación, erosión y arrastre



Río Banano  
Ruta Nacional 36, 2002 (Getinsa)



Río Bananito

# Incapacidad hidráulica de alcantarillas



Ruta Nacional 34 (Costanera Sur), 2004 (Al Día)

# Vulnerabilidad de puentes

- Las fallas de los puentes ocurren como resultado de caudales extremos y sismos fuertes.
- Los caudales extremos pueden socavar la cimentación, destruir los accesos y arrastrar la super-estructura.
- Los sismos fuertes puede producir desplazamientos excesivos de la super-estructura y falla de la cimentación por licuación.



# Vulnerabilidad sísmica de puentes



Puente sobre el río Bananito, Terremoto de Telire-Limón, 1991  
(Laboratorio de Ingeniería Sísmica)

# Vulnerabilidad sísmica de puentes



Puente sobre el río La Estrella, Terremoto de Telire-Limón, 1991  
(Laboratorio de Ingeniería Sísmica)

# Vulnerabilidad hidráulica de puentes



Puente sobre el río Coto, Tormenta Nate, 2017 (CRHoy)

# Vulnerabilidad hidráulica de puentes



Puente sobre el río San Lorenzo, Onda Tropical # 41, 2018 (La Nación)

# Conclusiones

- La gestión de riesgos naturales de la infraestructura es un elemento fundamental del desarrollo sustentable de un país y su potencial éxito en la integración económica
- La ingeniería civil es una disciplina central en la gestión de riesgos naturales por encargarse del diseño de la infraestructura
- La evaluación de riesgos es una tarea compleja, facilitada mediante el uso de los SIG
- La reducción de vulnerabilidad es la única opción viable para la gestión del riesgo de la infraestructura existente
- Es necesario un enfoque integral del diseño de nuevas obras expuestas a amenazas múltiples

# Conclusiones

- El cambio climático plantea nuevos retos para el diseño de infraestructura y la necesidad urgente de evaluar la existente para determinar sus vulnerabilidades
- Las evaluaciones de vulnerabilidad realizadas por LanammeUCR permiten determinar los factores más importantes que la determinan y las estrategias aplicables para su reducción
- Las evaluaciones de vulnerabilidad son un insumo importante y necesario para la toma de decisiones adecuadas por parte de las autoridades del sector dado que el rol de LanammeUCR no es de ejecutor

**¡Gracias por su atención!**

[william.vargasmonge@ucr.ac.cr](mailto:william.vargasmonge@ucr.ac.cr)