

Sismología al alcance cotidiano de los ingenieros

Investigadores de la Escuela de Ingeniería crearon una guía para que sus colegas puedan hacer estudios comprensibles y ajustados a sus necesidades al realizar el diseño estructural de una edificación ante amenazas sísmicas. Este modelo conceptual es un aporte a la forma de comprender el problema y de abordarlo.

ANDRÉS FELIPE GIRALDO CERÓN
Colaborador

En la década 1990 se hizo la primera microzonificación sísmica de Medellín, liderada por el profesor Juan Diego Jaramillo de EAFIT. Foto Robinson Henao.



U n lunes de sus vacaciones de enero, María del Rosario Álvarez tuvo el sueño más movido de su vida. Estaba acostada en la cama de sus padres cuando la tierra comenzó a vibrar con tanta fuerza que la arrojó al suelo. Su padre, desde el primer piso, le gritaba que bajara para salir de casa. Ella se resistió hasta que el susto, las vibraciones, o una mezcla de ambas, la tiraron por las escaleras.

Ya en la calle, pudo ver desde lo alto de un mirador la larga silueta de su ciudad inundada con una capa gruesa de polvo que crecía y se curvaba con la caída de cada pared, casa o edificio: "El centro de Pereira se estaba cayendo por manzanas completas", recuerda. Y se siguió cayendo con cada réplica que precedió al sismo de la 1:19 p. m. del 25 de enero de 1999, día y hora en que un terremoto con epicentro en el departamento del Quindío afectó a todo el Eje Cafetero, esa región agrícola y turística ubicada en el centro de Colombia.

El resto de la tarde y la noche se dedicó a navegar con su familia por el caos de una ciudad con pocos o nulos servicios funcionando, incluso los de emergencia, porque hasta los bomberos quedaron dañados. Las secuelas de los daños se extendieron por meses y años y dejaron, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane), 1185 muertos, 8536 heridos, 35972 viviendas totalmente destruidas o inhabitables, 6408 fincas cafeteras afectadas y 2.7 billones de pesos en pérdidas en la región, cerca del 2.2 % del PIB de Colombia en el año 1998.

Mientras tanto, a más de 200 kilómetros, el profesor Juan Diego Jaramillo se llevaba las manos a la cabeza por las magnitudes que registraban sus equipos. Poco tiempo antes había participado, como docente del Departamento de Ingeniería Civil de EAFIT, en la instalación de cerca de 20 estaciones para monitorear la actividad sísmica en otra ciudad colombiana. Actualmente, este conjunto de equipos conforma la Red Acelerográfica que administra el Sistema de Alertas Tempranas de Medellín y el Valle de Aburrá (Siata).

Sin esconder la pasión que le despierta el tema, Jaramillo cuenta que esos datos fueron el comienzo de varias investigaciones: "Esa fue de las primeras ocasiones en que registramos, al mismo tiempo, un sismo en varios puntos de la ciudad. ¡Es impresionante! En algunas zonas la intensidad era 3 veces mayor que en otras, aunque la distancia entre ellas era de apenas cuatro cuadras. ¿Cómo son posibles esas diferencias en un sismo que ocurrió a 200 kilómetros? Entenderlo era y es importante porque así podemos predecir impactos significativos. Y si podemos predecirlo, podemos diseñar pensando en lo que va a venir".



Investigadores

Juan Diego Jaramillo Fernández

Doctor en Estructuras de la Universidad Nacional Autónoma de México, profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT. (Derecha en la foto).

Juan David Gómez Cataño

Doctor en Ingeniería (Mecánica Computacional) de la Universidad del Estado de Nueva York, profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT. (A la izquierda en la imagen).

Y los estudiantes del doctorado en Ingeniería de EAFIT, Juan Carlos Vergara Gallego, César Augusto Sierra Alvarez y Mario Andrés Sáenz Castillo. Todos hacen parte del grupo de investigación de Mecánica Aplicada, Categoría A1 de Minciencias.

¿TERREMOTOS, TEMBLORES O SISMOS?

En el argot técnico se suele utilizar el término "sismo", mientras que en el lenguaje cotidiano "terremoto" (cuando causa grandes daños) o "temblor" (cuando no hay mayores pérdidas). Lo cierto es que dan cuenta del mismo fenómeno. ¿Por qué ocurren?

Primero, hay que tener en cuenta que la Tierra está compuesta por capas, como las cebollas. La geología moderna propone que, en términos generales, son tres: el núcleo, el manto y la corteza terrestre. La capa externa de esta cebolla está formada por la corteza y por el segmento superior del manto terrestre.

Lejos de ser una sola pieza, esta última sección está compuesta de fragmentos llamados placas tectónicas. Algunas son gigantes y soportan continentes y océanos, como la placa Euroasiática; otras son más pequeñas, como la placa de Cocos (ubicada en el océano Pacífico frente a la costa occidental de Centroamérica y con un área aproximada a 3/4 partes del tamaño de México). Sin embargo, todas tienen algo en común: están constantemente en movimiento. Esos movimientos, que a veces son de apenas algunos centímetros por año, crean grandes presiones, en especial en los puntos que entran en contacto: las fallas.

Si las placas estuvieran lubricadas y fueran lisas, se deslizarían con facilidad entre ellas. Sin embargo, son rugosas y tienden a atascarse, aun cuando permanecen en movimiento. Entonces comienzan a acumular energía en procesos que pueden durar décadas o cientos de años, incluso más tiempo.

Cuando la fuerza acumulada supera la fricción que las mantiene atascadas, los bordes se despegan y deslizan con violencia, entonces la energía acumulada por tanto tiempo se irradia en todas direcciones a través de ondas sísmicas.

Estas ondas se desplazan por la tierra y al llegar a la superficie mueven todo lo que esté sobre ella: nosotros, nuestras casas, empresas, puentes, calles y edificios. A esto es lo que llamamos "sismo".

HACER ACCESIBLE EL CONOCIMIENTO

Esas ondas no se distribuyen de manera homogénea, como lo explica Juan Carlos Vergara Gallego, estudiante del doctorado en Ingeniería de EAFIT: "No siempre son uniformes porque en el camino se van a encontrar con obstáculos que las deforman. Esos obstáculos son la topografía –valles, montañas, depresiones, etc.–. La pregunta es: ¿cómo considerar la topografía? Esa inquietud existe hace más de 50 años".

La conversación como dinamizadora del conocimiento

"Nuestros avances conceptuales han partido de conversaciones. Discutimos, interpretamos resultados de simulaciones, analizamos de manera individual los hallazgos y tomamos decisiones. No hemos formulado etapas, hemos tratado de responder preguntas que nos han llevado a inquietudes de mayor alcance.

En nuestro caso particular, el camino inició con el estudio de la respuesta dinámica de geometrías muy simples, un tema que hace más o menos 30 años había explorado desde las matemáticas el profesor Francisco Sánchez-Sesma de la Universidad Nacional Autónoma de México. Nosotros utilizamos simulaciones numéricas de esos problemas para tratar de entenderlas, pero a través de la Ingeniería.

Estos ejercicios nos llevaron a realizar proyectos de ingeniería sísmica y diseño de materiales. Así llegamos a las preguntas que planteamos en los artículos que publicamos recientemente y que también están en las tesis de doctorado de nuestros estudiantes:

- El efecto de la rugosidad del accidente topográfico (la resolución).
- El efecto del tamaño del accidente topográfico (el tamaño).
- La posibilidad de hacer predicciones mediante una expresión ingenieril que, hasta el momento, no existe".

Juan David Gómez Cataño,

profesor e investigador de la Universidad EAFIT

En la actualidad, los ingenieros cuentan con muchas herramientas para responder esta inquietud. La primera son las normas de sismorresistencia que, como explica el profesor Juan Diego Jaramillo –doctor en Estructuras, experto en amenaza y riesgo sísmico–, son indicaciones muy generales sobre cómo construir en determinadas circunstancias: "Son muy similares en todos los países porque están en constante actualización; en el caso de Colombia, cada diez años. Las normas generalizan los requerimientos de diseño y construcción dependiendo de factores como el terreno y el tipo de suelo. Con ellas cubrimos muchos casos, pero otros se nos quedan chicos porque, hay que decirlo, nos falta conocimiento".

Otras herramientas, mucho más precisas, son los métodos computacionales y los registros en los sitios en los que se piensa construir. Sin embargo, estas opciones presentan dos problemas: "Primero, es difícil y costoso conseguir esta información; segundo, es inmanejable porque requiere de unos recursos computacionales muy complejos y conocimientos que no están al alcance de cualquier persona", señala Vergara. ¿Cómo hacer entonces accesible este conocimiento al diseño cotidiano de estructuras?

Esta es la pregunta que han enfrentado cinco investigadores de la Universidad EAFIT por varios años. El equipo está compuesto por tres estudiantes del doctorado

en Ingeniería: Juan Carlos Vergara Gallego, César Augusto Sierra Álvarez y Mario Andrés Sáenz Castillo; y dos docentes e investigadores: Juan Diego Jaramillo Fernández y Juan David Gómez Cataño. Juntos, han desarrollado un enfoque original para abordar este problema y han publicado una serie de artículos con gran impacto académico y práctico.

"Nuestra propuesta es inusual porque hoy nadie le apuesta a investigar con base en la conceptualización. Es como si alguien hubiera dicho que es tan complicado que es mejor entregarle el problema a una máquina".

Juan Diego Jaramillo, profesor de la Escuela de Ingeniería, experto en amenaza y riesgo sísmico.

La propuesta permite correr las simulaciones en un computador de escritorio y no en un centro de computación científica.

ESTUDIOS MÁS RÁPIDOS Y COMPENSIBLES

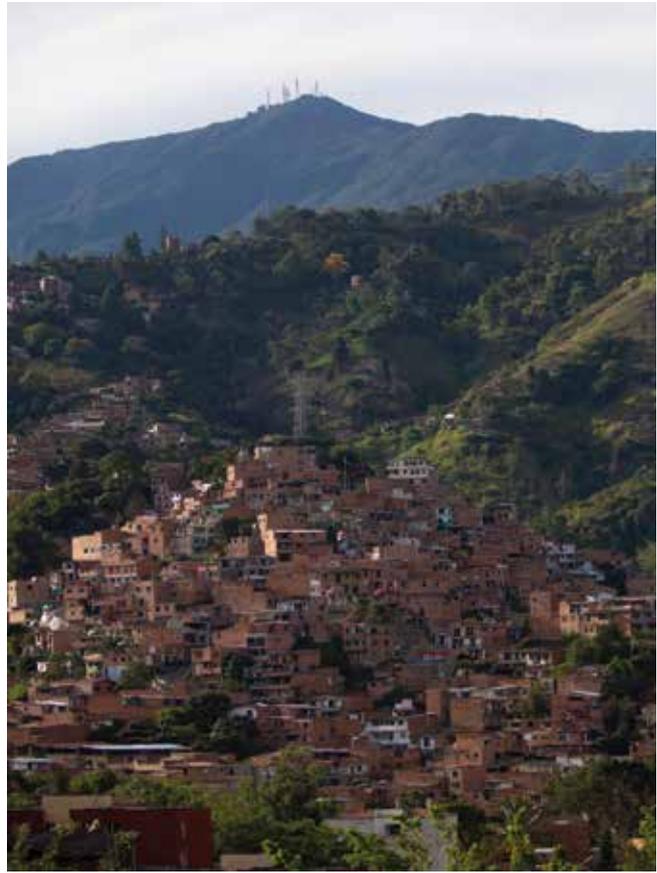
Según el profesor Juan David Gómez, el interés por una sismología al alcance cotidiano comenzó con la primera microzonificación sísmica de Medellín, liderada por el profesor Juan Diego Jaramillo en la década de 1990.

"En ese momento surgieron las primeras preguntas que posteriormente se convirtieron en proyectos de investigación propios y de varios estudiantes de maestría y doctorado que nos han acompañado en el grupo de investigación de Mecánica Aplicada", señala Gómez.

Con el tiempo, las preguntas e inquietudes maduraron y derivaron, por convicción del equipo, en soluciones prácticas y al alcance del ejercicio cotidiano del ingeniero. En síntesis, el equipo de investigadores propone una guía para que, a la hora de realizar el diseño estructural de una edificación, los ingenieros sepan qué tipo de modelo computacional requieren. Esto les permite realizar un estudio comprensible y ajustado a sus necesidades y posibilidades, como correr las simulaciones en un computador de escritorio y no en un centro de computación científica.

"Si vamos a necesitar hacer un modelado computacional, pero uno pequeño", asegura Jaramillo. Según el investigador, el alcance de estos modelos se ve reflejado en sus dos componentes esenciales: la resolución, que corresponde al nivel de detalle y que ayuda a definir si es necesario tener en cuenta cada piedra de un terreno, o si se puede optar por una alternativa más general. Y el tamaño, que implica reconocer qué tanto espacio se debe modelar para estudiar cómo se mueve el terreno sobre el cual se va a construir.

Sobre estos dos componentes, la resolución y el tamaño, el grupo de investigación publicó dos artículos en las reconocidas revistas *Journal of Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Recientemente publicaron un tercer artículo que incluso propone una estrategia para evitar la realización de un modelado computacional cuando se cumplen dos condiciones: la edificación está ubicada en una zona plana y se encuentra cerca de un accidente topográfico. Según Jaramillo, esta alternativa fue probada con modelos de gran escala en el Centro de Computación Científica Apolo, de la Universidad EAFIT, y los resultados fueron más que satisfactorios: "Encontramos que, pese a su simplicidad, es increíblemente preciso".



Muchas zonas geográficas, aunque parecen áreas homogéneas, presentan una gran diversidad en su topografía que hace que los sismos se manifiesten en forma diferente. Foto Robinson Henao.

INVESTIGAR DESDE EL CONCEPTO

"Para la ingeniería, la optimización es fundamental", afirma Jaramillo emocionado al resaltar la simplicidad y elegancia de la propuesta a la que han llegado. Su entusiasmo parte de lo que considera es un principio básico de su labor: "Si los recursos fueran gratis, no existiría la ingeniería. Por ejemplo, en la construcción de una estructura es tan problemático el exceso como el defecto".

Más allá del tema, se trata de una postura crítica frente al abordaje de las investigaciones. Según Juan David Gómez, "hoy en día es muy fuerte la tentación del uso irracional de las simulaciones computacionales". Y complementa Jaramillo explicando que hoy se dedica poco tiempo a la comprensión de los problemas: "Conversando con mis colegas y amigos latinoamericanos, consideramos que ahí tenemos un potencial enorme porque compensamos la falta de herramientas tratando de entender el fenómeno. Nuestra propuesta es inusual porque hoy nadie le apuesta a investigar con base en la conceptualización. Es como si alguien hubiera dicho que es tan complicado que es mejor entregarle el problema a una máquina, como si se hubiera abandonado la capacidad de entender".



Las normas de sismorresistencia están en constante actualización. En el caso de Colombia, cada diez años. Ellas generalizan los requerimientos de diseño y construcción dependiendo de factores como el terreno y el tipo de suelo. Foto Shutterstock.

PERSPECTIVAS A FUTURO

Si algo parece estar claro en el grupo de investigadores son los enormes retos que aún tiene la investigación en la ingeniería sísmica. Por ejemplo, el profesor Jaramillo señala la necesidad de ampliar el número de variables que se tienen en cuenta: "El estudio del tipo de suelo está acoplado con el de la topografía y hoy los estudiamos de manera aislada, pero los dos se afectan. Estudiarlos juntos es un reto de aquí a la Luna porque en una simulación se pueden encontrar respuestas satisfactorias para casos concretos, pero otra cosa es partir el problema en variables y entender qué pasa ahí adentro".

En este punto coincide César Augusto Sierra, estudiante del doctorado en Ingeniería de EAFIT, quien añade: "También tenemos que pasar de modelos en dos dimensiones a tres dimensiones".

Lo cierto es que la seguridad de las estructuras diseñadas por el hombre y la comprensión de la forma como interactúan con los movimientos sísmicos seguirá dependiendo de estudios como los desarrollados por el grupo de investigación de Mecánica Aplicada de EAFIT. ■

Diccionario sísmico

SISMO: proceso a través del cual se generan y propagan ondas dentro de la Tierra. Al llegar a la superficie, estas ondas son percibidas por las poblaciones humanas como un temblor. Dependiendo de la amplitud y duración, el sismo tendrá mayor o menor intensidad.

INTENSIDAD: medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terrenos en un lugar particular. La intensidad no solo depende de la fuerza del sismo (magnitud), también de su profundidad, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

FALLA: punto de contacto entre dos bloques o placas tectónicas que se desplazan de forma diferente. Las fallas pueden medir cientos de kilómetros y durar varios millones de años. Una falla se cataloga como activa cuando en ella ha ocurrido algún desplazamiento en los últimos dos millones de años o en la cual se observa actividad sísmica.

ONDA: es una alteración del equilibrio de un cuerpo o medio. Esa alteración se propaga de un punto a otro con un movimiento recurrente continuo (como las ondas que vemos al tirar una roca a un lago). Existen muchos tipos de ondas, entre ellas, las ondas sísmicas que percibimos como temblores o sismos.

ACELERÓMETRO: equipo que registra y mide la aceleración en el suelo en un sismo. Con él, los científicos e ingenieros pueden establecer la intensidad de eventos concretos o la actividad sísmica a lo largo del tiempo.

Un ejemplo del uso de estos dispositivos es la Red Sismológica Nacional de Colombia, administrada por el Servicio Geológico Colombiano. Los datos que registra esta red pueden ser consultados en www.sgc.gov.co/sismos.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano.