

# Curso de Modelación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa

Metodologías del Servicio Geológico Colombiano

Guías 2016 y 2017

**Duración: 32 horas**

Modalidad teórico-práctica con enfoque aplicado

## 1 Justificación

Colombia, por su configuración topográfica, geológica y climática, presenta alta susceptibilidad a los movimientos en masa, fenómeno que constituye una de las principales amenazas naturales del territorio nacional. La ocurrencia de estos eventos ha generado pérdidas significativas de vidas humanas, daños a infraestructura y afectaciones económicas considerables.

En este contexto, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha desarrollado metodologías estandarizadas para la zonificación de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a diferentes escalas, constituyéndose en herramientas fundamentales para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial.

### **▲ Diferenciación Metodológica**

El curso aborda dos guías metodológicas complementarias con alcances distintos:

#### **Guía SGC 2017 (Escala 1:25.000 - Regional):**

- Zonificación de **susceptibilidad y amenaza**
- Métodos estadísticos bivariados y análisis multicriterio
- **NO incluye** evaluación de vulnerabilidad ni riesgo
- Aplicación: planificación territorial municipal y regional

#### **Guía SGC 2016 (Escala 1:5.000 - Local/Detallada):**

- Evaluación de **amenaza con factor de seguridad** (análisis geotécnico)
- **Evaluación de vulnerabilidad** física de elementos expuestos
- **Estimación del riesgo** integrando amenaza y vulnerabilidad
- Aplicación: proyectos de infraestructura y estudios urbanos detallados

La capacitación en ambas metodologías permite a los profesionales seleccionar y aplicar el enfoque más apropiado según la escala y objetivos del estudio, fortaleciendo las capacidades técnicas en el análisis, modelación y gestión de este tipo de amenazas.

## 2 Objetivos

---

### Objetivo General

#### Objetivo General

Capacitar a los participantes en la aplicación práctica de las metodologías del Servicio Geológico Colombiano para la zonificación de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escalas regional y local, mediante la integración de conocimientos teóricos, herramientas de análisis espacial, métodos geotécnicos y estudios de caso.

### Objetivos Específicos

1. **Comprender** los conceptos fundamentales, clasificación y factores que condicionan y detonan los movimientos en masa en el contexto colombiano.
2. **Diferenciar y aplicar** las metodologías del SGC para zonificación a:
  - Escala regional (1:25.000): susceptibilidad y amenaza con métodos estadísticos
  - Escala local (1:5.000): amenaza con factor de seguridad + vulnerabilidad + riesgo
3. **Aplicar técnicas** de recopilación, procesamiento y análisis de información temática (geología, geomorfología, suelos, coberturas, precipitación) según la escala de trabajo.
4. **Desarrollar habilidades** en el uso de SIG, métodos estadísticos y herramientas de modelación geotécnica para la generación de mapas.
5. **Implementar** el cálculo del factor de seguridad en ArcGIS usando ecuaciones de la guía SGC 2016 e integrando parámetros geotécnicos espacializados.
6. **Evaluar** la vulnerabilidad física de elementos expuestos y estimar el riesgo por movimientos en masa.
7. **Interpretar y validar** resultados de zonificación para su integración en instrumentos de planificación territorial y gestión del riesgo.

### 3 Temática Resumida

---

#### Estructura del Curso - 32 Horas

#### **PARTE I: FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS GENERALES (6 horas)**

**Módulo 1:** Fundamentos de Movimientos en Masa (4h)

**Módulo 2:** Marco Normativo y Diferenciación de Escalas (2h)

---

#### **PARTE II: METODOLOGÍA ESCALA REGIONAL - Guía SGC 2017 (14 horas)**

**Módulo 3:** Información Temática para Escala Regional (4h)

**Módulo 4:** Factores Detonantes y Análisis de Precipitación (3h)

**Módulo 5:** Modelación de Susceptibilidad - Escala Regional (4h)

**Módulo 6:** Zonificación de Amenaza - Escala Regional (3h)

---

#### **PARTE III: METODOLOGÍA ESCALA LOCAL - Guía SGC 2016 (10 horas)**

**Módulo 7:** Investigaciones Geotécnicas y Parámetros (3h)

**Módulo 8:** Análisis de Estabilidad y Factor de Seguridad (4h)

**Módulo 9:** Evaluación de Vulnerabilidad (2h)

**Módulo 10:** Estimación del Riesgo (1h)

---

#### **PARTE IV: INTEGRACIÓN Y APLICACIONES (2 horas)**

**Módulo 11:** Estudios de Caso y Aplicaciones Prácticas (2h)

## 4 Temática Detallada

---

### 4.1 PARTE I: FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS GENERALES

#### 4.1.1 Módulo 1: Fundamentos de Movimientos en Masa (4 horas)

##### Sesión 1.1: Conceptos Básicos y Definiciones (2 horas)

- Definición de movimientos en masa según el SGC
- Diferenciación clara entre: susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo
- Importancia de la zonificación en la gestión del riesgo
- Marco normativo colombiano (Ley 1523 de 2012)
- Antecedentes históricos de movimientos en masa en Colombia
- Impacto socioeconómico y ambiental
- Escalas de trabajo y su relación con los objetivos del estudio

##### Sesión 1.2: Clasificación de Movimientos en Masa (2 horas)

- Sistemas de clasificación internacional (Varnes, Hungr et al.)
- Clasificación adoptada por el SGC
- Tipos: caídas, volcamientos, deslizamientos, propagación lateral, flujos
- Características cinemáticas y morfológicas de cada tipo
- Velocidad, profundidad y tipo de material involucrado
- Identificación en campo e imágenes
- *Taller*: Identificación de tipos en fotografías e imágenes satelitales

#### 4.1.2 Módulo 2: Marco Normativo y Diferenciación de Escalas (2 horas)

##### Sesión 2.1: Marco Conceptual del SGC y Diferenciación de Guías (2 horas)

- **Guía SGC 2017 (Escala 1:25.000 - Regional):**
  - Objetivos: zonificación de susceptibilidad y amenaza
  - Metodología: análisis estadísticos bivariados
  - Nivel de detalle de información requerida
  - Aplicaciones: planificación territorial municipal y regional
  - **NO incluye:** vulnerabilidad ni riesgo
- **Guía SGC 2016 (Escala 1:5.000 - Local/Detallada):**
  - Objetivos: amenaza, vulnerabilidad y riesgo
  - Metodología: análisis geotécnico con factor de seguridad
  - Nivel de detalle: estudios geotécnicos específicos
  - Aplicaciones: proyectos de infraestructura, estudios urbanos
  - Incluye evaluación completa del riesgo

- Criterios para seleccionar metodología según el proyecto
- Principios del SGC: gradualidad, aplicabilidad y rigurosidad
- Complementariedad entre ambas guías

## 4.2 PARTE II: METODOLOGÍA ESCALA REGIONAL - Guía SGC 2017

### 4.2.1 Módulo 3: Información Temática para Escala Regional (4 horas)

#### Sesión 3.1: Información Geológica y Geomorfológica (2 horas)

##### ■ Información Geológica:

- Unidades geológicas superficiales (UGS)
- Litología y propiedades geomecánicas básicas
- Estructuras geológicas principales (fallas, pliegues)
- Grado de meteorización
- Fuentes: mapas geológicos SGC escala 1:100.000 y 1:25.000

##### ■ Análisis Geomorfológico:

- Ambientes morfogenéticos y morfoestructurales
- Geoformas asociadas a movimientos en masa
- Pendientes: cálculo y clasificación
- Curvatura de laderas (perfil, plano)
- Orientación de vertientes (aspecto)
- Modelos digitales: ALOS PALSAR (12.5m), SRTM (30m)

##### ■ Taller SIG: Generación de mapas derivados del DEM

#### Sesión 3.2: Suelos, Coberturas y Otros Factores (2 horas)

##### ■ Información de Suelos:

- Tipos de suelos según clasificación USDA
- Profundidad efectiva, textura y drenaje
- Fuentes: mapas de suelos IGAC

##### ■ Coberturas de la Tierra:

- Metodología Corine Land Cover adaptada
- Clasificación desde imágenes satelitales
- Influencia de la vegetación en la estabilidad

##### ■ Otros factores: Distancia a drenajes y vías

##### ■ Taller: Clasificación de coberturas y preparación de capas

### 4.2.2 Módulo 4: Factores Detonantes y Precipitación (3 horas)

#### Sesión 4.1: Análisis de Precipitación (3 horas)

##### ■ Factores detonantes: precipitación, sismos, actividad antrópica

##### ■ Análisis de precipitación:

- Fuentes: IDEAM, CHIRPs, productos satelitales
- Precipitación media anual y mensual

- Análisis de eventos extremos
  - Umbrales de precipitación antecedente
  - Interpolación espacial: IDW, Kriging
- **Inventario de movimientos:**
    - Importancia del inventario histórico
    - Métodos: campo, imágenes, reportes
    - Relación temporal precipitación-eventos
  - *Taller:* Análisis de precipitación y mapas de isoyetas

#### 4.2.3 Módulo 5: Modelación de Susceptibilidad - Escala Regional (4 horas)

##### Sesión 5.1: Métodos Estadísticos (2 horas)

- **Métodos según Guía SGC 2017:**
  - Métodos estadísticos bivariados (recomendado)
  - Análisis de frecuencia (Frequency Ratio)
  - Pesos de evidencia (Weights of Evidence)
- **Preparación de datos:**
  - Estandarización y reclasificación de variables
  - Variable dependiente: inventario
  - Variables independientes: factores condicionantes

##### Sesión 5.2: Aplicación Práctica (2 horas)

- Cálculo de pesos o frecuencias
- Integración mediante álgebra de mapas
- Generación del índice de susceptibilidad
- Reclasificación en categorías (baja, media y alta)
- *Taller SIG:* Mapa de susceptibilidad con análisis bivariado
- Validación básica

#### 4.2.4 Módulo 6: Zonificación de Amenaza - Escala Regional (3 horas)

##### Sesión 6.1: Metodología de Amenaza SGC 2017 (3 horas)

- **Concepto de amenaza:**
  - Diferencia entre susceptibilidad y amenaza
  - Amenaza = Susceptibilidad + Factores detonantes
  - Probabilidad espacial y temporal
- **Metodología de integración:**
  - Matriz de calificación del SGC

- Ponderación según criterio experto
- **Categorización:** Amenaza baja, media, alta
- **Limitaciones escala regional:**
  - No incluye factor de seguridad
  - No evalúa vulnerabilidad ni riesgo
  - Requiere estudios detallados para proyectos específicos
- *Taller:* Mapa de amenaza integrando susceptibilidad y detonantes

### 4.3 PARTE III: METODOLOGÍA ESCALA LOCAL - Guía SGC 2016

#### 4.3.1 Módulo 7: Investigaciones Geotécnicas (3 horas)

##### Sesión 7.1: Investigaciones Geotécnicas (3 horas)

- **Diferenciación metodológica:**
  - Guía 2016: enfoque cuantitativo con factor de seguridad
  - Requiere estudios geotécnicos detallados
  - Análisis determinístico de estabilidad
- **Métodos de investigación:**
  - Perforaciones y muestreo (SPT, muestras inalteradas)
  - Apiques y trincheras
  - Geofísica: tomografía eléctrica, sísmica
- **Ensayos de laboratorio:**
  - Clasificación (granulometría, límites de Atterberg)
  - Resistencia al corte (corte directo, triaxial)
  - Cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción ( $\phi$ )
  - Peso unitario y contenido de humedad
- **Modelo geotécnico:**
  - Perfil estratigráfico
  - Nivel freático
  - Parámetros geomecánicos por estrato
- *Taller:* Interpretación de ensayos geotécnicos

#### 4.3.2 Módulo 8: Análisis de Estabilidad y Factor de Seguridad (4 horas)

##### Sesión 8.1: Factor de Seguridad según SGC 2016 (2 horas)

- **Conceptos fundamentales:**
  - Factor de seguridad:  $FS = \text{Fuerzas resistentes} / \text{actuantes}$
  - Criterios:  $FS > 1.5$  (estable),  $FS < 1.0$  (inestable)
- **Modelo del talud infinito:**
  - Ecuación del FS según Guía SGC 2016
  - Aplicabilidad para análisis espacial
  - Permite análisis distribuido pixel a pixel
- **Parámetros requeridos:**
  - Cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción ( $\phi$ ), peso unitario ( $\gamma$ )
  - Profundidad del suelo ( $z$ ), pendiente ( $\beta$ ), nivel freático
- **Condiciones:** Estática, saturada, sísmica

- **Espacialización** de parámetros geotécnicos

### Sesión 8.2: Cálculo del FS en ArcGIS (2 horas)

- **Implementación en ArcGIS:**

- Preparación de mapas raster de entrada
- Uso de Raster Calculator para aplicar ecuación
- Cálculo para escenarios: estático, sísmico, saturado
- Validación con perfiles representativos

- **Categorización de amenaza:**

- Alta:  $FS < 1.2$ , Media:  $1.2 \leq FS < 1.5$ , Baja:  $FS \geq 1.5$

- **Generación de mapas:**

- Reclasificación del raster de FS
- Vectorización y delimitación de zonas
- Identificación de taludes críticos

- *Taller ArcGIS:* Cálculo FS con Raster Calculator

- Análisis de sensibilidad de parámetros

#### 4.3.3 Módulo 9: Evaluación de Vulnerabilidad (2 horas)

### Sesión 9.1: Vulnerabilidad Física (2 horas)

- **Concepto de vulnerabilidad:**

- Definición según Ley 1523 de 2012
- Enfoque del SGC: vulnerabilidad física

- **Elementos expuestos:**

- Edificaciones, vías, redes, población

- **Metodología SGC 2016:**

- Tipología estructural y estado
- Localización respecto a amenaza
- Matrices de calificación

- **Categorías:** Baja ( $< 0.3$ ), Media (0.3-0.6), Alta ( $> 0.6$ )

- *Taller:* Evaluación con fichas técnicas

#### 4.3.4 Módulo 10: Estimación del Riesgo (1 hora)

##### Sesión 10.1: Metodología de Riesgo (1 hora)

▪ **Concepto:**

- $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Valor expuesto}$

▪ **Integración:**

- Superposición de mapas
- Matrices de doble entrada
- Cálculo de índices de riesgo

▪ **Categorización:** Bajo, medio, alto

▪ **Medidas de reducción:**

- Estructurales: obras de estabilización
- No estructurales: reubicación, normativa
- Sistemas de alerta temprana

▪ *Taller:* Mapa de riesgo y priorización

## 4.4 PARTE IV: INTEGRACIÓN Y APLICACIONES

### 4.4.1 Módulo 11: Estudios de Caso y Aplicaciones Prácticas (2 horas)

#### Sesión 11.1: Casos de Estudio y Cierre del Curso (2 horas)

- **Análisis de casos de estudio en Colombia:**
  - Ejemplos de zonificación a escala regional (1:25.000)
  - Ejemplos de análisis detallado a escala local (1:5.000)
  - Comparación de metodologías aplicadas según escala
  - Lecciones aprendidas y mejores prácticas
- **Integración con planificación territorial:**
  - Planes de Ordenamiento Territorial (POT)
  - Planes Municipales de Gestión del Riesgo (PMGRD)
  - Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT)
- **Comunicación de resultados:**
  - Elaboración de informes técnicos según lineamientos SGC
  - Cartografía para diferentes audiencias
  - Socialización con comunidades y tomadores de decisión
- Tendencias actuales en modelación de movimientos en masa

## 5 Bibliografía

### Referencias

- [1] Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000*. Bogotá: SGC. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/>
- [2] Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá: SGC. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/>
- [3] Varnes, D.J. (1978). *Slope movement types and processes*. In: Schuster, R.L. & Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report 176, pp. 11-33.
- [4] Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). *The Varnes classification of landslide types, an update*. *Landslides*, 11(2), 167-194. DOI: 10.1007/s10346-013-0436-y
- [5] Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012 - Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres*. Bogotá: Diario Oficial No. 48.411.
- [6] IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia*. Bogotá: IDEAM.