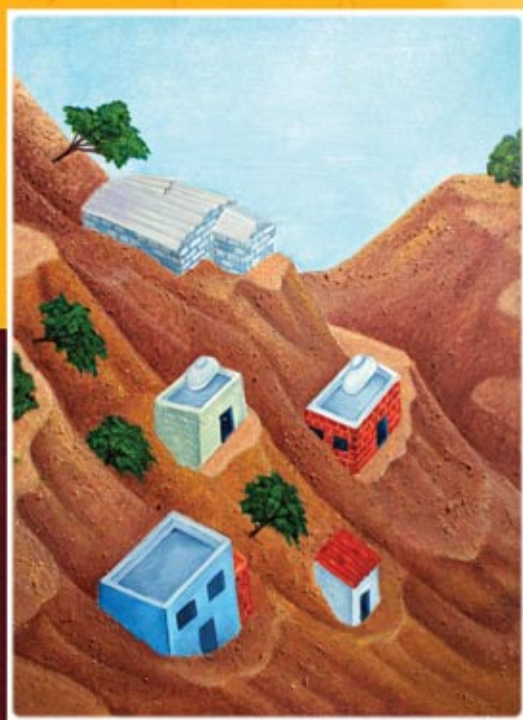


# Derrumbes: una luz al final del túnel

Irasema Alcántara Ayala



Esta publicación es de todos para leer en el Metro



**Derrumbes:  
una luz al final del túnel**



## **Gobierno del Distrito Federal**

**Marcelo Ebrard Casaubón**

Jefe de Gobierno

**Raúl Armando Quintero Martínez**

Secretario de Transportes y Vialidad

**Francisco Bojórquez Hernández**

Director General del  
Sistema de Transporte Colectivo



## **Universidad Nacional Autónoma de México**

**José Narro Robles**

Rector

**Sergio M. Alcocer Martínez**

Secretario General

**Juan José Pérez Castañeda**

Secretario Administrativo

**Rosaura Ruiz Gutiérrez**

Secretaria de Desarrollo Institucional

**Carlos Arámburo de la Hoz**

Coordinador de la Investigación Científica

**René Drucker Colín**

Director General de Divulgación de la Ciencia

**Derrumbes:  
una luz al final del túnel**

Irasema Alcántara Ayala



Dirección General de  
Divulgación de la Ciencia  
U N A M

## **Dirección General de Divulgación de la Ciencia**

Director General de Divulgación de la Ciencia

**René Drucker Colín**

Coordinador de Medios

**Ángel Figueroa**

Subdirector de Medios Escritos

**Juan Tonda**

Jefa de la Unidad Administrativa

**Isabel Velasco**

Coordinación editorial

**Juan Tonda**

**Nemesio Chávez Arredondo**

Corrección

**Alicia García**

Diseño de la colección y formación

**Elizabeth Cruz**

Ilustración de portada

**Emmanuel Vela**

Primera edición, 5 de julio de 2010

D.R. © 2010 Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C. P. 04510,  
México, Distrito Federal.

ISBN 978-607-02-1393-9

Agradecemos el apoyo otorgado por



Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en México

# **Derrumbes: una luz al final del túnel**

## **Llueve sobre mojado**

En la tarde de aquel sábado lluvioso Eurosia ansiaba entrar al estadio. Desde pequeña añoraba vestir los colores azul y oro; cursaba el sexto año de preparatoria, y el simple hecho de poder entonar el himno universitario y unir su voz al estruendo de las “goyas”, le hacía imaginar los días venideros durante los cuales estudiaría geografía en Ciudad Universitaria, para posteriormente cumplir su sueño de ser geomorfóloga.

Al parecer la mala racha de los pumas continuaba, y nuevamente después de 90 minutos de juego, el marcador indicaba cero goles para el equipo de casa, y también cero goles para la otra escuadra, quienes más que visitantes eran acérrimos rivales. Con tan mal sabor de boca, inició en la estación Copilco su viaje de regreso a casa. Instantes después de abrirse las puertas en la estación Miguel Ángel de Quevedo, tenía en sus manos un trozo de papel en el cual se pedía solidaridad y apoyo a los pobladores de la Sierra Norte de Puebla por los daños sufridos a

consecuencia de las lluvias de 1999. El transcurrir del tiempo en el túnel parecía tan pausado como el tedioso partido; los trenes difícilmente se movían y fue hasta su llegada a la estación Zapata que dieron el aviso de inundación en Centro Médico. Centro Médico, exactamente la estación en la que solía hacer el trasbordo de la línea 3 a la 9 para posteriormente dirigirse a Tacubaya. Optó por continuar su jornada en microbús y con gran tristeza se percató de que los encabezados de los periódicos anunciaban el desastre en su barrio.

Desde pequeña se acostumbró a subir y bajar cotidianamente las laderas de asfalto de la delegación Álvaro Obregón. De vez en cuando tenía noticia de la aparición de grietas en las viviendas, e incluso de la desaparición de algunas casas; todo ello relacionado con la existencia de minas, las cuales, según los ingenieros que acudían cuando ocurría un incidente de este tipo, eran el resultado de la explotación de materiales para la construcción. Esta situación llegaba a niveles críticos durante el periodo de lluvias, por lo cual la implementación de medidas de protección era realmente urgente.

Aquellos episodios y el papel que aún llevaba en la bolsa del suéter, trajeron nuevamente a su memoria el desastre ocurrido en la Sierra Norte de Puebla en octubre de 1999, cuando lluvias extraordinarias fueron el factor desencadenante de cientos de procesos de remoción en masa, comúnmente conocidos como derrumbes, deslaves, desgajamientos



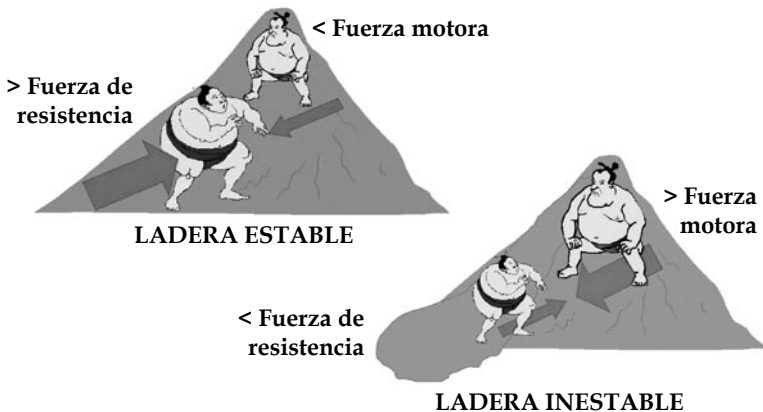
o deslizamientos, que causaron cuantiosas pérdidas humanas y materiales.

Al parecer este tipo de fenómenos era frecuente no sólo en México, sino también en el mundo; en días anteriores los noticieros hacían referencia a una tragedia en Filipinas debido a un flujo de lodo –término científico y de uso común empleado para referirse a los deslaves– que sepultó en unos cuantos segundos una escuela primaria con 246 estudiantes y siete maestros.

Eurosia sabía que cuando llovía, las minas se colapsaban pues los materiales se reblandecían, y al no contar con soporte alguno, era fácil adivinar su destino final. Algo similar debía ocurrir cuando había deslizamientos; aunque su mente le decía que las minas eran consecuencia directa de la intervención humana, y que el toque final lo daba la gravedad. Los movimientos de ladera debían obedecer a algunos otros factores. Años más tarde, después de cursar varias materias en la Facultad pudo entender con claridad este fenómeno; por ello, siempre que tenía oportunidad en el metro, leía y estudiaba sus apuntes...

## ¿Se cae o no se cae?

Las laderas son la parte inclinada de las montañas o elevaciones de la superficie terrestre, y su estabilidad refleja qué tan propensas son a sufrir algún proceso de desequilibrio, el cual es controlado por la ley de la gravedad. En otras palabras, en cada ladera existen esfuerzos de tensión o fuerzas motoras que impulsan el movimiento del material ladera abajo, así como también fuerzas de resistencia las que le ayudan a soportar ese movimiento. Cuando las fuerzas motoras son mayores a las de resistencia, las laderas se vuelven inestables y ocurren distintos tipos de movimientos que, en conjunto, son conocidos como procesos de remoción en masa, procesos gravitacionales, movimientos del terreno o de ladera (véase la figura 1).



**Figura 1.** Una ladera es estable cuando las fuerzas de resistencia son mayores que las actuantes o motoras, pero se vuelve inestable cuando su resistencia es menor.

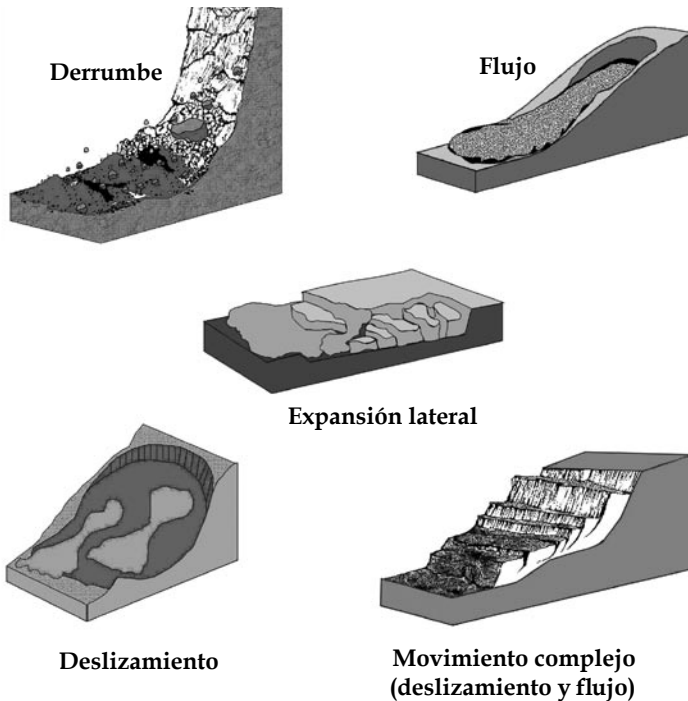
Las fuerzas de resistencia de una ladera dependen del tipo de material que la forma, es decir, de su composición, dureza y textura, entre otros; en consecuencia los materiales más blandos o frágiles serán más susceptibles a la inestabilidad que los duros ó consistentes.

Las fuerzas motoras o actuantes están relacionadas con los cambios de geometría que pueda tener la ladera, provocados de manera natural o artificial. Por ejemplo la erosión o incisión natural de un río, y diversas actividades humanas como las excavaciones, los cortes y el incremento del peso debido a los elementos que son colocados sobre las laderas, tales como las casas, carreteras, entre otros, modifican su forma original.

Existen cinco tipos principales de procesos de remoción en masa: caídos o derrumbes, deslizamientos, flujos, expansiones o desplazamientos laterales, y movimientos complejos (véase la figura 2). Los caídos o derrumbes son muy perceptibles en las carreteras ya que son movimientos repentinos de suelos y/o fragmentos de roca que ocurren en pendientes abruptas, acantilados, y con mucha frecuencia en cortes artificiales. Los deslizamientos son movimientos masivos de los materiales formadores de las laderas que se deslizan sobre superficies planas o cóncavas y son conocidos comúnmente también como desgajamientos. Los flujos son movimientos de suelo o roca, en los cuales las partículas, granos o fragmentos se mueven en forma de fluido.

Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, e inclusive secos o húmedos. En el caso de México, la mayor parte son rápidos y húmedos.

Es obvio pensar que los procesos de remoción en masa sólo pueden producirse en laderas muy inclinadas; sin embargo, otro tipo de movimiento conocido como expansiones o desplazamientos laterales cambia por completo esta idea, ya que se caracteriza por ocurrir en laderas de suave pendiente originando



**Figura 2. Tipos de procesos de remoción en masa o movimientos de ladera.**

movimientos prácticamente horizontales. Este comportamiento es debido a la licuefacción, o paso del estado sólido a líquido que ocurre en los materiales sueltos y saturados, principalmente arenosos (las partículas de arena tienen un diámetro de 0.05 a 2 milímetros) y limosos (los limos son partículas de 0.05 a 0.002 milímetros de diámetro) debido a las vibraciones causadas por un sismo.

La naturaleza es compleja, y los procesos de ladera son imagen de ello. La inestabilidad de una ladera puede iniciarse con un tipo específico de movimiento, como sería el caso de un deslizamiento, y al transcurrir el tiempo convertirse en otro, por ejemplo en un flujo. A esta clase de inestabilidad se le denomina movimiento complejo.

## **Factores desencadenantes**

Existen tres factores primordiales que pueden detonar el movimiento de una ladera: la lluvia, los terremotos y la actividad volcánica. La lluvia es el mecanismo desencadenante más importante de la inestabilidad de laderas en México. Cuando hay una lluvia intensa o durante un largo período de tiempo el suelo se satura y se incrementa el peso de la ladera (ocasionando una mayor fuerza motora o actuante). Aunado a ello, la saturación de los materiales puede reducir la cohesión mediante la cual están unidas las partículas y por ende su resistencia. En ocasiones también el agua puede penetrar en las

fisuras hasta llegar a capas o estratos más profundos con menor permeabilidad, de tal forma que se da una concentración de humedad que actúa como superficie de lubricación en la cual se pueden deslizar los materiales.

Al producirse un terremoto las ondas sísmicas pasan a través de las rocas y suelos por lo que se incrementa la tensión de los materiales y se pueden producir fracturas. Las vibraciones producidas por los sismos pueden ocasionar inestabilidad al incrementarse las fuerzas motoras y disminuir la resistencia de los materiales como resultado del movimiento de las partículas. De manera similar, las laderas de los volcanes pueden ser desestabilizadas con la actividad eruptiva, ya que están formadas por materiales sueltos o poco consolidados que se pueden movilizar de forma casi instantánea. En particular cuando en la cima existe un glaciar es muy factible que al aumentar la temperatura la nieve se derrita y se mueva ladera abajo formando una mezcla de lodo y fragmentos diversos conocida como “lahar” o flujo de lodo. Estos flujos también pueden formarse a consecuencia de precipitaciones intensas o de larga duración, y se caracterizan por viajar a velocidades altas y causar gran daño a las poblaciones aledañas al volcán.

## **¿Cómo saber si el terreno es inestable? Síntomas de inestabilidad**

Es importante estar consciente de que algunas de las actividades que desarrollan los seres humanos tienen gran influencia en la inestabilidad de laderas, entre ellas están: la deforestación, las modificaciones de la pendiente resultado de la creación de terrazas para los cultivos, alteración de patrones de escurrimiento de agua superficial y subterránea, transformación del drenaje natural, actividad minera, y los cortes verticales para la construcción de caminos.

Las áreas susceptibles a la inestabilidad de laderas generalmente se pueden detectar de manera similar a las preguntas que hace un médico al paciente para analizar los síntomas de una enfermedad. Las laderas presentan ciertas señales que reflejan su grado de estabilidad (véase la figura 3), ello permite a los expertos, como por ejemplo los geomorfólogos, geólogos, geofísicos o ingenieros, determinar si una ladera es inestable o potencialmente inestable y puede afectar a la población o a la infraestructura. Entre estos síntomas destacan los siguientes:

- Presencia de humedad, saturación de suelos, filtraciones o manantiales en zonas comúnmente secas.
- Existencia y desarrollo de grietas.
- Abultamientos del terreno en sitios que originalmente eran planos.

- Inclinación y/o agrietamiento de pisos y cimentaciones de concreto.
- Inclinación de los árboles, postes, cercas, muros, bardas, etc.
- Cimentaciones al descubierto como consecuencia de movimientos en el suelo sin motivo alguno.
- Ruptura de tuberías subterráneas sin razón aparente.
- Postes o cercas desalineadas.
- Hundimientos súbitos del terreno (carreteras, caminos, patios, etc.).
- Ventanas o puertas descuadradas en relación con la estructura original.
- Desarrollo de grietas, deformaciones y/o rompimiento de pisos, paredes y casas.
- Distorsión de las calles y banquetas.
- Formación de escalonamientos o escarpes naturales en la parte alta de una ladera.



**Figura 3. Ladera de alto riesgo con síntomas de inestabilidad.**



## ¿Qué se puede hacer para reducir el peligro por inestabilidad de laderas?

Si vives en algún lugar afectado por inestabilidad de laderas es importante seguir las siguientes indicaciones “antes, durante y después” de que ocurra algún movimiento.

### **Antes:**

- Tener conocimiento de la ocurrencia de procesos de remoción en masa en el área.
- Evitar construir, comprar o alquilar viviendas en terrenos potencialmente inestables (las laderas de fuerte inclinación).
- Definir y conocer la señal de alarma y las acciones a seguir ante una emergencia por inestabilidad de laderas.
- Desarrollar reglamentos que impidan el deterioro de la vegetación y promover actividades con la finalidad de reforestar la zona.
- Definir sitios o albergues seguros que no puedan ser afectados por inestabilidad, es decir, con materiales resistentes y de poca inclinación.
- Guardar en un sitio seguro, conocido por todos los miembros de la familia, en una bolsa de plástico resistente, los documentos importantes tales como cartilla del servicio militar nacional, acta de nacimiento, certificado de estudios, escrituras de la casa o terreno, etc.

- Tener siempre a la mano un botiquín familiar de primeros auxilios.
- Preparar una provisión de artículos de supervivencia que incluya: agua purificada, una ración mínima de alimentos de acuerdo a tus costumbres, piloncillo o azúcar, de ser posible leche en polvo, pastillas purificantes y cloro, velas, cerillos, lámpara y radio con baterías.
- Nunca dejar a los niños solos en la vivienda durante época de lluvias.
- En temporada de lluvias y ciclones o durante los días con precipitación constante (fuera de temporada), estar atento a las noticias de la televisión, la radio o cualquier notificación dada por las autoridades locales, municipales y estatales.

Después de familiarizarte y realizar una inspección del terreno donde vives es muy importante que toda la población esté consciente de la necesidad de:

- **No talar los árboles ni quitar o modificar la vegetación natural de la zona.**
- **Evitar al máximo la modificación de las laderas de los cerros a través de cortes y terrazas.**
- **No permitir que agua del drenaje doméstico se infiltre en una ladera, ya que las acumulaciones de agua de este tipo, son zonas potenciales de iniciación de movimientos.**

- **Evitar al máximo las fugas de agua para que el terreno afectado no se reblandezca y se convierta en zona potencial de movimiento, sobre todo si se encuentra en laderas abruptas.**
- **Si tu casa está en una ladera, revisa continuamente las paredes, pisos y techos con la finalidad de buscar posibles grietas y/o hundimientos.**
- **Tener el conocimiento de que cualquier estructura de vivienda debe ser construida en zonas alejadas de laderas empinadas; de arroyos, ríos, y canales que estén secos en algunos meses del año; y en las desembocaduras o canales de desagüe procedentes de las montañas.**

### **Durante:**

- Mantenerse alerta en condiciones de precipitación intensa o que haya durado varios días.
- Permanecer alerta a los sonidos producidos por los movimientos de materiales, éstos pueden parecer truenos, aviones, rocas o árboles derrumbándose o que chocan entre sí.
- Si se está cerca de un canal, arroyo o río, procurar mantenerse al pendiente de cualquier cambio repentino en el nivel y turbulencia del agua, ya que son indicios de la ocurrencia de flujos. Si esto

ocurre, abandonar el lugar rápidamente, y no tratar de salvar tus bienes materiales o animales, recuerda que un radio o una vaca se pueden reponer, una vida no: tú y tu familia son más importantes.

- No dudar en realizar una evacuación en caso necesario, aún sin recibir órdenes de las autoridades.
- Extremar el cuidado con los menores de edad y los adultos mayores.
- Abrigarse bien y de ser posible utilizar ropas y zapatos impermeables.
- Estar pendiente de la radio o altavoz para conocer avisos oficiales e indicaciones de emergencia.
- Ser consciente de la necesidad de estar bien organizado y obedecer las órdenes de evacuación en caso necesario.
- Llevar a acabo la evacuación a través de sitios seguros y que de ser posible no se encuentren inundados o cubiertos de material (lodo, rocas, etc.). Evitar cruzar los ríos. Nunca caminar en el borde de los barrancos o en sitios donde la acumulación de material o agua impidan conocer el terreno. Evitar al máximo posible caminar cerca de paredes escarpadas o laderas inclinadas.
- Evitar la utilización de vehículos en condiciones de tormenta; en caso de ser absolutamente necesario, debes estar alerta de la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y flujos en las márgenes de los caminos o carreteras, así como de posibles hundimientos.

## **Después:**

- Mantener la calma, la cordura y no asustarse, tratar de no entrar en pánico, ya que esto sólo empeora la situación y no permite pensar y tomar decisiones con claridad.
- Coordinarse de la mejor manera con familiares y amigos para salir del área afectada. Es importante recordar que si están inmersos en algún deslizamiento éste puede seguir moviéndose, por lo que es importante tratar de encontrar los sitios más seguros. Caminar hacia fuera del movimiento, hacia los lados o hacia la parte superior sin atravesar toda la masa desplazada.
- En caso de formación de escarpes, los cuales asemejan escalones, se cuidadoso al caminar, ya que las grietas que los forman pueden ser muy profundas.
- Si tu casa fue cubierta por materiales de un deslizamiento o flujo, desarrollar labores de limpieza con extrema precaución, ya que la fuerza del movimiento pudo haber debilitado paredes y ventanas que pueden caer o romperse en cualquier momento.
- Si tu hogar fue dañado, procura no habitarlo hasta estar seguro de que está en buenas condiciones; en caso necesario, espera a que un experto o las autoridades correspondientes autoricen el acceso.
- Inspeccionar la superficie del terreno de la zona afectada y áreas aledañas para detectar posibles cambios y superficies potencialmente inestables.

- Es importante solicitar a las autoridades correspondientes una evaluación de las causas de los movimientos de ladera, así como de su posible reincidencia.
- Para casos particulares y según sea requerido, efectuar estudios geotécnicos especializados y análisis de estabilidad de laderas, que permitan a las autoridades competentes definir el diseño y establecimiento de posibles obras de protección.
- Asegurar la instalación de sistemas de drenaje adecuados.
- Promover la forestación y reforestación de zonas afectadas y áreas circundantes con vegetación adecuada a la región.
- Elaborar un registro de lo ocurrido con la finalidad de establecer antecedentes y poder efectuar un seguimiento de la incidencia, impacto y mitigación de este tipo de peligros en la localidad.

### **Algo para meditar...**

Tomando en cuenta que en el relieve existen laderas inestables es importante seguir ciertas normas para reducir el peligro:

- Prohibir la construcción en áreas inestables y potencialmente inestables.
- Implementar códigos de construcción, excavación, terraceo y nivelación que garanticen la estabilidad de laderas.

- Establecer medidas de control y prevención de movimientos del terreno en zonas susceptibles o inestables.
- Prohibir la deforestación.
- Desarrollar e implementar sistemas de alerta.
- Instrumentar y monitorear zonas inestables críticas.

Los desastres asociados a la inestabilidad de laderas que han ocurrido en México y el mundo son reflejo del impacto potencial que este tipo de peligros o amenazas puede tener en la sociedad en el presente y el futuro. El establecimiento de asentamientos humanos irregulares, la deforestación y el aumento de la precipitación a consecuencia del cambio de los patrones climáticos, aumentan los niveles de riesgo de la población.

Con la idea de identificar zonas con problemas de inestabilidad de laderas, los científicos de la UNAM emplean diversas metodologías, entre las que cabe destacar la elaboración de mapas de susceptibilidad, amenazas y riesgo; interpretación de fotografías aéreas y utilización de imágenes de satélite (figura 4) y modelos digitales del terreno; instrumentación y monitoreo de laderas inestables; modelación de posibles escenarios de inestabilidad; creación de sistemas de alerta; análisis de vulnerabilidad de poblaciones afectadas, entre otras. Todo ello con la finalidad de aplicar el conocimiento que la ciencia genera para resolver problemas sociales como los desastres.



**Figura 4.** Imagen de satélite del deslizamiento de San José Chagchaltzin, Sierra Norte de Puebla. La línea blanca establece el límite del desplazamiento del material.

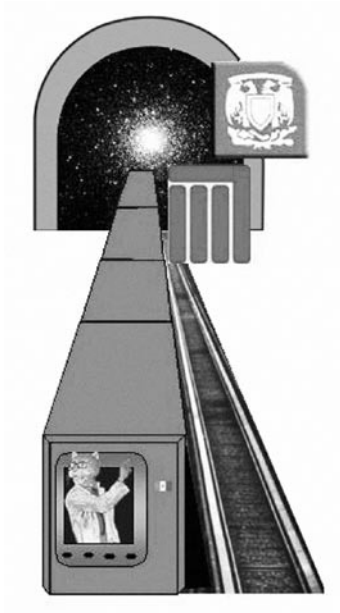
## **Una luz al final del túnel**

Años más tarde, durante el segundo tiempo extra de la final del torneo mexicano de fútbol, en aquella ciudad donde el viento hacía revolotear las suaves gotas de lluvia, el júbilo se deslizaba estrepitosamente a lo largo del arcoiris... la luz de su azul y oro reflejaba la intensidad del triunfo universitario... y fue así que finalmente, con una “goya” y el rugido del campeón, el vecino estadio incrédulo se estremeció...

Con frecuencia, cuando el vagón del metro se paraba por instantes antes de llegar a la estación Universidad, Eurosia recordaba el privilegio que tenía de estudiar en la UNAM; la Máxima Casa de



Estudios que además del alma de México, ha sido siempre más que una tradicional Universidad. Sin lugar a dudas, al final de aquel túnel oscuro, de día y de noche, permanentemente había una luz brillante como las galaxias del Universo que le hacía palpitar... un halo de ciencia que resplandecía para toda la comunidad y hacía que su espíritu puma la condujera incansablemente a entonar su conocido cántico... ¡cómo no te voy a querer!



# Irasema Alcántara Ayala

Licenciada y doctora en geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Londres, Inglaterra, respectivamente. Directora e investigadora titular en el Instituto de Geografía y profesora de la licenciatura y del posgrado en geografía de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su línea de investigación principal es el análisis de inestabilidad de laderas y la evaluación de riesgos debido a procesos de remoción en masa o deslizamientos de tierra, con fines de prevención de desastres. Ha colaborado con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) en proyectos de investigación y actividades de divulgación. Es integrante del comité científico asesor del Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc) sobre Fenómenos Perturbadores de Origen Geológico y de la Subcomisión de Ciencia y Tecnología del Consejo Consultivo Permanente de Prevención de Desastres y Protección Civil del mismo Sinaproc.

*Derrumbes: una luz al final del túnel*

Editado por la DGDC-UNAM y el Sistema de Transporte Colectivo Metro. Terminó de imprimirse el 5 de julio de 2010 en los talleres de Galas de México, ubicados en San Antonio Abad 121, Col. Obrera, 06800, México D.F.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de Juan Tonda y Nemesio Chávez.

La impresión se realizó en offset en papel bond de 90 gramos.

En su composición se usaron tipos Times de 9 y 14 puntos y Book Antiqua de 11, 16 y 20 puntos. El tiraje constó de 50,000 ejemplares.



## LA CIENCIA ES CULTURA

La colección Ciencia de Boleto preparada por la UNAM para el Sistema de Transporte Colectivo, pretende que el público se acerque a la ciencia y la considere parte de su cultura. Quienes se preocupan de no fragmentar el conocimiento piensan que la divulgación de la ciencia de calidad es literatura y es arte. Gran cantidad de investigadores y divulgadores de la UNAM ponen su granito de arena para sacar a la ciencia de los laboratorios y las escuelas y llevarla a los usuarios del Metro. Esperamos que este esfuerzo resulte de su agrado. No sólo se puede aprender en los salones de clase y universidades, sino también en caminos subterráneos de nuestra ciudad y en movimiento.



**Lee y devuelve CIENCIA DE BOLETO**

**SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO**



**SISTEMA  
DE TRANSPORTE  
COLECTIVO**

Este fascículo fue impreso gracias a la colaboración de

