

1. Reflexiones sobre la noción de amenaza y particularidades del DMQ

Al mismo título que la accesibilidad, la exposición a las amenazas es un componente esencial de la vulnerabilidad espacial del DMQ. Más que las amenazas en sí, lo que nos interesa es la exposición del territorio a las mismas. En efecto, cuando un territorio está expuesto a una o varias amenazas, este, al igual que los elementos que contiene, están inevitablemente en situación de fragilidad, lo que implica riesgos. El objeto de este capítulo es pues identificar las amenazas a las que está expuesto el territorio metropolitano y su repartición espacial. Es sin embargo útil, previamente comprender lo que reviste la noción de amenaza

La amenaza es un fenómeno potencialmente destructor, de origen natural (sismo, ciclón, erupción volcánica...), antrópico (explosiones al interior de una fábrica de productos químicos, actos de violencia, guerra...) o mixto (por ejemplo, ciertos deslizamientos de terreno, inundaciones, sequías, epidemias...), capaz de afectar a un territorio definido por la presencia y la importancia de los elementos que se ubican en él (habitantes, bienes, patrimonio, actividades, etc). Puede caracterizarse por su naturaleza, una intensidad, una extensión espacial y también una frecuencia. Si bien no es totalmente aleatoria, constituye una potencialidad destructora que genera incertidumbre y por tanto dificultades políticas de manejo de los riesgos. Es posible, en efecto,

aproximarse a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dado, al igual que a su intensidad, pero jamás se puede definir las con precisión.

Por otro lado, la noción de amenaza natural (como la de riesgo natural), a menudo utilizada, es muy cuestionable. En efecto, la amenaza puede tener un origen natural pero se antropiza rápidamente, sobre todo en el medio urbano, lo que significa que el comportamiento de los hombres, las actividades y el uso del suelo influyen en diversos grados en los procesos físicos. En otras palabras y particularmente en el medio urbano, los destructores no son los procesos naturales en sí sino muchas veces su transformación por la antropización del medio. Es por ejemplo el caso de las inundaciones cuando la cantidad, la velocidad y la trayectoria de los flujos se ven modificadas por la ocupación y la impermeabilización de los suelos. Es también el caso de las ondas sísmicas, cuya propagación, frecuencia, trayectoria y amplitud son alteradas por la existencia de construcciones o de rellenos realizados por el hombre. Es bastante conocido que no son las sacudidas sísmicas en sí lo que ocasiona la pérdida de vidas humanas, sino los hundimientos de los edificios y los incendios que desatan. En el medio urbano, debido a una actividad humana intensa y compleja, las amenazas responsables de destrucción están ampliamente antropizadas y por tanto ya no tienen sino un lejano origen natural.

Finalmente, una amenaza cuando se manifiesta, rara vez presenta una configuración simple. A menudo se

producen efectos en cadena. Un sismo puede generar deslizamientos de terreno y la ruptura de represas que provocan violentas inundaciones. Estas pueden a su vez desatar cortocircuitos, incendios o explosiones en industrias que manejan productos peligrosos. Las amenazas, además de la incertidumbre que las rodea, son pues fenómenos complejos cuyas manifestaciones son muy difíciles de prever. Generalmente son analizadas independientemente unas de otras pero hay que guardar en mente esta complejidad que, aunque evidente al hacer un balance de una catástrofe, es a menudo ignorada al momento de evaluar los riesgos.

En el caso de Quito, debido al contexto geodinámico, geomorfológico, hidroclimático y antrópico, las amenazas son particularmente numerosas y variadas. Algunas tienen fuertes probabilidades de ocurrencia como las inundaciones ligadas a defectos de los colectores, los deslizamientos de terreno o los accidentes vinculados con el almacenamiento y el transporte de productos peligrosos. Otras sobrevienen con frecuencias claramente menores como los sismos, las erupciones volcánicas o los derrumbes generalizados de vertientes. Algunas tienen efectos limitados, e incluso puntuales, en el espacio (como deslizamientos de terreno, aluviones, inundaciones del tipo que se conoce en Quito), otras pueden tener consecuencias mucho más amplias (sismos, caída de ceniza, contaminación de las aguas, etc.). Finalmente, como lo indica el mapa multi-amenazas del Ecuador (mapa 3-1), algunas amenazas pueden atañer a una gran parte del Distrito (deslizamientos

de terreno), e incluso a la totalidad de él (sismos, erupciones volcánicas), mientras que otras pueden afectar apenas a porciones reducidas del territorio (inundaciones, fenómenos ligados al almacenamiento de productos peligrosos, etc.).

Para analizar la exposición del territorio metropolitano a las amenazas, nos basamos globalmente en la información existente en este campo. Es el caso de las amenazas volcánicas, sísmicas, geomorfológicas, hidroclimáticas y morfoclimáticas que son objeto de las cinco primeras partes del capítulo. La cuestión de los productos peligrosos, objeto de la sexta parte, es en cambio el resultado de investigaciones realizadas por el equipo del IRD con el apoyo de instituciones tales como la Fundación Natura, el CONSEP¹, la Dirección Nacional de Hidrocarburos, el SIAT² o el Cuerpo de Bomberos de Quito. La última parte del capítulo ofrece una síntesis cartográfica de la exposición del DMQ con base en los seis tipos de amenazas analizados previamente.

Las limitaciones de la información presentada en este capítulo serán desarrollados más adelante. Sin embargo, es conveniente resumirlos de entrada a fin de que el lector pueda apreciar los resultados con todas las precauciones necesarias. Tales limitaciones se deben, por una parte, a la diversidad de las amenazas consideradas. Los seis tipos de amenazas considerados constan entre los más significativos de la situación del DMQ, pero no cubren toda la panoplia de amenazas que este puede enfrentar. No se consideraron, por ejemplo, los incendios (al menos

aquellos que no están vinculados con el almacenamiento de productos peligrosos) ni los movimientos sociales en cuyo caso sería posible, por experiencia, localizar los lugares más expuestos. No se analizaron tampoco otros fenómenos como las granizadas, las sequías o los fuertes vientos³.

Por otra parte, los límites atañen a los resultados cartográficos. Estos se apoyan en datos que corresponden al estado actual de los conocimientos en materia de exposición a las amenazas en Quito. Ahora bien, no todos los datos cubren la superficie total del Distrito Metropolitano. En otras palabras, ciertos espacios, en especial en la periferia del DMQ, presentan pocas amenazas porque la información cartográfica es inexistente, lo que evidentemente no significa que así sea. Por otro lado, inevitablemente imperfectos, estos conocimientos están llamados a evolucionar. Los lugares expuestos que presentan los mapas corresponden pues a una exposición potencial (lo que por cierto es una característica esencial de las amenazas) y requieren de estudios posteriores a mayor escala, en particular allí donde, en función de la información existente, la

¹ Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacentes y Psicotrópicas.

² Servicio de Investigación de Accidentes de Tránsito de la Policía Nacional.

³ La cuestión de las sequías fue evocada en los capítulos 7 y 8 relativos a la vulnerabilidad del sistema eléctrico y a la del abastecimiento de agua respectivamente.

exposición es más preocupante, en términos ya sea de intensidad o de diversidad de los fenómenos que podrían producirse.

2. Amenazas volcánicas

Mientras los volcanes eran ante todo parte del marco natural, en el espacio de algunos años (1998-2002), la capital del Ecuador ha sido afectada directamente por dos erupciones, la del Guagua Pichincha, situado a menos de 15 km al oeste del centro histórico de Quito (actividad freática hasta el 23 de septiembre de 1999, magmática luego) y la de El Reventador (3 de noviembre de 2002) ubicado a un centenar de kilómetros de Quito, en la zona subandina. El largo período de alerta vinculado a la espera de una erupción del Guagua Pichincha, así como la caída de ceniza que produjeron ambos volcanes, perturbaron seriamente la actividad económica y social de la capital⁴ y

recordaron que esta está situada en un contexto geodinámico muy propicio a las erupciones. El arco volcánico ecuatoriano es, en efecto, el resultado de la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana y varios volcanes apagados o potencialmente activos se distribuyen siguiendo cuatro alineamientos a lo largo de la cordillera Occidental, del callejón interandino, de la cordillera Real y en el Oriente⁵.

Varios volcanes activos están localizados en o cerca de el DMQ, que se encuentra prácticamente rodeado (mapa 3-2). El Guagua Pichincha ha afectado seriamente a Quito en varias ocasiones a lo largo de la historia: en 1560, 1575, 1582, 1660 y, menos intensamente, en 1843 y 1868. Es sobre todo la erupción de 1660 la que más ha marcado la memoria y dejado testimonios escritos, debido a las grandes cantidades de ceniza que se depositaron en la ciudad⁶. El Cotopaxi, ubicado aproximadamente a 60 km al Sur de Quito, ha experimentado igualmente varias erupciones (alrededor de 30 desde la colonización española), de las cuales algunas llevaron ceniza hasta Quito y afectaron gravemente al valle de Los Chillos y, en menor medida, al valle de Cumbayá-Tumbaco bajo el efecto de flujos de lodo (o lahares) producto de la fusión parcial del glaciar que cubre al volcán (1742, 1744, 1768 y 1877). Las últimas erupciones de los demás volcanes son más antiguas, pero no por ello tales volcanes dejan de constituir una seria amenaza, como es el caso particularmente del Cayambe, ubicado a 50 km al noreste de Quito (no representado en el mapa), cuya última erupción se re-

⁴ Para la erupción del Guagua Pichincha, véase Metzger, D'Ercole y Sierra (1999), D'Ercole y Metzger (2000) y D'Ercole y Metzger (2002), y para la de El Reventador, Estacio y D'Ercole (2003)

⁵ Hall y Beate (1991).

⁶ Según algunos textos, se habrían depositado ceniza aproximadamente en 20 cm de espesor en la ciudad (cifra considerada exagerada hoy en día), generando desplomes de techos, la muerte de parte del ganado y pérdidas en los cultivos de los alrededores. Además, la población tuvo que evacuar la ciudad durante algún tiempo.

monta a 1785-1786 (Samaniego y otros, 2004) y el Antisana localizado a 50 km al sudeste de Quito que ha experimentado igualmente erupciones históricas (1728, 1773 y tal vez 1801)⁷ Otros han tenido una actividad más remota, como el Pululahua hace 2.300 años y un tanto antes el Ninahuilca. Además, algunos más alejados, como El Reventador, pueden también afectar al DMQ con caída de ceniza. Fue el caso en 2002, pero las cenizas de ese volcán han llegado a la capital una decena de veces desde el siglo XVI.

El mapa 3-2 presenta los sectores del Distrito expuestos a la amenaza volcánica así como los productos vinculados con las erupciones (no están representadas las caídas de ceniza que pueden afectar a todo el territorio metropolitano). Los flujos piroclásticos⁸ constan entre las amenazas volcánicas más destructoras, pero, globalmente, salvo en el caso poco probable de erupción del Pululahua o del Ninahuilca, el DMQ está relativamente poco expuesto a este tipo de fenómeno. Sin embargo, los flujos piroclásticos del Guagua Pichincha, posibles en el flanco oeste del volcán, podrían amenazar localidades como Lloa situadas a proximidad del cráter, pero en el caso del DMQ los peligros más inquietantes son la caída de ceniza y los flujos de lodo.

Quito ha experimentado recientemente caídas de ceniza pero podría tratarse de mayores cantidades como fue el caso en 1660. El desarrollo de una columna pliniana⁹ podría, en efecto, generar importantes caídas de ceniza y de lapilli que afectarían más o menos severamente a la capital según la dirección de

los vientos dominantes¹⁰. Los daños pueden ser importantes (entre otros el hundimiento de techos en el centro antiguo), pero más allá de los daños puntuales, las perturbaciones del funcionamiento urbano pueden ser muy variadas. El cuadro 3-1 proporciona un ejemplo de las consecuencias de la alerta naranja y de la caída de cenizas sobre Quito vinculada a la actividad del volcán Guagua Pichincha. El evento fue relativamente menor (algunos milímetros de ceniza solamente) pero los efectos fueron múltiples. Además, la columna «alerta naranja» del cuadro muestra que la prevención contra la amenaza puede, por sí sola, originar serias perturbaciones en el funcionamiento urbano, incluso antes de que el volcán erupcione

⁷ Fuente. IG-EPN.

⁸ Son masas incandescentes formadas por ceniza, gases y fragmentos de roca a altas temperaturas. Se desplazan pendiente abajo a altas velocidades (50-250 km/h) y tienen elevadas temperaturas al momento del depósito (350-1.000 °C). Se producen durante las erupciones explosivas por el colapso de las columnas eruptivas o de un domo de lava (fuente: IG-EPN).

⁹ Las erupciones plinianas se caracterizan por el desarrollo de columnas eruptivas que pueden alcanzar de 20 a 30 km de altura.

¹⁰ Por lo general, en Quito, los vientos soplan en dirección este-oeste, pero a veces lo hacen en sentido inverso, lo que ocurrió en especial cuando la erupción del Guagua Pichincha del 5 de octubre de 1999.

Cuadro 3-1
Síntesis de las consecuencias de la alerta naranja (del 27 de septiembre al 4 de octubre de 1999) y de las caídas de ceniza (fines de septiembre/principios de octubre) en Quito ligadas a la reactivación del volcán Guagua Pichincha

Elementos del sistema urbano que han soportado y/o generado las más graves consecuencias	Alerta naranja	Cenizas
Población evacuada (Lloa)		
Establecimientos escolares		
Aeropuerto		

Elementos del sistema urbano que han soportado y/o generado consecuencias negativas moderadas	Alerta naranja	Cenizas
Integridad física de la población		
Integridad moral de la población		
Sistema de abastecimiento de agua		
Transportes colectivos e individuales		

Elementos del sistema urbano que han soportado y/o generado consecuencias negativas menores	Alerta naranja	Cenizas
Telecomunicaciones		
Red eléctrica		
Hospitales		
Patrimonio histórico		
Valor del suelo		

Fuente: D'Ercole y Metzger, 2000.

En gris: efectos en el campo correspondiente.

Las amenazas volcánicas más temibles para el Distrito, debido a su carácter destructor, son los flujos de escombros y lodo (lahares). Se trata esencialmente de flujos de lodo que pueden producir las erupciones del Guagua Pichincha y del Cotopaxi. En el caso del Pichincha, estos pueden desarrollarse en las laderas occidentales por la movilización de la ceniza con precipitaciones que acompañan a la erupción o posteriores a ella, y por flujos torrenciales en las quebradas. En la ciudad de Quito, más de 2 000 hectáreas, es decir más del 10% de su superficie, están expuestas a ello: en los flancos del Pichincha y en las partes planas situadas frente a las quebradas, principalmente en las parroquias de Cotocollao, La Concepción, Santa Prisca, San Roque, La Magdalena y La Villa Flora.

En el caso del Cotopaxi, los lahares producidos por la fusión del casquete glaciar que recubre al volcán podrían afectar a una parte importante del DMQ a lo largo de los ríos Salto, Pita, Santa Clara, San Pedro, amenazando a una gran parte del valle de Los Chillos así como al valle Cumbayá-Tumbaco. Estos espacios, poco poblados cuando las últimas grandes erupciones del Cotopaxi, están hoy en día muy urbanizados. El mapa 3-2 representa dos zonas expuestas que corresponden a dos niveles de riesgo. La primera (riesgo mayor) cubre los espacios afectados en 1877 mientras que la segunda (riesgo menor) se vio afectada al producirse una erupción hace 4.500 años y su mayor extensión se explica por tratarse de una explosión más violenta y un casquete glaciar más desarrollado.¹¹

3. Amenaza sísmica

El contexto geodinámico que origina las erupciones volcánicas también provoca los sismos que sacuden regularmente al Ecuador. Quito, a través de su historia, no ha conocido aparentemente sismos tan violentos en sus efectos como aquellos que en 1797 y 1949 destruyeron totalmente las ciudades de Riobamba, Ambato y Pelileo y mataron a varios miles de personas. Sin embargo, desde la conquista, en la capital se han sentido 23 sismos de intensidad superior a VI, entre los cuales 8 de intensidad mayor a VII (Del Pino y Yepes, 1990; Chatelain y otros, 1996)¹². Entre los sismos más fuertemente sentidos

¹¹ En lo que respecta al volcán Cotopaxi, el mapa 3-2 fue realizado con base en el de Hall y Hillebrandt (1988) —«Mapa de los peligros volcánicos asociados con el volcán Cotopaxi», escala: 1:50 000, proyecto UNDRO-USAID-EPN—, único mapa disponible al momento en que se realizó el estudio correspondiente a este libro. Sin embargo, una nueva versión de este mapa acaba de ser publicada por el IG-EPN y el IRD —«Mapa regional de peligros volcánicos potenciales del volcán Cotopaxi. Zona Norte», escala: 1:50.000, abril de 2004—. En él ya no aparece la zona de riesgo menor del mapa de 1988 en la medida en que la probabilidad de afectación es muy baja

¹² La intensidad sísmica es la medida de los efectos producidos por un terremoto. Con una intensidad de VII las personas tienen dificultad en mantenerse de pie, la vibración es sentida por quienes están conduciendo un automóvil, los daños son pocos en los inmuebles

en Quito figuran los de 1755, 1797, 1859 y 1868 (Escuela Politécnica Nacional y otros, 1994), y en cada caso los daños materiales fueron importantes. El sismo del 5 de marzo de 1987 alcanzó una intensidad IX en la zona epicentral localizada en la provincia de Napo. Las consecuencias fueron dramáticas muriendo de 1.000 a 5.000 personas según las estimaciones, y la rotura del oleoducto afectó gravemente a la economía del país, dependiente en gran medida de la exportación de petróleo. En la capital, donde según los lugares la intensidad fluctuó entre VI y VII, los

bien construidos pero pueden ser importantes en los demás. Con una intensidad de VIII, el mobiliario incluso pesado se desplaza o cae, los muros de piedra se desmoronan, los daños son moderados en las edificaciones bien construidas, muy importantes en las demás, se pueden producir deslizamientos de terreno y abrirse grietas en el suelo. Una intensidad IX o superior corresponde a daños generalizados (destrucción parcial o total de las construcciones) e incluso transformación del paisaje (Madariaga y Pernier, 1991).

¹³ Este sismo dio lugar a la creación del Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural (FONSAL). Véase D'Ercole y Metzger, 2002, p. 59-60

¹⁴ Los efectos de sitio geológicos o litológicos dependen de las características del subsuelo. Ciertas formaciones geológicas poco consolidadas, en especial los suelos aluviales, amplifican las ondas sísmicas agravando los daños en la superficie. Los efectos de sitio topográficos están ligados al relieve y conciernen en general las zonas de ruptura de pendiente, las crestas, los bordes de mesetas y las cimas (Lutoff, 2000).

daños fueron más moderados pero afectaron sobre todo al patrimonio histórico que requirió de varios años de restauración¹³. Otro sismo se registró en Pomasqui en 1990 pero no provocó daños significativos, salvo localmente en la zona epicentral.

Los sismos que pueden afectar a Quito provienen de tres fuentes (Chatelain y otros, 1996). La primera es la zona de subducción entre la plaza de Nazca y la Sudamericana, al oeste de la costa ecuatoriana. Allí se originan los sismos más violentos como el de Esmeraldas de 1906. La segunda fuente es de origen continental y se sitúa en la placa Sudamericana, principalmente bajo las zonas andina y subandina, donde pueden producirse sismos del tipo del de 1987. Finalmente, las fallas situadas en el Distrito o en su proximidad pueden provocar sismos locales (caso de la falla Catequilla que generó el sismo de Pomasqui en 1990).

Dada la diversidad de las fuentes sísmicas, de la localización y de la profundidad de los epicentros, es difícil evaluar la amenaza sísmica en el DMQ sobre las bases sismogénicas. De allí que se realicen microzonificaciones sísmicas que tienen como objetivo identificar y localizar en un sitio determinado (el de una ciudad por ejemplo) las zonas que presentan una respuesta sísmica homogénea y cuantificar los movimientos y efectos correspondientes (Dominique y Samarcq, 1997). El grado destructor de un sismo puede ser diferente a distancias a veces muy cortas y para apreciarlo se suelen distinguir los efectos de sitio (geológicos y topográficos¹⁴), los efectos

inducidos (movimientos de terreno, licuefacción de los suelos¹⁵) y la ruptura eventual de las fallas activas en la superficie.

En Quito, la micro zonificación sísmica fue realizada en 2001 por la EPN en el marco de un convenio con el MDMQ¹⁶. El mapa 3-3 representa los tres tipos de zonas resultantes de ese estudio que no cubre sino una parte del Distrito Metropolitano. Tales zonas permiten establecer normas diferentes de construcción antisísmica en el marco del Código Ecuatoriano de la Construcción. Dadas la naturaleza de las rocas y sus propiedades mecánicas (cohesión, densidad), la zona S3 presenta las condiciones más desfavorables pues la probabilidad de que en ella se registren graves daños en caso de sismo es mayor (suponiendo obviamente que las construcciones e infraestructuras presenten igual resistencia en todas las zonas). Esta zona corresponde en especial a Pomasqui y San Antonio de Pichíncha, al igual que a las principales quebradas del centro y norte de la ciudad, hoy en día rellenas y canalizadas en su parte urbanizada. A la inversa, la zona S1 presenta las características menos desfavorables y los daños, en un mismo tipo de construcción, podrían ser menos importantes.

La micro zonificación sísmica se apoya esencialmente en los efectos de sitio geológicos. No contiene informaciones sobre los efectos de sitio topográficos, los efectos inducidos ni las fallas activas, que son sin embargo útiles para la evaluación de la amenaza sísmica. Nuestro estudio, basándose en los

datos existentes, tampoco proporciona esa información, pero en cambio tiene en cuenta el fenómeno de licuefacción con base en la información proporcionada por el *Atlas Infográfico de Quito* (1992, lámina 04). La información cartográfica aparece en el mapa 3-3. Los límites de las áreas potencialmente licuefactibles corresponden a la cuenca sedimentaria sobre la que se ha desarrollado Quito, interrumpida en la mitad por el Panecillo, elevación de origen volcánico.

4. Amenazas geomorfológicas

Al igual que las erupciones volcánicas y los terremotos, las amenazas geomorfológicas pueden atañer a gran parte del DMQ, pero su frecuencia es mayor. La amenaza geomorfológica se puede definir como

-
- ¹⁵ Los movimientos de terreno son desencadenados por la acción sísmica en los suelos potencialmente inestables. La licuefacción sobreviene en suelos pulverulentos, poco compactos, situados bajo la napa freática. Bajo el efecto de la energía liberada por la onda sísmica, el suelo pasa del estado sólido al líquido, induciendo «una disminución de su resistencia al cizallamiento que, en el último estado, puede ser nula» (Stieljes, Bour y Monge, 1997). Este fenómeno se manifiesta en deslizamientos de terreno en pendientes débiles, hundimiento del suelo, alteración de los cimientos de construcciones (Lutoff, 2000).
- ¹⁶ Además del mapa de micro zonificación sísmica de los suelos del DMQ, se utilizó para esta síntesis el artículo de Valverde y otros (2001)

la manifestación del desplazamiento gravitacional de masas de terreno desestabilizadas bajo el efecto de fenómenos naturales (precipitaciones anormalmente fuertes, sismo...) o de acciones antrópicas (remoción de tierra, vibraciones, deforestación, explotación de materiales en canteras...) —MATE, METL, 1999—. En aproximadamente el 50% del área metropolitana, las condiciones son particularmente propicias al desencadenamiento de amenazas geomorfológicas (Dávila, 1992). Se trata de espacios que reúnen una serie de características desfavorables: la morfología (cimas agudas, fuertes pendientes, vertientes abruptas, encañonamientos, importantes desniveles, afloramientos rocosos...), la naturaleza de los terrenos (depósitos volcánicos más o menos endurecidos, coluviones al pie de las laderas), el sistema de drenaje (problemático en los sectores urbanizados), la erosión de los suelos (muchas formaciones al desnudo sin vegetación, erosión regresiva, ocupación del suelo propicia a la erosión).

Aunque existen numerosos fenómenos de transición, se pueden distinguir tres tipos de amenazas geomorfológicas en el DMQ: los deslizamientos, los derrumbes y los hundimientos.

Los **deslizamientos** corresponden al desplazamiento en masa de terrenos en una pendiente. En Quito se trata habitualmente de porciones de talud de algunos metros de altura que se vienen abajo, pudiendo llevar consigo algunas casas o enterrar las que se encuentran más abajo. Estos accidentes acaecen sobre todo en estación lluviosa y están relacionados

con el debilitamiento de la cohesión de los depósitos volcánicos por la humedad en el borde de los taludes mal o poco apuntalados y mal drenados (Peltre, 1989, Peltre y D'Ercole, 1992). No se trata de lodo, sino de masas de tierra húmeda que recorren generalmente pequeñas distancias. Estos fenómenos son localizados pero sumamente dañinos: destrucción de casas, pérdida de vidas humanas (P. Peltre inventarió 115 víctimas entre 1900 y 1988). Varios eventos de este tipo se produjeron en 2000 debido a un invierno particularmente fuerte. Hubo que deplorar víctimas y la destrucción de viviendas, por ejemplo en Santa Teresita (13 de abril de 2000) y en el Panecillo (13 de mayo de 2000)

Los **derrumbes** o desmoronamientos de vertientes rocosas corresponden a caídas de masas de roca, movimientos rápidos y violentos resultantes de la acción de la gravedad y que afectan a materiales rígidos y fracturados. Los bloques pueden rodar y rebotar para luego estabilizarse en una zona llamada «de esparcimiento» (MATE, METL, 1999a). Mientras los pequeños derrumbes son frecuentes en las vertientes de fuerte pendiente, los derrumbes en gran masa son mucho más raros pero siempre espectaculares. Fue el caso, por ejemplo, del que sobrevino en la Vía Interoceánica en mayo de 1998. La consecuencia fue el cierre de un eje vial muy importante que unía al espacio central de Quito con el valle de Cumbayá-Tumbaco. En 2004 la vía sigue interrumpida y es imposible restablecerla en razón de la erosión basal debida a la quebrada El Batán. De allí que se está construyendo un túnel de 1.300 m de

largo cuya inauguración está prevista para antes de fines de 2004

Los **hundimientos** son movimientos gravitacionales de componente esencialmente vertical y resultan de la ruptura violenta de bóvedas de cavidades subterráneas naturales o artificiales (MATE, METL, 1999a). En Quito se trata básicamente de fenómenos de origen antrópico: el hundimiento de calzadas defectuosas en el material de relleno de las antiguas quebradas (Peltre, 1989; Peltre y D'Ercolc, 1992). La formación de la cavidad está ligada generalmente a la ruptura de un colector de alcantarilla bajo el efecto de la presión alcanzada por las aguas cuando se producen fuertes precipitaciones. Tal ruptura origina un flujo paralelo al colector en los materiales de relleno poco compactos de la quebrada que progresivamente son evacuados, abriéndose así una cavidad. La erosión subterránea pasa desapercibida hasta el día en que la bóveda cede bruscamente. Hundimientos de este tipo no son raros (36 inventariados por Peltre entre 1900 y 1988). Se producen algunos menores como el de la calle Macuna en el sector de Los Dos Puentes (febrero de 2003) u otros más espectaculares como el que sobrevino el 3 de mayo de 1978 en la avenida América o aquel que afectó a la avenida de Los Libertadores el 1 de febrero de 1985. En este caso la quebrada Navarro recobró su cauce natural y abrió la avenida en 200 m de largo, 30 m de ancho y 20 de profundidad

En cuanto a la cartografía de la amenaza geomorfológica, se elaboraron tres mapas que cubren espacios

diferentes y proporcionan informaciones complementarias. El mapa 3-4 fue realizado a partir del estudio de Peltre sobre los accidentes morfoclimáticos acaecidos en Quito entre 1900 y 1988 (Peltre, 1989) Concierne a la ciudad de Quito e indica una fuerte concentración de los deslizamientos, derrumbes y hundimientos en la parte central de la ciudad (El Panecillo, Centro Histórico, El Placer y La Libertad). El resto se dispersa en la periferia, por lo general en sectores de fuertes pendientes.

El mapa 3-5, de susceptibilidad a los deslizamientos en el área urbana de Quito, fue elaborado en el marco del *Escenario sísmico de Quito* (EPN y otros, 1994)¹⁷. Este mapa, que desborda ampliamente el espacio cubierto por la ciudad de Quito, ofrece pues una visión dinámica buscando identificar los espacios en los que pueden producirse deslizamientos de terreno en caso de sismo. Se basa en el sistema de pendientes, en las características litológicas y en la localización de deslizamientos antiguos. Globalmente, con excepción de los espacios correspondientes a la depresión sedimentaria (sometida por otro lado al riesgo de licuefacción, como se vio anteriormente), los riesgos de deslizamientos de terreno son elevados a muy elevados.

¹⁷ Véanse en especial las páginas 40 y 41 así como el anexo V, p. 223-229 (Galo Plaza y Ramiro Maruri, «Evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos en el área urbana de Quito»)

El mapa 3-6, de estabilidad geomorfológica del área metropolitana de Quito, aparece en el *Atlas Infográfico de Quito* (Dávila, 1992). A diferencia de los anteriores, cubre una gran parte del DMQ y apunta ante todo a determinar los espacios más o menos propicios a las implantaciones humanas (viviendas, red vial, alcantarillado, etc.). El grado de estabilidad de las zonas fue determinado con base en numerosos criterios: características morfológicas, tipo de suelo predominante, uso del suelo, características hidrogeológicas y morfodinámicas. Este mapa completa entonces al anterior y muestra que cerca de la mitad del sector representado corresponde a zonas consideradas como relativamente inestables o inestables. Por otro lado, en él aparecen las quebradas ya que constituyen espacios de inestabilidad como se pudo observar a propósito de los hundimientos.

5. Amenazas hidroclimáticas

El DMQ se sitúa en una zona de clima ecuatorial templado por la altura y en el cruce de las influencias Pacífica y Amazónica modificadas por las condiciones orográficas (Sierra, 2000). Por ello, el Distrito es regado de manera muy desigual, siendo el sur y el oeste mucho más húmedos, en promedio, que el norte (mapa 3-7). Sin embargo, incluso en las zonas más húmedas la cantidad anual de precipitaciones no

es excepcional. Lo que en cambio caracteriza a la pluviometría de Quito es su irregularidad a la vez en el tiempo y en el espacio (Pourrut y Leiva, 1989). Los meses más lluviosos suelen ser febrero, marzo y abril y luego octubre y noviembre y, si bien globalmente las precipitaciones son más abundantes en el sur, a menudo se producen de manera localizada. El dicho popular «en Quito llueve por barrios» está debidamente comprobado por las observaciones científicas (Pourrut y Leiva, 1989).

El principal problema en materia de amenazas hidroclimáticas son los fuertes aguaceros, bien localizados, de corta duración (rara vez más de una a dos horas) y acompañados de granizo, que se producen generalmente en estación lluviosa¹⁸, aunque a veces también durante los meses que se conocen como secos. Por ejemplo, el 12 de diciembre de 2001, cayeron 53 mm de agua en algo más de 2 horas en el centro norte de Quito. De modo general, las intensas precipitaciones se explican por la conjunción de temperaturas anormalmente elevadas y un aporte de humedad proveniente de la Amazonía, lo que provoca la formación de nubes convectivas que se desarrollan verticalmente en más de 10 km. Es en condiciones de este tipo cuando se producen inundaciones en Quito.

Este fenómeno en la capital nada tiene en común con las inundaciones lentas y durables (o de llanura) que afectan regularmente a importantes sectores de la Costa, en especial cuando se produce un fenómeno El Niño. Algunas, fuera de la ciudad, pueden

¹⁸ Fue el caso por ejemplo durante el mes de abril de 2000, particularmente lluvioso.

asimilarse a crecidas rápidas como la del río Monjas que, el 12 de diciembre de 2001, destruyó el puente que permite el acceso a la urbanización La Pampa al norte de Pomasqui. En el medio urbano, son esencialmente antrópicas¹⁹. Se deben en primer lugar al relleno de los drenes naturales que son las quebradas, pero también a la impermeabilización de los suelos (lo que aumenta la cantidad y la velocidad del agua a evacuar) y a la insuficiencia de la red de alcantarillado cuya capacidad de evacuación es superada cuando se producen aguaceros intensos²⁰. El escurrimiento fluye entonces por las calles en pendiente, el agua se acumula en las calles transversales y las zonas bajas, alcanzando alturas de 30 a 60 cm (Peltre, 1989). Generalmente las consecuencias no son muy graves en el plano de las vidas humanas²¹. En cambio, las consecuencias materiales y económicas, acumuladas, son a menudo importantes: desgaste acelerado de las calzadas, interrupción de la circulación, paralización de las actividades productivas, inundación de subsuelos, pérdidas de mercadería almacenada, daño o destrucción de equipamientos, de casas, etc. (Peltre, 1989, Ayabaca, 2002).

En lo que respecta a la representación de la amenaza hidroclimática, se escogieron tres mapas y todos conciernen únicamente la ciudad de Quito pues ningún mapa de inundaciones ha sido aún elaborado a la escala del Distrito. El primero (mapa 3-8) se extrajo de los trabajos de Peltre sobre los accidentes morfoclimáticos acaecidos en Quito entre 1900 y 1988 (Peltre, 1989). Indica los espacios afectados por las inundaciones durante ese período así

como el número de eventos registrados. Las 233 inundaciones identificadas atañen sobre todo a las zonas de la «planicie de Quito» y particularmente a los sectores de La Carolina y el oeste del aeropuerto al norte, Chimbacalle y La Magdalena al sur. El segundo mapa utilizado, no reproducido en este libro, es el de las áreas inundables (AIQ, 1992), bastante similar al anterior en la medida en que se basa en gran parte en los datos de Peltre. El mapa 3-9, elaborado

¹⁹ una «creación urbana», según Alexis Sierra (2000).

²⁰ El programa «Sistema de Pronóstico Hidrológico de las Laderas del Pichincha y del Área Metropolitana de Quito» (SISHILAD), desarrollado entre 1995 y 1999 por la EMAAP-Q, el ORSTOM (actual IRD) y el INAMHI, demostró que el problema de las inundaciones en Quito no está ligado, como se pensaba antes, a las laderas del Pichincha, en la medida en que los caudales líquidos allí registrados son bajos. «El verdadero peligro radica no en las laderas, sino en la urbanización y el cambio de uso de sus áreas verdes lo que conlleva la impermeabilización de sus suelos y la multiplicación del número y magnitud de las crecidas... Si hubiésemos preservado la red natural de drenaje, fenómenos tales como crecidas y aluviones llegarían al río Guayllabamba sin generar desgracias en la urbe, y habríamos considerado que esos flujos son un evento normal en el decurrir de ríos y quebradas» (Ayabaca, 2002).

²¹ A veces se deben sin embargo deplorar algunas víctimas. Durante el evento del 12 de diciembre de 2001, 3 personas encontraron la muerte, aprisionadas en un ascensor en un parqueadero subterráneo inundado.

más recientemente por la EMAAP-Q (2000), representa los sitios de Quito afectados por inundaciones debidas a las insuficiencias de la red de alcantarillado. Las zonas expuestas aparecen de manera más puntual que en el mapa 3-8 y cubren espacios a veces diferentes de los identificados en el análisis histórico de Peltre, en particular al sur del Panecillo o al este del aeropuerto²².

6. Amenazas morfoclimáticas

La amenaza geomorfológica y la amenaza hidroclimática pueden combinarse y desembocar en una amenaza morfoclimática que se manifiesta mediante fenómenos que, en el Ecuador, se denominan «aluviones», «aludes» o «flujos de lodo». En realidad

²² Tal vez habría que ver en estas diferencias el efecto de la evolución de la urbanización o del ordenamiento urbano que han mejorado o deteriorado el drenaje. Los dos mapas corresponden además a distintas épocas. Así pues, convendría realizar estudios complementarios a este respecto

²³ De cierta manera, en lo que respecta a sus efectos, estos fenómenos son similares a los flujos de lodo y escombros (o lahares) que pueden asociarse a las erupciones volcánicas. En el caso del Guagua Pichincha, se trata sobre todo de ceniza acumulada que puede mezclarse con fuertes lluvias. En el del Cotopaxi, el origen del elemento líquido difiere en la medida en que estaría esencialmente ligado a la fusión del casquete glaciar

existe una gran variedad de este tipo de fenómenos según la concentración de materiales sólidos y líquidos en los volúmenes desplazados. En Francia se utiliza una terminología precisa en función de la densidad de los flujos. Se habla de «crecidas con fuerte carga sólida» cuando la concentración de materiales sólidos es inferior al 50% del volumen total, de «lavas torrenciales» cuando esta se sitúa entre el 50 y el 80%, de «deslizamientos-flujos» (emparentados con los deslizamientos) cuando es superior al 80%. Los fenómenos más viscosos corresponden a la superación del límite de liquidez en el suelo, que induce un deslizamiento según un plano arqueado y una colada aguas abajo, generalmente corta (Peltre, 1989). Los demás fenómenos resultan de la movilización por un torrente de materiales arrancados de sus riberas o anteriormente movilizados por un derrumbe o una colada de lodo aguas arriba. Estos fenómenos se desarrollan en distancias mayores y tienden a expandirse cuando la pendiente disminuye²³.

Estos fenómenos sobrevienen particularmente con ocasión de aguaceros intensos en un contexto de suelos saturados, después de un largo período lluvioso. Los daños que causan son generalmente importantes (destrucción total o parcial de viviendas, vehículos, carreteras, taponamiento de la red de alcantarillado), más severos que aquellos ligados a las inundaciones y, sobre todo, a menudo causan la pérdida de vidas humanas (véase el cuadro 3-2). El cuadro presenta solo los eventos más destructores de los últimos 30 años, pero este tipo de amenaza se produce con una frecuencia bastante elevada (70

Cuadro 3-2
Principales aluviones que causaron
daños importantes en Quito desde 1973

Año	Lugar	Principales consecuencias
1973	La Libertad	23 muertos y daños materiales
1975	La Gasca	2 muertos y daños materiales
1983	El Condado	3 muertos y daños materiales
1983	San Carlos	Solo daños materiales
1986	La Raya	Solo daños materiales
1997	La Comuna	2 muertos y daños materiales

Fuente: Sierra (2000)

eventos inventariados por Peltre entre 1900 y 1988, es decir algo menos de un evento por año).

Algunos de estos eventos han sido muy bien estudiados, como el flujo de lodo y escombros que afectó, en 1997, al barrio La Comuna, situado al noroeste de la ciudad de Quito (Perrin y otros, 1997). El lunes 31 de marzo de 1997, a finales de la tarde, un flujo de lodo cargado de bloques rocosos, de residuos vegetales y de diversos materiales, devastaba el barrio La Comuna al pie de la quebrada La Comunidad. Originó graves daños materiales y la muerte de dos personas. Según el estudio realizado, resultó de la conjunción de fuertes lluvias algunas horas antes sobre un suelo ya embebido, de fuertes pendientes en la cuenca vertiente de La Comunidad que causaron varios deslizamientos de terreno aguas arriba, y de la presencia de una gran cantidad de material al fondo de la quebrada (productos de los deslizamientos de terreno, piedras, coluviones, vegetación arrancada

por el flujo) que, con el agua, incrementó progresivamente la viscosidad y por tanto la capacidad erosiva de la colada. Según los autores, el papel del hombre en el desencadenamiento del evento fue menor en la medida en que las partes altas y medias de la cuenca vertiente de La Comunidad no estaban antropizadas.

En el caso de La Comuna, no se puede imputar la catástrofe a la deforestación, al sobrepastoreo, a la construcción de canales de drenaje u a otras actividades humanas, pero ese no es siempre el caso. Por ejemplo, la crecida lodosa de La Raya, en 1986, estuvo, al parecer, ligada a la acción antrópica, habiéndose desarrollado el fenómeno en una zona de plena mutación debido a su urbanización. Sin embargo, y esto es cierto en todos los casos, si bien el fenómeno natural es el detonador del accidente, solo explica en parte sus consecuencias (Perrin y otros, 1997). Interviene en efecto el factor humano se trate ya sea de la ocupación de terrenos inadecuados y amenazados, de normas jurídicas inexistentes o inapropiadas, del relleno de las quebradas que determina el desvío de los flujos, de una urbanización mal diseñada con, por ejemplo, la construcción de calles paralelas a la pendiente, o del contexto socioeconómico con una población poco consciente de los riesgos y poco preparada.

El Distrito de Quito es particularmente pobre en materia de representación cartográfica de la amenaza morfoclimática. Aparte de ciertos estudios puntuales que no ofrecen sino apreciaciones cartográficas locales, existe solo el mapa elaborado con

base en los trabajos de Peltre sobre la frecuencia de los aluviones en Quito y la localización de los sectores afectados entre 1900 y 1988 (mapa 3-10). *Grosso modo* se trata de tres espacios, generalmente ubicados frente a las quebradas: los sectores situados al oeste y al noroeste del aeropuerto (parroquias La Concepción y Cotocollao), aquellos afectados en especial por el aluvión de La Gasca en 1975 (parroquia Santa Prisca), así como los espacios que rodean al Panecillo.

Pese al interés que presenta, el mapa 3-10 es insuficiente para evaluar la amenaza morfoclimática a nivel del Distrito. No cubre sino el espacio de la ciudad; por su fecha de elaboración (1988) no puede tener en cuenta la reciente evolución de la urbanización y se basa en eventos acaecidos, lo que es útil, pero insuficiente para determinar amenazas potenciales. Como lo señalan Perrin y otros (1997), el peligro puede producirse donde menos se lo espera: las grandes quebradas, contrariamente a las pequeñas, serían, por una mayor evolución geomorfológica, menos susceptibles a la afectación de sus cauces por flujos de lodo y escombros. Esos investigadores ponen énfasis entonces en el peligro que representan las pequeñas quebradas, menos estudiadas. Debido al carácter destructor de este tipo de fenómeno y a una probabilidad de ocurrencia relativamente elevada, hay que desplegar un esfuerzo particular para mejorar su conocimiento y localizar los espacios expuestos.

7. Amenazas relacionadas con el transporte y el almacenamiento de productos peligrosos

Las analizadas anteriormente son amenazas en las cuales el elemento natural desempeña un papel más o menos importante. Este papel es más marcado en el caso de las amenazas volcánicas o sísmicas, menor en el de las amenazas geomorfológicas, hidroclimáticas y morfoclimáticas donde la antropización es a menudo determinante, tanto en el desencadenamiento de los eventos destructores como en sus consecuencias. Sin embargo, como se señaló ya en la introducción de este capítulo, independientemente del origen de la amenaza considerada, esta se antropiza rápidamente reduciendo así en mayor o menor medida el papel del fenómeno «natural».

Al lado de estas amenazas en las que el papel de la naturaleza es más o menos pronunciado, existen otras cuyo origen es exclusiva o principalmente humano. Así, André Dauphiné (2001), distingue:

- las amenazas de origen tecnológico (ruptura de represas, accidentes nucleares, químicos, mineros, ligados al transporte aéreo, terrestre o marítimo...),
- las amenazas de origen biológico —enfermedades infecciosas, emergentes, SIDA, efectos de ciertos organismos genéticamente modificados (OGM), amenazas ligadas a la calidad de la alimentación...—;

- las amenazas de origen social y político (hambriuna, genocidio, guerra civil, terrorismo, violencia urbana, criminalidad, drogas. .).

Estas amenazas antrópicas pueden, en ciertos casos, interferir con amenazas de origen natural. Por ejemplo, la ruptura de una represa puede derivarse de un sismo, una hambruna puede tener como origen, entre otros, una sequía, etc.). Son pues particularmente numerosas y variadas y si bien algunas son conocidas desde hace tiempo, tienden a convertirse en una preocupación creciente a nivel mundial y en particular en el medio urbano que ha experimentado un crecimiento excepcional desde hace medio siglo.

Estas amenazas también atañen al Ecuador. El país vivió un largo período de conflicto con el Perú y conoce problemas de criminalidad, otros ligados a las agitaciones sociales o al tráfico de drogas. Las amenazas de origen tecnológico se manifiestan cada vez más frecuentemente y afectan a las diferentes formas de movilidad, como los accidentes automovilísticos y los vinculados al almacenamiento y al transporte de productos peligrosos, en especial combustibles. En el marco de nuestro análisis de las amenazas en el DMQ, lo que atrajo nuestra atención son las amenazas ligadas al transporte y sobre todo al almacenamiento de productos potencialmente peligrosos.

Un problema que se torna importante

El cuadro 3-3 indica los principales accidentes tecnológicos que han acaecido en el Ecuador entre 1995 y 2002. Se observará que de los 30 eventos

inventariados durante este período, 10 se produjeron en el DMQ y las regiones cercanas y 8 en la región de Guayaquil. La mayoría de los accidentes graves han tenido pues lugar en las dos mayores ciudades del Ecuador. Se deben esencialmente a las industrias petroleras y químicas y a las actividades asociadas (en especial el transporte). Así, derrames, incendios, explosiones han causado muchas víctimas (alrededor de 60 personas fallecidas, centenares de heridos, varios miles de personas afectadas), importantes pérdidas económicas y contaminación ambiental de costos difícilmente evaluables.

Otros eventos mayores más recientes han afectado al DMQ como el incendio del poliducto en el barrio Santa Rosa de Chillogallo el 17 de abril de 2003, cuya causa fue el intento de robo de GLP. Como no se controló a tiempo el derrame de combustible, se formó una atmósfera explosiva. La explosión y el incendio que siguió ocasionaron la muerte de una persona, 30 heridos graves (por quemaduras y asfixia), la destrucción de 15 viviendas e importantes daños ambientales.

Eventos acaecidos al exterior del Distrito pueden también tener impacto en él. Así, el 8 de abril de 2003, en Papallacta, a aproximadamente 80 km al este de la ciudad de Quito, una tubería del Sistema de Oleoductos Transecuatorianos (SOTE) se rompió por el paso de maquinaria de obras públicas. Esta rotura acarreó el derrame de grandes cantidades de petróleo en la laguna de Papallacta que permite el abastecimiento de agua a cerca del 20% de la