

Minas antipersonal en Colombia

Hernán Paz Penagos

Existen entre 60 y 100 millones de minas antipersonal enterradas en unos 60 países, la mayor parte en lugares desconocidos⁽¹⁾; el uso indiscriminado de esta estrategia de guerra, sumado a su localización arbitraria, deja como consecuencia la mutilación o muerte no sólo de los actores del conflicto, sino de otras víctimas inocentes: adultos, niños y animales⁽²⁾. La Cruz Roja estima que detectar y desactivar todas las minas antipersonal, con los actuales medios nos llevaría unos mil años⁽³⁾; frente a este problema se trabaja en las siguientes soluciones: entrada en vigor de la convención de Ottawa¹, la asistencia a víctimas² y el desminado humanitario⁽⁴⁾, el cual se ha constituido en un propósito generalizado en el mundo. Con el objetivo de ayudar en la búsqueda de posibles soluciones a esta problemática, se presenta un informe sobre las minas antipersonal en Colombia y algunas técnicas de detección.

Palabras claves: minas enterradas, ubicación, activación, métodos de detección de minas antipersonal, investigación.

Las imágenes de este artículo tienen la mejor calidad que se pudo lograr, a partir del archivo suministrado por el autor (nota del editor).

Magíster en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia, ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y filósofo de la Universidad Santo Tomás de Aquino. Docente del área de comunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. hpaz@escuelaing.edu.co

GENERALIDADES

La mina antipersonal es un artefacto explosivo, provisto de espoleta, que, enterrado o camuflado, produce una explosión al ser activada por una persona o un vehículo.

Número y ubicación de minas antipersonales en Colombia

Entre 1990 y febrero del 2003, informes oficiales del gobierno registraron 960 áreas minadas en 422 de los 1.097 municipios de Colombia, y en 30 de los 32 departamentos en el país⁽¹⁾; esto significa que cerca del 38,4% del país está afectado por la presencia de minas antipersonal³. Antioquia, en su zona rural y urbana de Medellín, es el departamento más seriamente afectado, correspondiéndole el 22% de los “eventos” nocivos con minas antipersonal; le sigue Santander, especialmente en su capital Bucaramanga y el municipio de San Vicente de Chucurí, con 18%; Bolívar, en sus municipios de Morales, San Pablo, Achí y Santa Rosa, es el tercer departamento con 8%; Norte de Santander es el cuarto departamento en este renglón con 6,6%; Caquetá es el quinto (5,8%) y Arauca es sexto (5%). Otros departamentos afectados son Cesar, Cundinamarca, Meta, Putumayo, Boyacá, Cauca, Casanare, Valle, Tolima, Huila, Guaviare y Sucre (anexo 1).

Según un reporte del gobierno, del primer semestre de este año, hay 70.000 minas sembradas en el país, de las cuales los militares colombianos mantienen aproximadamente 23.415 para proteger líneas de energía e infraestructura de telecomunicaciones de los ataques de la guerrilla, y 54 campos minados para proteger 29 bases militares utilizando carga direccional dirigida (mina tipo HE Claymore) y minas NMAP-1; las minas restantes las sembraron actores no estatales: las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (Farc), el Ejército de Liberación Nacional (ELN), el

Ejército Popular de Liberación (EPL) y las fuerzas paramilitares de las Autodefensas Unidas de Colombia (AUC)⁽¹⁾. La guerrilla colombiana ha usado minas⁴ y artefactos explosivos

La mina antipersonal es un artefacto explosivo, provisto de espoleta, que, enterrado o camuflado, produce una explosión al ser activada por una persona o un vehículo.

improvisados por más de una década (minas “quiebrapatatas” caseras por más de quince años). Colombia se mantiene como el único país en el hemisferio occidental en donde se siembran minas antipersonal regularmente.

En Latinoamérica y Canadá, según la base de datos sobre minas terrestres del departamento de asuntos humanitarios de la ONU, existe el siguiente número aproximado de minas antipersonal⁽¹⁹⁾.

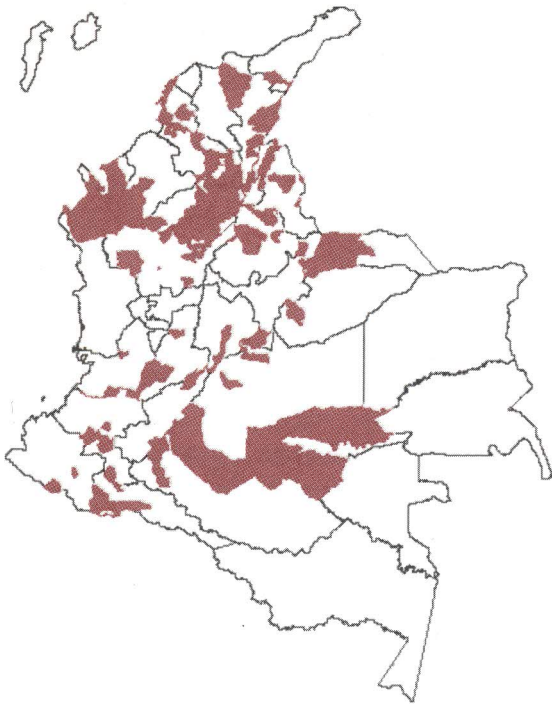


Figura 1. Departamentos de Colombia afectados por la presencia de minas antipersonal.

Tabla 1
Arsenales de minas antipersonal en la región de Latinoamérica y Canadá

Países	Arsenal actual	Cantidad ya destruida	Cantidad a retenerse
Argentina	89.170	0	3.049
Bahamas	0	0	0
Barbados	0	0	0
Belice	0	0	0
Bolivia	0	0	0
Brasil	35.012	0	17.000
Canadá	0	92.551	1.668
Colombia	23.451	8.038	986
Costa Rica	0	Desconocido	0
Dominica	0	0	0
Rep. Dominicana	0	0	0
Ecuador	170.344	101.458	16.000
El Salvador	0	Todo	0
Granada	0	0	0
Guatemala	0	Todo	0
Honduras	9.439	0	1.050
Jamaica	0	0	0
México	0	0	0
Nicaragua	91.813	40.000	1.971
Panamá	0	0	0
Paraguay	0	0	0
Perú	330.840	3.916	9.526
Santa Lucía	0	0	0
Trinidad y Tobago	0	0	0
Venezuela	Sí	0	Desconocido
Subtotal	726.618	240.467	50.264

Los países con mayor número de campos minados son Afganistán (existen diez millones de minas en todo el país y más de 30 tipos distintos), Camboya (en los últimos 25 años, se han sembrado cientos de miles de minas, unos cuatro millones; en ciertos lugares hay por lo menos tres capas de minas superpuestas), Mozambique⁵, Angola⁶, Kuwait (se calcula que hay un millón de minas) y Libia⁽²⁰⁾.

Una parte de la explicación de la proliferación de minas terrestres tiene que ver con su bajo costo debido a la fabricación semiautomática en gran escala⁽²⁾; mientras un arma regular puede llegar a costar US\$100.000 y más, el costo de una mina no supera los US\$30 y, en algunos casos, se consigue hasta por US\$0,5⁷ o a cambio de bienes materiales. Otra explicación tiene que ver con su efectividad para contener al enemigo en su avanzada⁸, ya sea eliminándolo, atemorizándolo o desorganizándolo⁽⁶⁾.

Víctimas de las minas antipersonal

El Observatorio de Minas Antipersonal de la Vicepresidencia⁹ señala que entre 1990 y lo que va corrido del 2004 se han registrado 2.585 víctimas por acción de minas del tipo sombreros chinos y trampas cazabobos, de las cuales el 50% de los civiles han sido niños y niñas. Así mismo, el 67% del total han sido miembros de la fuerza pública y el 30% de las víctimas murieron en el lugar del accidente.

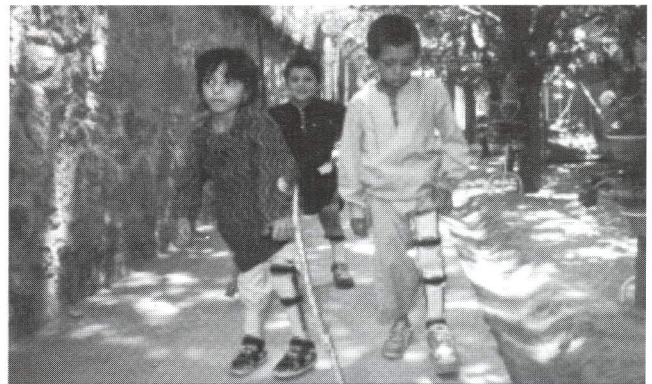


Figura 2. El drama de las víctimas inocentes.

Tabla 2
Datos sobre accidentes con minas antipersonal informados en Colombia

Año	Número de accidentes informados
2001	216
2002	530
Primer trimestre 2003	151
Primer trimestre 2004	26

Campos minados destruidos en Colombia

El número de campos minados destruidos¹⁰ por año es el siguiente: 2002: 877, 2003: 705 (primer trimestre de 2003: 71), primer trimestre de 2004: 137. En total, las fuerzas militares han destruido 8.038 minas, y faltan 23.451 que permanecen almacenadas debidamente¹¹; la remoción de una mina puede costar entre US\$200 y US\$1000; el costo por mina está en función de la certeza sobre zonas minadas, y la facilidad de acceso y trabajo en ellas⁽¹⁾. Los métodos aplicados son detección de metales, perros adiestrados y detectores Detest2^{(8),(9)}.

Países productores y exportadores de minas antipersonal

Los países productores y exportadores de minas antipersonal son Rusia¹², Italia¹³, Estados Unidos¹⁴, España¹⁵, la antigua Yugoslavia, Austria, Checoslovaquia¹⁶, Canadá, Francia, Bélgica¹⁷, Portugal¹⁸, Israel¹⁹, Egipto, Pakistán, China, Brasil²⁰ y Singapur²¹; la mayor parte de estos países son exportadores de productos acabados o de licencias de fabricación²². Algunos de dichos países firmaron el Tratado de Ottawa y suspendieron la producción y exportación de minas de este tipo. De acuerdo con el reporte del gobierno de enero del 2002 Indumil²³ producía, hasta esa fecha, minas tipo MAP, MAP-1, MAP-1M, MAT-2 y CCD.

MATERIALES CONSTITUTIVOS

Una mina está constituida básicamente por un sistema de iniciación, un cuerpo de plástico (mina mariposa: PFM-1), madera (PMD-6) o metal, y una carga explosiva.

Los explosivos empleados como carga principal son, con pocas excepciones, de tipo clásico:

- R - 1: compuesto de aluminio negro más aserrín.

- Cloratos: Benclor: benzoato de sodio clorato de potasio.

- Derivados nitrados: Amonal, Anfo: 97% de nitrato de amonio más 3% de ACPM o aceite; urea, TNT (Trinitrotolueno o toilita): forma parte de varios explosivos como el amatol, la pentolita, la composición B, etc. Ácido pícrico (trinitrofenol o melinita); tetrilo; el PETN (tetranitrato de pentaeritritol) y el RDX (ciclotrimetileno-trinitramina), dos de los explosivos más violentos que se conocen.

Algunos tipos de minas antipersonal contienen una carga de FAE (Fuel Air Explosive): explosivo gaseoso (gas mostaza o de tipo Lewisita) o químico.

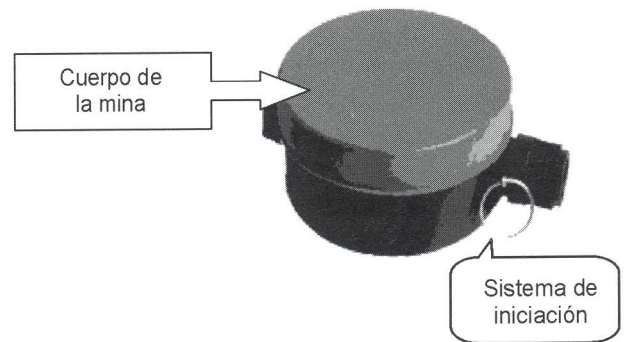


Figura 3. Partes básicas constitutivas de una mina antipersonal.

- Detonador eléctrico: consiste en cerrar un circuito eléctrico, generando así un corto a través de un filamento que se encuentra en un extremo; en el otro extremo, presenta una carga intermedia y un explosivo rápido RDX; el sistema está alimentado por una batería de 1,2 V y se emplea en minas con pesos desde una libra. Otra versión es la iniciación de la mina por relevo de corriente: al interrumpirse la corriente eléctrica se cierra el circuito y se activa la mina. Opuesto a este tipo de iniciación se encuentra el detonador de mecha de combustión lenta.



Figura 4. Explosivo utilizado para la fabricación de minas antipersonal.

Mecanismos de activación⁽¹⁰⁾

- **Iniciación por presión:** contienen un microinterruptor que se cierra por la fuerza de un cierto peso a través de un émbolo en un envase plástico; en ese instante se precipita el ácido sulfúrico sobre la pólvora negra.

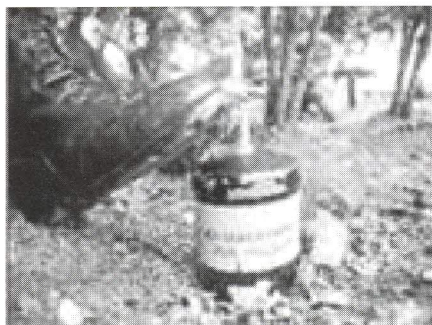


Figura 5. Activación de una mina antipersonal por presión.

- **Iniciación por alivio de presión:** la mina se activa cuando se retira algún objeto que presiona en forma constante el dispositivo de fuego.

- **Iniciación por tracción:** estas minas llevan incorporado uno o varios hilos, a ras del suelo, difícilmente observables a simple vista, que activan el dispositivo de fuego cuando los fuerzan. Por ejemplo, a través del movimiento del pie al avanzar.

- **Iniciación por alivio de tracción:** cuando se corta o se afloja el hilo que se pone tenso.



Figura 6. Activación de una mina antipersonal por alivio de tracción.

- **Iniciación por movimiento:** al mover el elemento señuelo, la gota de mercurio se mezcla en el tubo de xilocaína.

- **Iniciación por tensión:** a través de un gancho de ropa, se amarra de un árbol a otro.

- **Iniciación por control remoto:** las minas se activan induciendo señales a sensores que pueden ser magnéticos, electromagnéticos, acústicos e infrarrojos.

CLASIFICACIÓN DE LAS MINAS ANTIPERSONAL EN COLOMBIA

Por su estructura: las minas pueden ser de vidrio, de plástico: PVC (mina mariposa: PFM-1); de madera (PMD-6) o metálicas.

Por su sistema de detonación: las minas pueden ser eléctricas o químicas. Las primeras se activan mediante pólvora o por un detonador, mientras que las segundas se inician por presión del ácido sulfúrico hacia la pólvora negra, a través de un émbolo.

Por mecanismos de activación: entre éstas se encuentran las minas por presión, por tracción, por alivio de presión, por alivio de tracción, por inducción de sensores y eléctrico.

Por su efecto: las minas se clasifican en explosivas de onda de choque, de fragmentación, de fragmentación dirigida y de salto.

- **Minas antipersonal que producen ondas de choque:** están constituidas por una caja de plástico que contiene una carga explosiva y un dispositivo detonador. Puede tratarse de un sistema accionado por presión, mediante tracción con alambres trampa o de otro tipo. Estas minas suelen ser pequeñas ($D < 80$ mm), y muchas veces pesan menos de 100 g; alcanzan un radio de destrucción de 1 a 2 m y resultan indetectables.

- **Minas antipersonal de fragmentación (estáticas o saltadoras):** están constituidas por una carga explosiva dentro de una envoltura metálica o de plástico, en la que se encuentran esferas de acero o fragmentos metálicos de forma cúbica o cilíndrica con aristas aceradas. Se activan por presión, por tracción mediante alambres, por medio de dispositivos electrónicos, con captadores sonoros, magnéticos o sísmicos, barreras de rayos infrarrojos u otros. Pueden alcanzar radios de destrucción de 15 a 25 m. Un ejemplo de mina de fragmentación es la de origen soviético, bautizada Butterfly o Green Parrots (referencia PMF-1 o PMZ), que se usó mucho en Afganistán; estas minas se esparcen mediante helicópteros o aviones; la carga está compuesta de 40 g de explosivo líquido.

La versión saltadora incluye una carga de propulsión que las hace saltar entre 1 y 2 m antes de explotar.

- **Minas antipersonal direccionales de fragmentación:** llamadas también de efecto horizontal, son minas construidas para que los fragmentos se proyecten en una dirección determinada. Este tipo de minas se colocan generalmente a ras del suelo o fijan al tronco de un árbol. Se accionan mediante alambres trampa, barrera de rayos infrarrojos, control remoto, etc.; el radio de destrucción es de 50 a 100 m. Un ejemplo de este tipo de mina es la M-18 o M-18A1, conocida como Claymore, cuya metralla (700 bolitas de acero) se proyecta a gran velocidad en un arco de 60° de 2 m de altura; su radio de destrucción es de 100 m a 250 m.

Los últimos avances técnicos han permitido la producción de minas con mecanismos de autoneutralización, que evitan el funcionamiento de la mina al cabo de un cierto tiempo. Hay minas que incluyen un dispositivo de autodestrucción me-

cánico, químico o eléctrico que las hace detonar tras un lapso determinado⁽⁷⁾. Algunos modelos de minas con detonador eléctrico contienen una pila como fuente de energía; cuando la pila se agota, la mina queda desactivada.

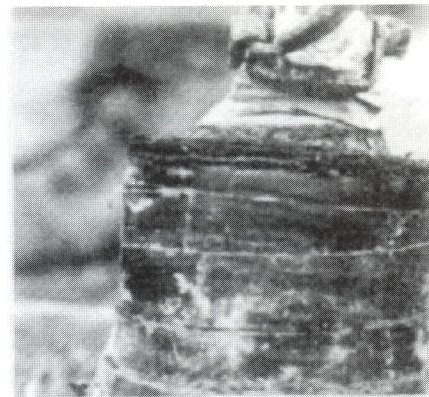
MINAS ANTIPERSONAL UTILIZADAS EN COLOMBIA

Existen muchísimos tipos de minas antipersonal, desde el artefacto más rudimentario²⁴, a veces de fabricación artesanal (cantinas de leche con dinamita, cajas de betún con dispositivos y metralla, etc.), hasta el modelo más complejo con dispositivos electrónicos de temporización, de montaje y de encendido.

De acuerdo con el informe de la oficina de la Vicepresidencia de diciembre del 2001, el ejército colombiano había identificado los siguientes tipos de minas antipersonal usados por grupos guerrilleros.

Mina quiebrapatas

La mina antipersonal mostrada en la figura 7 es la versión artesanal; se fabrica con materiales económicos, asequibles a cualquier persona, como pilas, alambres, tubos de PVC, bolsas plásticas y puntillas. La mina es



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 8. Mina antipersonal artesanal.

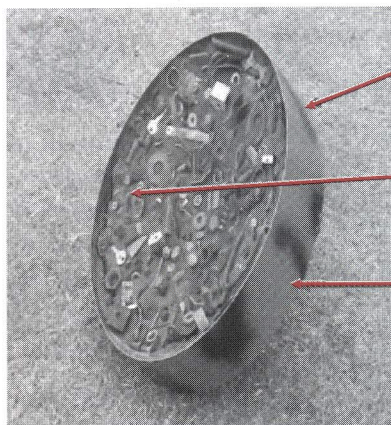


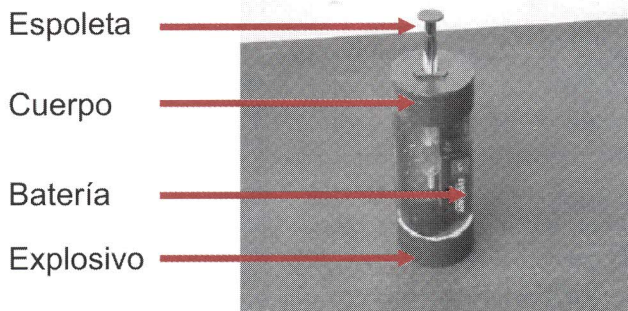
Lámina galvanizada

Brea y metralla

Explosivo Anfo o R1 componente básico nitrato de amonio

Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 9. Mina tipo sombrero chino.



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 7. Partes constitutivas de una mina quiebrapatas.

enterrada usualmente en el suelo; la facilidad y la rapidez de su fabricación la hacen la más común en Colombia.

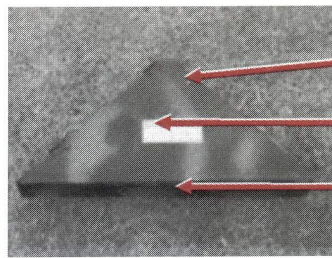
Mina tipo sombrero chino o sombrero vietnamita

Este tipo de minas debe su nombre a su apariencia cónica. Generalmente funciona como mina antitanque, y puede ser activada mediante mecanismos de iniciación por tensión e incluso presión, haciendo de ella una de las minas antipersonal más potentes; alcanza un radio de destrucción de 25 metros.



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 10. Apariencia externa de la mina tipo sombrero chino.

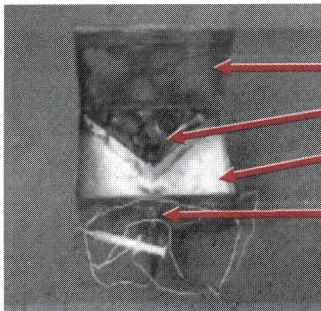


- Lámina galvanizada
- Explosivo (ANFO o R1)
- Brea y metralla

Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 13. Partes de la mina tipo abanico.

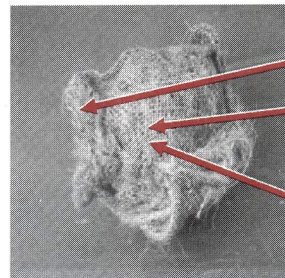
Mina tipo cajón



- Envase metálico, plástico o madera
- Brea y metralla
- Explosivo (ANFO o R1)
- Detonador eléctrico

Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 11. Mina antipersonal tipo cajón.



- Costal de fique
- Brea y metralla
- Explosivo Anfo o R1
- Componente básico nitrato de amonio

Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 14. Partes de la mina tipo costal.

Llamada así porque se construye sobre una caja de madera, con un plato de metal en forma de ángulo afilado; la mina se entierra, suele ser direccional y utilizada como antitanque; sin embargo, los mecanismos de activación (mediante jeringa visible) y sensibilidad pueden variar, haciéndola muy peligrosa para los civiles.

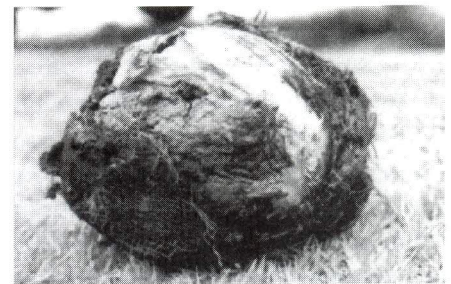
Mina tipo abanico antipersonal

Esta mina tiene un radio de destrucción de 10 m y un cono para gases y metralla. Se instala en los taludes de los caminos y carreteras, a una altura de 80 cm; su funcionamiento es eléctrico, por medio de cable de mando.

Mina tipo costal

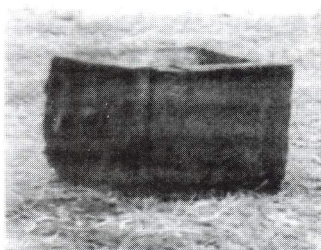
Su nombre se deriva del costal donde se envuelve. En su interior hay puntillas, pedazos de plástico, vidrio y cualquier otro objeto cortopunzante, junto con barro, materias fecales y brea, que van en una bolsa plástica sellada con barro y costal, para darle la apariencia de una roca; su detonador es inelétrico.

Este tipo de minas es de forma redonda y sus características físicas la hacen muy parecida a una piedra,



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 15. Apariencia externa de la mina tipo costal.



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 12. Otra versión de la mina tipo cajón.

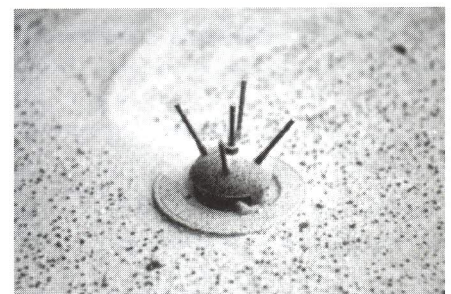


Figura 16. Mina antipersonal tipo Claymore.

por lo que resulta fácil de camuflar; puede utilizarse como misil, lanzado desde partes altas, mina antivehículo o mina antipersonal.

Mina tipo Claymore

Está compuesta de lámina galvanizada, brea, elementos metálicos y explosivo (Anfo o R1). Imita la mina Claymore convencional; es una mina antipersonal direccional de fragmentación, que se instala frecuentemente al lado de las vías y los caminos, o en los bosques.

Mina tipo tarugo

También llamada mina cumbo, se localiza usualmente en las ramas de los árboles; está fabricada en guadua rellena con explosivo casero (Anfo o R-1); está provista de un cordón detonante y su sistema de activación es por presión o tensión.

Mina antitanque

Su componente básico es nitrato de amonio, pero además consta de lámina galvanizada y explosivo Anfo o R-1. Tiene forma de cono, con una ojiva hacia arriba, y la suelen instalar en cantinas de leche que se entierran en las vías; está diseñada para explotar hacia arriba, al contacto con un tanque u otro vehículo. La imprecisión de sus mecanismos de detonación ha causado un gran número de accidentes entre civiles.

Mina tumbapostes

Está compuesta de lámina galvanizada y explosivo Anfo o R-1; se instala a 1 m de altura en el objetivo (poste que hay que derribar).

Mina tipo cilindro

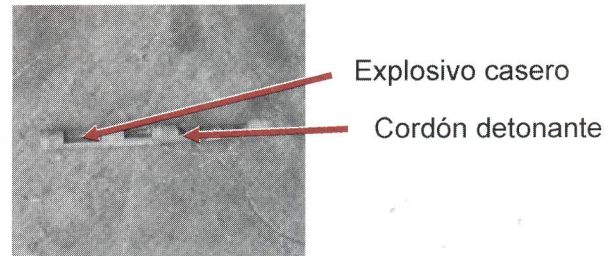
Es una clase de mina que puede llegar a pesar hasta 100 lb. Está provista de un cordón detonante y se encuentra enterrada, pero también puede proyectarse desde las partes altas.

Mina tipo combo

Está compuesta de lámina galvanizada, nitrato de amonio y explosivo Anfo o R-1. El área de destrucción comprende los 360°.

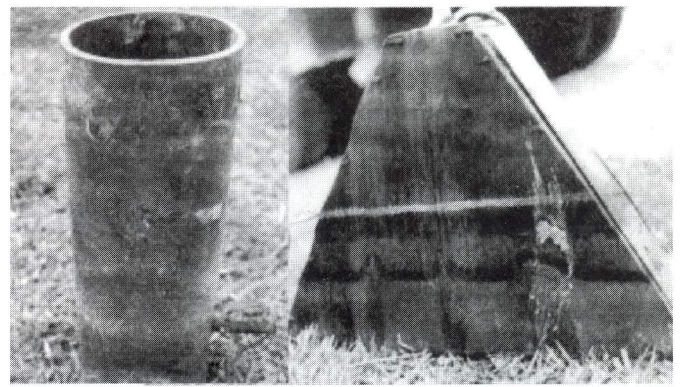
Mina rompemallas o barreminas

Se utiliza para derribar torres de energía.



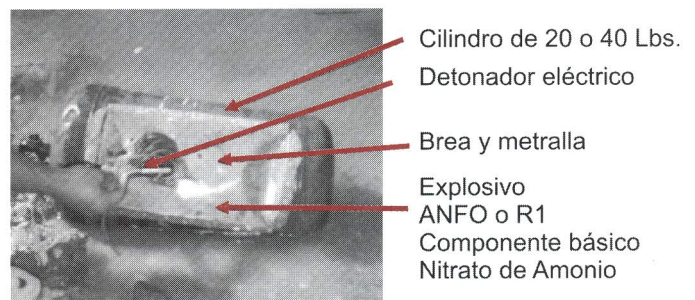
Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 17. Partes de la mina tipo tarugo.



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 18. Dos versiones de la mina antitanque.

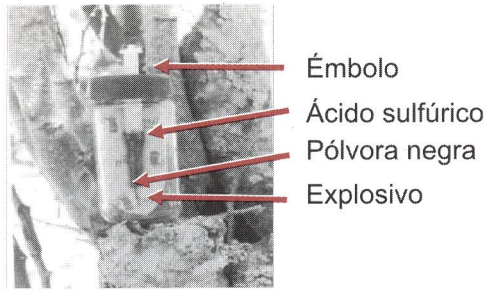


Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 19. Partes de la mina tipo cilindro.

Mina quiebrapatas química

Está construida con plástico o vidrio, no contiene ninguna clase de metal, y posee un sistema de iniciación por presión y de ignición químico. Se activa cuando se presiona el émbolo; en ese momento, se combina el ácido sulfúrico con la pólvora negra y explota. La mina se ubica con frecuencia en caminos y trochas.



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 20. Partes de la mina tipo quiebrapatatas química.

MÉTODOS DE DETECCIÓN

Las minas antipersonal enterradas son difíciles de encontrar porque están diseñadas con ese propósito. Estos pequeños dispositivos de baja tecnología aparecen con una variedad de planos y materiales de construcción, y apenas pueden diferenciarse de las piedras, raíces, y otro material enterrado. A pesar de las dificultades, varios casos ilustran formas creativas para acabar con tal problema.

Métodos de detección por medio de sensores electromagnéticos

Detección de metales

Funcionamiento: el sondeo del terreno minado se realiza mediante el barrido con un bastón de cielo de más de un metro de largo y con una inclinación de 30°, en cuyo



Fuente: información proporcionada por las fuerzas militares de Colombia, Escuela de Ingenieros Militares.

Figura 21. Detección de minas mediante la detección de metales.

extremo se ubica el sensor que descubre la presencia de metales a través de la detección del campo magnético reflejado debido a la incidencia previa, desde el mismo bastón, de un campo magnético variable que induce corrientes de Eddy en el objeto metálico. En algunos casos se emplean magnetómetros, principalmente para los objetos ferromagnéticos; estos sensores no radian energía, pero miden la perturbación del campo electromagnético natural de la Tierra.

La señal del campo magnético variable detectado se preprocesa con filtros de Kalman^{(11), (12)}.

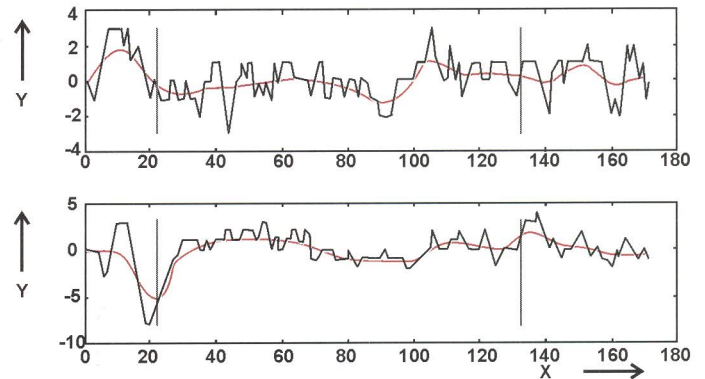


Figura 22. Señal detectada por el sensor de metales, no filtrada.

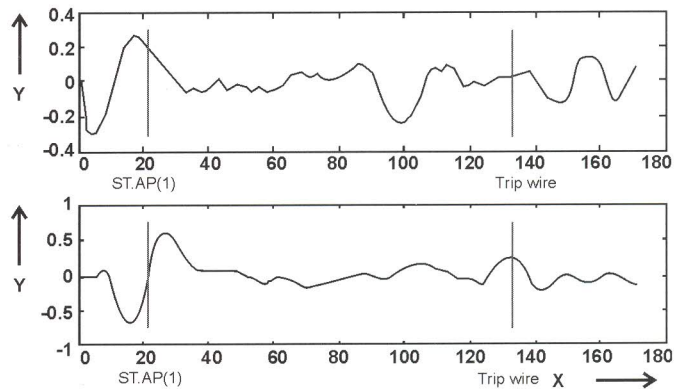


Figura 23. Señal detectada por el sensor de metales, filtrada.

Inconvenientes: cada vez, con más frecuencia, se fabrican minas con materiales sintéticos (la mina mariposa PFM-1 está construida de material de plástico y la PMD-6, de madera), y sólo algunas piezas aisladas se conservan de materiales ferromagnéticos (partes de activación: punzón percusor y otras piezas conexas); esto hace que este tipo de minas sólo puedan detectarse con aparatos de gran sensibilidad. Los detectores actuales pueden rastrear un décimo de gramo de metal a una profundidad de 10 cm, lo que no es muy fiable debido a que también conducirá al descubrimiento de ruinas metálicas más pequeñas (metralla, piezas de armas destruidas, etc.), aumentando la proporción de las falsas alarmas; a veces se colocan intencionalmente fragmentos metálicos para dificultar los trabajos de levantamiento de minas.

Detección mediante radar penetrante: GPR (SFCW)

La tecnología específica GPR (SFCW) se ha usado durante quince años, aproximadamente, en la ingeniería civil, geología y arqueología para el descubrimiento de objetos enterrados y estudio de la tierra; consiste en emitir una onda electromagnética variable²⁵ de alta frecuencia hacia la zona minada, a través de una antena de banda ancha; las reflexiones de la tierra con presencia de minas enterradas, a causa de las variaciones del dieléctrico (permisividad dieléctrica) y la conductividad eléctrica, se captan al mover gradualmente la antena transmisora, lo que hace posible construir una rodaja vertical de la capa superficial de la tierra

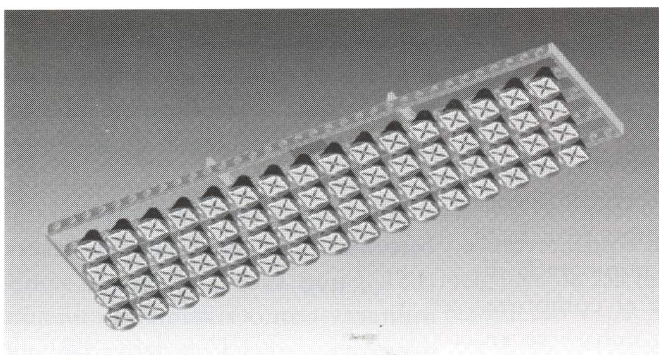


Figura 24. Arreglo de antenas de microondas de banda ancha.

Las características dieléctricas del suelo²⁶ que circundan las minas antipersonales tienen un efecto importante en el funcionamiento de los sistemas de radar de ondas milimétricas. El coeficiente de reflexión depende de la diferencia entre la constante dieléctrica de la mina y la del suelo²⁷; si éstas son muy próximas, la onda no se refleja y la mina se vuelve invisible.

En México, se experimentó a 1,2 GHz y se descubrió que las mejores condiciones para la detección de minas a través de radar las ofrecían los suelos extremadamente secos o húmedos. Se diseñó y simuló un modelo que permitía predecir las características dieléctricas del suelo a partir de una información previa sobre la textura, densidad de granos y contenido de agua del suelo. Con la constante dieléctrica se predijo la atenuación de la señal y el coeficiente de reflexión del conjunto mina-suelo circundante^{(3), (5)}.

Detección por el método acústico-sísmico

El uso de la acústica aerotransportada para la detección de minas consiste en propagar sonido hacia la tierra con el fin de excitar las frecuencias de resonancia de objetos enterrados; esta técnica emplea tres principios:

- La mina antipersonal es un objeto artificial, que refleja la onda sonora fácilmente; esta propiedad facilita un contraste de vibración²⁸ entre la tierra y la mina enterrada.
- La mina es un objeto no poroso, en contraste con la tierra porosa, atributo que le permite propagar el sonido.
- La interfaz entre la mina y la tierra no es continua al vibrar; se investigan actualmente sensores alternativos que midan las vibraciones de la superficie (hoy se usan vibrómetros de Doppler: LDV).

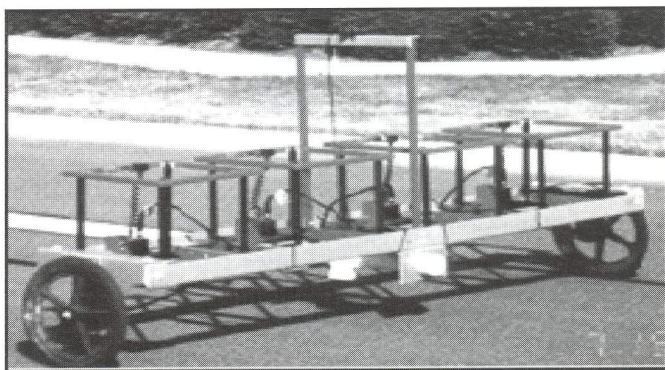


Figura 25. Sistema acústico aerotransportado para la detección de minas.

La mejora de esta técnica de detección de minas consistirá en unir la presente investigación a las técnicas de detección por radar.

Método de detección mediante sensores electroópticos

Detección mediante cámara gamma

El análisis por irradiación neutrónica es uno de los pocos métodos disponibles para la caracterización elemental de objetos ocultos. Debido a su carga cero, incluso los neutrones de baja energía pueden penetrar capas gruesas de material e interactuar directamente con los núcleos atómicos. La probabilidad de interacción del neutrón con un núcleo (sección eficaz de captura) es muy alta en determinadas energías de neutrones incidentes,

únicas para cada elemento. Las interacciones de los neutrones con la materia dependen considerablemente de su energía cinética. Tanto la “dispersión” (rebote) de neutrones rápidos por el núcleo, como la absorción de neutrones lentos por el núcleo, pueden incrementar la energía de este último (“excitación”), lo que provoca la emisión de un rayo gamma.

La mayor parte de las técnicas neutrónicas de detección de explosivos en grandes cantidades se basan en la detección de esos rayos gamma característicos que emiten los núcleos excitados.

La medición de las energías y las intensidades de los rayos gamma permiten determinar la composición elemental del objeto interrogado; además, se conocen bien los espectros de rayos gamma característicos de muchos de los elementos.

Investigadores australianos²⁹ proponen una cámara basada en rayos gamma. La cámara gamma utiliza una pequeña fuente de radioisótopos que produce electrones de antimateria (positrones); según la famosa ecuación de Einstein, $E=mc^2$, los positrones interactúan con los electrones de la materia ordinaria, lo que provoca su desaparición y su remplazo por energía pura en forma de rayos gamma. Al medir cómo se distribuyen los rayos gamma desde el suelo, es posible construir mapas tridimensionales del subsuelo bajo el detector y de cualquier objeto que se halle en él.

La nueva cámara proporcionará al operador suficiente información para evitar falsas alarmas, sin nece-

sidad de tener que examinar físicamente el objeto, lo que reduce los riesgos y el tiempo empleado; tiene el potencial de detectar minas enterradas a mayores profundidades que otros detectores. Sus componentes son baratos, resistentes y ligeros. La fuente de radiación es de baja intensidad, de manera que no ejerce ningún peligro para el operador.

La mayor parte de las técnicas neutrónicas de detección de explosivos en grandes cantidades se basan en la detección de los rayos gamma característicos que emiten los núcleos excitados.

Detección mediante imágenes de infrarrojo por medio de técnicas de termografía dinámica

El sistema detecta las minas antipersonal con imágenes de infrarrojo en tiempo real; hace uso de la técnica de termografía dinámica, que explota el comportamiento térmico de la mina y su entorno al ser sometidos a un mismo proceso de calentamiento o enfriamiento; con base en estas diferencias es posible caracterizar la impronta térmica del terreno e inferir la presencia de minas enterradas en el mismo. El proyecto Odis, en la Dasa-Dornier, ha demostrado resultados alentadores en el descubrimiento de artillería no explosiva. En su versión actual puede hallar las partes de metal de menos de 1 cm³; explora profundidades de aproximadamente 50 cm.

Detección por medio de cámaras infrarrojas

Las minas antipersonal enterradas tienden a radiar calor con una densidad diferente de la expulsada por el suelo circundante a la mina; durante las variaciones de temperatura naturales del ambiente, es posible

medir tal contraste termal a través de cámaras infrarrojas.

Este tipo de detección espectral examina la diferencia evidente de la temperatura o detecta la diferencia reflexiva del color de minas o el material de la cubierta con respecto a la tierra. La eficacia de dicho método depende del resultado de la detección del efecto de la mina enterrada o en contacto con la vegetación.

Otra modalidad de detección, siguiendo este mismo principio, consiste en el método nuclear de análisis “Prompt Gamma”, que consiste en medir la energía radiada por el nitrógeno de los explosivos, elemento no encontrado en los compuestos del suelo; de esta manera es posible determinar la ubicación precisa de una mina, siguiendo el rastro del nitrógeno.

Por otro lado, la firma israelí International Technologies Lasers (ITL), que fabrica equipos semi-militares como sistemas de visión nocturna, comenzó a desarrollar un aparato de espectroscopia láser que puede detectar un cinturón de explosivos de un extremista suicida a una decena de metros; éste permite escanear vehículos a metros de distancia, y podría instalarse en cabinas para cobrar peaje con el propósito de detectar explosivos.

Detección por retrodispersión de rayos X

Para inspeccionar terrenos sembrados con minas antipersonal se siguen dos fases: en la primera se identifican los objetos sospechosos, y en la segunda, mediante retrodispersión de rayos X, se verifica cada amenaza por medio de imágenes. Los rayos X tienen una longitud de onda muy pequeña con respecto al tamaño de las minas, así que en un principio podrían producir imágenes de alta calidad de las minas.

La retrodispersión de rayos X produce una imagen de un objeto enterrado mediante la radiación de fotones. El método más común es el de alineamiento (es decir, de orientación) de rayos X, y para ello emplea detectores enfocados de rayos X y alineados para formar una imagen. Esta técnica explota el hecho de que las minas y la tierra tienen las densidades de masa levemente distintas y los números atómicos efectivos difieren por un factor cercano a dos. Para detectarse rápidamente minas enterradas, es necesario utilizar fotones incidentes de baja-energía: 60 - 200 keV; en esta gama de energía, las secciones transversales son aproximadamente diez veces más demoradas de explorar que con muchas de las otras reacciones nucleares que serían aplicables en detección de minas. La gama de energía requerida en dispositivos de retrodispersión de rayos X para la penetración de tierra es pobre. Esto limita la detección de minas en superficies con menos de 10 cm de profundidad. Si la potencia de la fuente se mantiene baja, puede suceder que el tiempo requerido para obtener una imagen se torne largo; por consiguiente, el sistema es poco práctico.

Inconvenientes: la tecnología es sensible a variaciones de reserva de fuente / detector y a movimientos de tierra / superficie; además, para las imágenes de las minas antipersonal, es necesaria una resolución espacial alta del orden de 1 cm, y esto puede ser difícil de lograr en el campo; por otra parte, las minas enterradas de grandes tamaños reducen dramáticamente el número de fotones disponibles para la formación de imágenes en el proceso de detección, razón por la cual se deben utilizar como fuentes los generadores de radiografía de alto poder.

La detección por imágenes formadas con rayos X puede ser útil para confirmar el descubrimiento portátil de minas antipersonal.

Métodos de detección mediante sensores de vapor de explosivos

Detección por medio de perros

Los perros tienen el sentido del olfato sumamente desarrollado³⁰ y se les puede adiestrar para que detecten compuestos nítricos que contienen los explosivos en cantidades ínfimas; se entrenan para reconocer y memorizar el olor de los explosivos, y aprenden a señalar su presencia sin tocar el artefacto, echándose al suelo o girando alrededor.

Las estadísticas de las agencias norteamericanas demuestran que los perros entrenados encuentran los explosivos escondidos en las aeronaves en el 96% de los

casos y en un tiempo promedio de 16 minutos; la efectividad del sentido del olfato de un canino es del 95% en un rango de 50 metros.

Los caninos especializados son de razas rottweiler, bóxer, pastor alemán y labrador. Todos comienzan su entrenamiento a los seis meses de edad y entran en servicio a los 18 meses³¹.

Inconvenientes: esta técnica exige un extenso período de entrenamiento de los caninos y capacitación de sus entrenadores, y el limitado lapso de atención del perro dificulta el mantenimiento de operaciones continuas. La fiabilidad de este método de detección es relativa al grado de cansancio del perro y a la existencia de otros olores, e ineficaz

con minas activadas por control remoto o a tracción, debido a sus capacidades limitadas en sus otros sentidos diferentes del olfato. Los subversivos utilizan distractores como estiércol,



Figura 26. Perros entrenados para detectar minas.

sebo y olores de perras en celo, en razón de que el instinto reproductivo es muy fuerte en el perro.

Detección a través de ratas

En la Universidad de Agricultura de Sokoine (Tanzania), se entrenan ratas para olfatear minas antipersonal y explosivos. El método consiste en condicionar a los roedores para que hallen las minas a cambio de un pedazo de plátano⁽¹³⁾.

Características de las ratas

- Tienen bien desarrollado el sentido del olfato.
- Son fáciles de domesticar y entrenar.
- Son pequeñas, baratas y fáciles de mantener y de transportar.
- Están por todas partes y se adaptan a todos los entornos; una vez educadas, a las ratas les gusta hacer tareas repetitivas.
- Miden 7,5 cm y pesan 1,35 kg, por lo que pueden pasear por encima de las minas sin que exploten.

En otro escenario, un grupo de científicos estadounidenses logró guiar cinco ratas mediante un control remoto. El secreto de este experimento es el implante de electrodos en el cerebro de los animales. Los científicos involucrados en este proyecto explicaron que las ratas son naturales, pero luego de realizarles implantes

en el cerebro los investigadores pueden controlar sus movimientos como si se tratara de robots⁽¹⁴⁾. Los científicos comenzaron por estudiar y hacer modelos del comportamiento de las ratas cuando son estimuladas por señales externas. Así, reaccionan a algunos sonidos si están asociados a una recompensa, por ejemplo, comida. Una vez estudiadas las pautas de comportamiento, los investigadores implantaron electrodos en las regiones del cerebro de los roedores que responden a la sensación de gratificación. Las órdenes y las recompensas se transmitieron por ondas de radio desde un computador portátil hasta un receptor colocado en forma de mochila sobre cada rata. De esta manera, los científicos guiaron por control remoto a las cinco “robot-ratas”, a través de un trayecto con obstáculos. La teledirección de los roedores puede realizarse a una distancia hasta de 500 metros y entre las órdenes que pueden enviarse están hacer que las ratas corran, giren, salten o escalen.

Detección a través de abejas *Apis mellifera*

Científicos de la Agencia Estadounidense de Proyectos de Investigación Avanzada para Defensa, financiados directamente por el Pentágono, están entrenando a abejas comunes para identificar explosivos, aprovechando dos importantes atributos, como su extrema sensibilidad y su movilidad en la búsqueda de su alimento⁽¹⁵⁾.

Según Alan Rudolph, quien supervisa los experimentos realizados en los laboratorios de la Base Aérea Brooks, en Texas, las abejas fueron entrenadas mediante técnicas de conductismo, en las que un estímulo genera una respuesta, y a cada acierto corresponde un premio, “agua azucarada”.

Después que una abeja aprende la nueva clave, de

alguna manera la transmite a las otras. En horas, un enjambre entero, y a veces enjambres cercanos, comienzan a buscar el nuevo aroma. Los investigadores descubrieron que lleva menos de dos horas utilizar recom-

pensas de agua y azúcar y condicionar a las abejas a dejar de lado las flores y en su lugar buscar dinitrotolueno

o DNT, un residuo del TNT y otros explosivos, en concentraciones tan diminutas como unas milésimas de parte por trillón; pruebas con abejas entrenadas han confirmado que logran localizar dichas cantidades de explosivo químico oculto en un 99% de los casos; además han demostrado que poseen una desarrollada capacidad de orientación y que pueden comunicar, mediante la orientación de su vuelo, conceptos complejos acerca de la ubicación de la comida o de los peligros.

Inconvenientes: las abejas tienen sus limitaciones, no pueden desplazarse de noche o en tormentas, y tampoco podrían utilizarse en aeropuertos o en pasos fronterizos: les molesta el ruido.

Detección a través de la planta *Thale cress*

Una empresa danesa de biotecnología, Aresa Biodetection³², basada en las investigaciones del Instituto de Biología Molecular de la Universidad de Copenhague, obtuvo una planta genéticamente modificada, susceptible de detectar minas antipersonales.

El mecanismo subyacente bioquímico por el cual cambia de color está basado en el cambio de la regulación del pigmento natural biosintético en las plantas. Los estímulos que permiten que la planta cambie de color son la presencia de NO_2 (dióxido de nitrógeno), que es absorbido por las raíces de dicha planta y el cual se evapora cuando hay explosivos en el suelo; tales estímulos provocan la producción de una enzima clave (la antocianina), que es la responsable de la producción del grupo de pigmentos rojos que produce la planta.

El sistema de biodección experimenta con la planta *Thale cress* de la

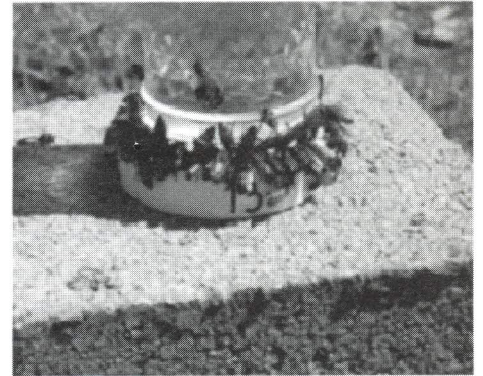


Figura 28. Formas de comunicación de las abejas.



Figura 27. Abejas entrenadas para detectar minas.

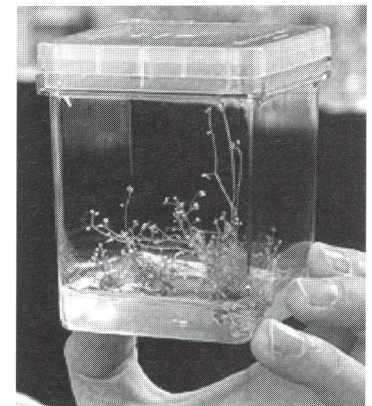


Figura 29. Planta que cambia de color con la presencia de NO_2 .

especie *Arabidopsis thaliana*, que tiene las siguientes características:

- Altura máxima: cerca de seis pulgadas (15 cm).
- Ciclo de vida: seis semanas.
- Su genoma entero ha sido descifrado.
- Existente en todos los continentes y climas, salvo en los polos
- Se ha esterilizado a los ejemplares machos para no desequilibrar la ecología.
- Esta planta crece rápidamente en dos meses, y a las tres semanas es capaz de detectar la presencia de NO_2 .
- Su precisión alcanza el 99,6% de aciertos.

El descubrimiento de Aresa también podrá usarse para descubrir y limpiar tierras contaminadas con los metales pesados, como el cobre, zinc y cromo, que son una fuente de polución importante en los países desarrollados.

Otros sensores que detectan vapor de explosivos

Mozambique cuenta con uno de los procedimientos más avanzados tecnológicamente para despejar las carreteras de minas, como es el Medds (Mechem Explosives and Drug Detection System), un equipo dotado de un detector "olfativo" artificial⁽¹⁶⁾.

La compañía Bofors, en Suecia, lanzó en 1995 un proyecto destinado al descubrimiento de minas antipersonales, que usa los sensores de olor basado en los anticuerpos; funciona midiendo la variación en la frecuencia oscilante de un cristal piezoeléctrico cuya superficie se cubre por un anticuerpo que reacciona con las moléculas de TNT⁽¹⁷⁾.

Detección de minas mediante el método Depth Fusion

Ningún sistema de detección por medio de sensores puede descubrir con certeza una mina antipersonal, mientras tenga una proporción de la falsa alarma en todos los tipos de tierra y con todos los tipos de minas; de aquí, la necesidad de combinar sensores complementarios y hacer una fusión apropiada de sus datos respectivos para una detección más confiable.

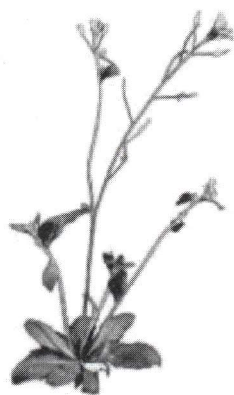


Figura 30. Características de la planta *Thale cress*.

La fusión de sensores permite combinar las ventajas de un sensor individual y compensar sus desventajas con el uso de otros tipos de sensores; mejora la detección simultánea y disminuye la proporción de falsas alarmas. Los proyectos Geode y Loto, en Estados Unidos, apuntan a implementar la fusión de sensores a través de un vehículo de tierra con radar penetrante milimétrico, detector de metal y terminal de rayos infrarrojo térmico (IR).

Otros métodos de detección a través de tecnología de sensores

Sensor infrarrojo pasivo, sensor infrarrojo activo, sensor infrarrojo polarizado, sensor electroóptico pasivo, sensor multihiperespectral, sensor pasivo de ondas milimétricas, radar de ondas milimétricas, radar ultra ancho de banda, sensor acústico activo, sensor sísmico activo, sensor de campo magnético, detección por partículas cargadas, detección por rayos láser, cuadrípulo resonante nuclear, biosensores, sensores químicos, etc.

Proyectos de investigación sobre métodos de detección de minas en Colombia

Detector de metales manejado en frecuencia para detección de minas antipersonal (Universidad Javeriana, Bogotá); Radiación gama activa nuclear: por principio de retrodispersión (Universidad San Buenaventura, Bogotá, con Ingeominas OIA); Sistema detector de minas antipersonal basado en fusión sensorial (Universidad de los Andes); Estudio de las propiedades eléctricas del suelo minado en Colombia con miras a diseñar un método de detección (Escuela Colombiana de Ingeniería); Método por componente química (Universidad América); Método por ondas electromagnéticas de alta densidad; Método por gases pesados; Bastones de barrido de cielo con alarma auditiva y visual a través de imágenes; Bota contraminas, entre otros.

MÉTODOS DE NEUTRALIZACIÓN Y DESTRUCCIÓN DE MINAS

Para poder transportarlas sin riesgos, todas las minas disponen de un sistema de seguridad que se quita al colocarlas; una vez montadas, la mayor parte de las minas antipersonal ya no pueden ser neutralizadas, con el fin de evitar que el enemigo las quite. En realidad, las minas disponen a menudo de trampas exteriores para impedir que las retiren; algunas tienen incluso un dispositivo interno que las hace explotar a la menor tentativa de desplazarlas o desactivarlas.

Antes de poder neutralizar o destruir las minas, es preciso localizarlas. En la actualidad, las minas se lanzan muy a menudo mediante helicópteros, aviones, morteros o proyectiles de artillería; esto hace aún más difícil localizar las zonas minadas³³; señalemos también que las tropas que retroceden ante el enemigo cubren con frecuencia su retirada colocando minas detrás de sí, sin tomarse el tiempo, por supuesto, de registrar su emplazamiento. La mayor parte de estas formas de proceder son, por lo general, no solo ilegales sino que contribuyen a que sea sumamente difícil localizar los campos minados, cuando cesan las hostilidades.

Método todoterreno

Conocido popularmente como “Chubby”, vehículo detector y removedor de minas desarrollado en Estados Unidos; hecho de acero, tan resistente como un pánzer alemán o un tanque ruso T-55; versátil, ligero, actúa por contacto directo con las cargas. Las minas explotan a su paso; mecanismos posteriores terminan de limpiar y nivelar el terreno, dejando un sendero libre de peligro, ideal para desiertos o llanos, inservible para un agreste, irregular y fangoso terreno como el de la cordillera colombiana.

Desactivación de minas mediante plataforma

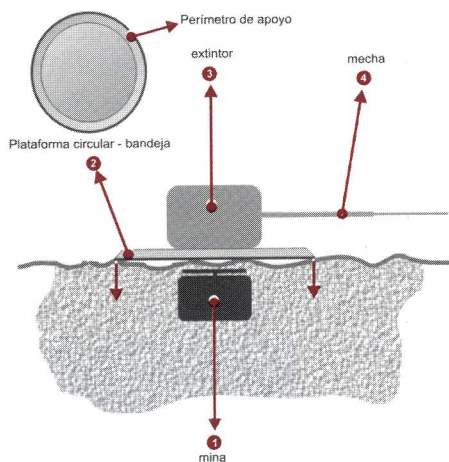


Figura 31. Partes básicas constitutivas de la plataforma.

Comprende una plataforma (2) que se ubica sobre la mina (1) que hay que desactivar, disponiéndose sobre la plataforma (2) un explosivo-extintor (3) dotado de una mecha (4), repartiéndose su peso (unos 5 kg) sobre el perímetro circular de la plataforma (2), no sobre la vertical de la mina.

El encendido de la mecha provoca la explosión del explosivo-extintor (3), lo que, a su vez, provoca la explosión de la mina (1), al mismo tiempo que se libera el producto extintor del explosivo-extintor (3), sofocándose el posible incendio que puedan producir las explosiones indicadas⁽¹⁸⁾.

Robot “Andros”

El robot antiexplosivos conocido como “Andros” llegó a Colombia, específicamente a Cali, en julio del 2002 y está destinado a neutralizar bombas en zonas urbanas, y a la ayuda que pueda brindar a los técnicos.

“Andros” cuenta con cuatro cámaras de video, una escopeta calibre 12 y un cañón que lanza chorros de agua a presión; tiene un metro de altura y un solo brazo para desactivar las cargas explosivas, es manejado a control remoto y pesa alrededor de 500 kilos; este robot antiexplosivos le costó a la policía \$700 millones.

Barra de aire

En el terreno que se va a desminar se introduce una varilla con aire comprimido y orificios en diversos puntos. Por presión se logra remover la tierra con suavidad, hasta que emerjan a la superficie las minas enterradas. Ofrece una alta seguridad en la limpieza del terreno. Trabaja muy bien en zonas húmedas, desiertos, y en general en lugares donde la tierra es floja.

Explosión en cadena: es una variante de la “barra de aire”, pero indiscriminada. Se elige el objetivo, se determina el área de trabajo, y se bombardea en cuanto sea posible. Deteriora el medio ambiente. Letal para todo tipo de animales que se encuentren en el área. Método exterminador por excelencia, pero seguro.

CONCLUSIONES

1. El sistema de detección de minas antipersonal para el territorio montañoso y de vegetación alta y densa colombiano debe cumplir la condición de ser aerotransportado para que sea efectivo.

2. La condición necesaria para la detección de una mina antipersonal es que ésta posea alguna propiedad física; es imprescindible que la mina se diferencie notablemente del suelo circundante en lo que respecta a la propiedad en cuestión.

3. Muchas veces la detección se aplica indirectamente debido a que la mina no tiene por sí misma ninguna propiedad física destacable, pero se encuentra asociado al suelo que sí posee tales propiedades.

Tabla 3
Sistemas de neutralización de minas

Forma	Método	Funcionamiento	Inconvenientes	
Individual	Desactivación y remoción	Desactivación <i>in situ</i> y traslado posterior.	Lento y arriesgado; requiere un especialista.	
	Destrucción	Destrucción <i>in situ</i> , al aire libre o bajo la arena (20 cm de profundidad), generalmente mediante una pequeña carga explosiva.	Lento, más seguro que desactivación y remoción, pero más caro.	
Masiva	Medios mecánicos	Apisonado	Mediante vehículos blindados especiales dotados en su parte delantera de planchas de acero en forma de quitanieves, de enrejados o de rodillos con puntas que van apisonando el terreno.	Desgaste del rodillo, poco eficaz en terreno irregular, blando o de densa vegetación. Limpieza parcial.
		Golpeo	Mediante vehículos blindados especiales provistos de cadenas que, montadas sobre un tambor giratorio, golpean el suelo.	Desgaste de las cadenas, poco eficaz en terreno irregular, se corre el riesgo de hundir más las minas. Limpieza parcial.
		Remoción	Mediante vehículos blindados especiales provistos de una hoja dentada que remueve el terreno, desplazando tierra y minas a los lados.	Las minas no explotan, excepto las que no llevan dispositivos antirremoción, es un método lento. Limpieza parcial.
	Explosivos	Cargas alargadas	Largos tubos rellenos de cargas explosivas que se colocan sobre el terreno.	Difícil colocación exacta, caro y ocasiona daños ambientales. Limpieza parcial.
		Gases	Contenidos en granadas-cohete que se disparan sobre la zona.	Efecto supeditado a la altura de la explosión y a la composición del gas; causa daños ambientales. Limpieza parcial.
	Por combustión		Incendio controlado de la zona. Se aplica para destrucción de detonadores (más de 25), minas con pesos superiores a 12,5 kg; se inicia la combustión mediante mecha lenta o cordón detonante.	Útil en campos de minas esparcidas, con densa vegetación. Limpieza parcial.

Fuentes: IDR, Landmines: A Deadly Legacy, Unidir.

4. Así como ya existen plantas que detectan y absorben mercurio tóxico y lo convierten en formas elementales menos tóxicas, que luego volatilizan, la biotecnología parece encaminarse hacia un nuevo peldaño, en el rastreo de las peligrosas minas antipersonales. Es posible que en el futuro cercano, las plantas transgénicas puedan proporcionar datos sobre los peligros que amenazan el medio ambiente; por ejemplo, vigilar los niveles de contaminantes superficiales, metales pesados, toxi-

nas orgánicas, o confiarles el muestreo frecuente y la limpieza del agua; también se podrían utilizar como biosensores para vigilar niveles de radioisótopos alrededor de las plantas de energía atómica, o para detectar contaminantes de combustible en las bases militares.

5. Hay que estudiar las propiedades físicas más importantes del suelo: susceptibilidad magnética, polarización espontánea, resistividad, polarización inducida, elasticidad, polarización inducida, conductivi-

dad eléctrica, densidad y radiactividad; la determinación de estas propiedades dará origen a nuevos métodos para la detección de minas: métodos magnéticos, electromagnéticos, mediante radiactividad, sísmicos y eléctricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Reporte de *Landmine Monitor* del año 2003, disponible en <http://www.icbl.org/lm/2003/colombia.html>.
- (2) Coupland, Robin, *Assistance for Victims of Antipersonnel Mines: Constraints and Strategy*, Ginebra, ICRC, 1999.

- (3) Cauderay, Gerald, "Las minas antipersonal", *Revista Comité Internacional de la Cruz Roja* (CICR), No. 118, agosto de 1993.
- (4) Department of defense humanitarian demining research and development program, Handheld metal detectors: Nicaraguan field test report; DoD Humanitarian Demining Research and Development Program, October 2001.
- (5) Faulkner, Frank, Lloyd Pettiford, Complexity and Simplicity: Landmines, Peace and Security in Central America, *Third World Quarterly*, vol. 19, No. 1, 1998, p. 59.
- (6) CICR, *Minas terrestres antipersonal. ¿Armas indispensables?* Estudio sobre el uso militar y la eficacia de las minas antipersonal, hecho por encargo del Comité Internacional de la Cruz Roja, Ginebra, 1997.
- (7) Human Rights Watch, Exposing the Source: U.S. Companies and the Production of Antipersonnel Mines, *HRW Arm Project Report*, vol. 9, No. 2, April 1997.
- (8) McLean, I., *Designer Dogs: Improving the Quality of Mine Detection Dogs*, Geneva, Switzerland: Geneva, International Centre for Humanitarian Demining, 2001.
- (9) Furton, K. G., and L. J. Myers, "The Scientific Foundation and Efficacy of the Use of Canines as Chemical Detectors for Explosives", *Talanta*, No. 54, 2001, pp. 487-500.
- (10) Leggett, D. C., and J. H. Cragin, *Diffusion and Flux of Explosive-Related Compounds in Plastic Mine Surrogates*, Hanover, N.H.: U.S. Army Engineer Research and Development Center-Cold Regions Research and Engineering Laboratory, ERDC-CRREL Technical Report ERDC-TR-33, in press.
- (11) Bruschini, Claudio, *A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining*, Bruselas, September, 2002.
- (12) Phelan, J. M., and S. W. Webb, *Chemical Sensing for Buried Landmines: Fundamental Processes Affecting Trace Chemical Detection*, Sandia National Laboratories, SAND2002-0909, 2002.
- (13) Cobbs, Charles, *Mozambique Leads The World in Clearing Land Mines*, Washington D.C., May 27, 2002, p. 5.
- (14) Biddle, Stephen, *Landmine Arms Control*, Washington, Institute for Defense Analyses, May 1996.
- (15) George, V., T. F. Jenkins, J. M. Phelan, D. C. Leggett, J. Oxley, S. W. Webb, J. H. Miyares, "Progress on Determining the Vapor Signature of a Buried Landmine", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets V*, A., Seattle, International Society for Optical Engineering, 2000.
- (16) Rupert Pengelley, "Medds" Detecting the Undetectable Mine, *International Defense Review*, No. 1, February 1993, p. 7.
- (17) Kowalenko, Kathy, *Saving lives, One Land Mine at a Time*, IEEE, The Institute, March, vol. 28 N° 1, 2004.
- (18) O'Malley, T. J., "Seek and Destroy - Cleaning Mined Land", *Armada International*, enero de 1993, pp. 6-15.
- (19) ONU, *International Mine Action Standards*, capítulos 1-8, 2000.
- (20) Campaña Internacional para la Prohibición de las Minas ICBL, *El Monitor de Minas Terrestres*, resumen sumario, 1999, p. 30.
- (21) Gao Pink and Collins Leslie, A 2-Dimensional Generalized Likelihood Ratio Test for Land Mine and Small Unexploded Ordinance Detection, Submitted to Signal Processing, 30 March, 2000.
- (22) UN OCHA Integrated Regional Information Network. Landmines Serious Threat to Returning IDPS, July 30, 2002. Disponible en: www.un.org.
- (23) Alianza Mundial de Asociaciones Cristianas de Jóvenes, *Minas terrestres antipersonal en América Central: legado y reto. Un mundo sin minas antipersonal*, 1997, p. 14.
- (24) Hawkins, Thomas, *Landmines: Basic Facts and Congressional Concerns*, Congressional Research Services, 1996.
- (25) Williams, Jody, "Las minas terrestres y su eliminación", *Revista CICR*, No. 130, julio-agosto de 1995.
- (26) *El Espectador*, "Pacto Mundial Antiminas", 2 de marzo de 1999, p. 10A.
- (27) CICR, *La epidemia mundial causada por el uso de las minas terrestres*, Ginebra, 1995.
- (28) Cauderay, Gerald, "Las minas antipersonal", *Revista Internacional de la Cruz Roja*, No. 118, julio - agosto de 1993.
- (29) Sahlin, Carl T., *Global Mine Clearance. An Achievable Goal?* National Defense University. Institute for National Strategic Studies, August 1998.
- (30) Williams, Jody, "Las minas terrestres y su eliminación", *Revista Internacional de la Cruz Roja*, No. 130, julio-agosto de 1995.
- (31) Foss, Christopher F. y Gander Terry J., *Jane's Military Vehicles and Logistics*, 13 ed., 1992-1993, pp. 148-213.
- (32) Wyatt, R., "Land Minewarfare, Recent Lessons and Future Trends", *International Defense Review*, November 1989, pp. 1499 - 1506.
- (33) Sipri (Stockholm International Peace Research Institute), *Anti-personnel Weapons*, Londres, Taylor & Francis, 1978.
- (34) Phelan, J. M., and J. L. Barnett, "Chemical Sensing Thresholds for Mine Detection Dogs", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VII*, J. T. Broach, R. S. Harmon, and G. J. Dobeck (eds.), Seattle, International Society for Optical Engineering, 2002.
- (35) Johnston, J. M., M. Williams, L. P. Waggoner, C. C. Edge, R. E. Dugan, and S. F. Hollowell, "Canine Detection Odor Signatures for Mine-Related Explosives", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets III*, A. C. Dubey, J. F. Harvey, and J. Broach (eds.), Seattle: International Society for Optical Engineering, 1998, pp. 490-501.
- (36) Jenkins, T. F., D. C. Leggett, P. H. Miyares, M. E. Walsh, T. A. Ranney, J. H. Cragin, and V. George, "Chemical Signatures of TNT-Filled Land Mines", *Talanta*, No. 54, 2001, pp. 501-513.
- (37) Leggett, D. C., J. H. Cragin, T. F. Jenkins, and T. A. Ranney, Release of Explosive-Related Vapors from Landmines, Hanover, N.H.: U.S. Army Engineer Research and Development Center- Cold Regions Research and Engineering Laboratory, ERDCRREL Technical Report TR-01-6, February 2001.
- (38) Phelan, J. M., and J. L. Barnett, *Phase Partitioning of TNT and DNT in Soils*, Albuquerque, N.M., Sandia National Laboratories, February 2001.
- (39) Jenkins, T. F., M. E. Walsh, P. H. Miyares, J. Kopczyński, T. Ranney, V. George, J. Pennington, and T. Berry, *Analysis of Explosives-Related Chemical Signatures in Soil Samples Collected Near Buried Landmines*, U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Report, August 2000.
- (40) Webb, S. W., and J. M. Phelan, "Effect of Diurnal and Seasonal Weather Variations on the Chemical Signatures from Buried Landmines/UXO", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets V*, A. C. Dubey, J. F. Harvey, J. Broach, and R. E. Dugan (eds.), Seattle, International Society for Optical Engineering, 2000.
- (41) Settles, G. S., and D. A. Kester, "Aerodynamic Sampling for Landmine Trace Detection", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VI*, A. C. Dubey, J. F. Harvey, J. T. Broach, and V. George (eds.), Seattle, International Society for Optical Engineering, 2001.
- (42) la Grone, M., M. Fisher, C. Cumming, and E. Towers, "Investigation of an Area Reduction Method for Suspected Minefields Using an Ultra-Sensitive Chemical Vapor Detector", in *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets VII*, J. T. Broach, R. S. Harmon, and G. J. Dobeck (eds.), Seattle, International Society for Optical Engineering, 2002.

REFERENCIAS WEB

<http://www.cnn.com/2004/TECH/science/01/28/arms.denmark.landmines.reut/http://www.aresa.dk>

Anexo 1
Departamentos y municipios de Colombia afectados por zonas minadas

Departamentos	Municipios
Antioquia	Abejorral, Amalfi, Anorí, Apartadó, Argelia (vereda Buenos Aires), Barbosa, Bello, Briceño, Cáceres, Caicedo, Campamento, Carepa, Carmen de Viboral, Carolina, Cocorná, Concepción, Copacabana, Currao, Chigorodó, Dabeiba, El Bagre, Granada, Guatapé, Hispania (vereda de Remolinos), Itagüí, Ituango, La Unión, Maceo, Medellín, Montebello, Mutatá, Necoclí, Peñol, Puerto Triunfo, Remedios, Rionegro, San Carlos (Las Palmas), San Francisco, San Luis, San Pedro, San Rafael, San Roque, San Vicente, Santa Bárbara, Segovia, Tarazá, Tello, Turbo, Urabá, Urrao, Vegachí, Versalles, Yalí, Yarumal, Yolombó, Yondó (Caño de Yondó) y Zaragoza.
Amazonas	Santa Sofía.
Arauca	Arauca, Fortul, La Esmeralda, Puerto Rondón, Saravena y Tame.
Bolívar	Achí, Altos del Rosario, Arenal, Barranco de Loba, Cantagallo, Córdoba, El Carmen de Bolívar, Magangué, Micoahumado, Montecristo, Morales, Nepomuceno, Rioviejo, Pinillos, San Jacinto, San Juan, San Martín de Loba, San Pablo (vereda de Taracué), Santa Rosa del Sur, Simití, Tiquisio y Zambrano.
Boyacá	Cubará, Chitá, Chiscas, Duitama, El Cocuy, Labranzagrande, Pajarito, Pauna, San Mateo y Tasco.
Caquetá	Cartagena del Chairá, Florencia, Milán, Montañita, Morelia, Puerto Rico, Remolinos del Caguán, San Vicente del Caguán, Solita y Valparaíso (Sábalo Alto).
Caldas	Samacá (vereda de Florencia).
Casanare	Aguazul, Corozal, Hato, Paz de Ariporo, Sácama y Támara.
Cauca	Almaguer, Argelia, Balboa, Cajibío, Caloto, Caldono, Corinto, El Bordo, El Tambo, La Vega, La Sierra (El Pinar del Río), Patía, San Sebastián, Santa Rosa, Santander de Quilichao (vereda Balastrera), Silvia y Timbío (Nudo de Almaguer).
Cesar	Aguachica, Becerril, Caracolí, Codazzi, El Copey, Curumaní, Chiriguaná, La Paz, La Jagua de Ibirico, Pailitas (serranía de los Motilonos), Pelilla y San Alberto.
Chocó	El Cantón de San Pablo, Riosucio, San Francisco de Quibdó, Tadó y Unguía.
Córdoba	Puerto Libertador y Tierralta.
Cundinamarca	Cabrera, Claraval, Fusagasugá, Fómeque, Gachetá, Gama, Guataquí, Guayabetal, Jerusalén, Junín, La Palma (vereda de Zumbe), Medina, Pandi, Quipile, San Bernardo, San Juan de Rioseco, San Juan de Sumapaz, Socotá, Venecia, Villeta y Viotá.
Guaviare	Calamar, Miraflores y San José del Guaviare.
Huila	Acevedo, Algeciras, Anzoátegui, Guadalupe, Gigante, Neiva y Suaza.
La Guajira	El Molino, Majaguara y San Juan del Cesar.
Magdalena	Aracataca, Banco, Ciénaga, Fundación y Parrandaseca.
Meta	Acacias, Calvario, El Castillo, El Dorado, La Uribe, Lejanías, Mapiripán, Puerto Gaitán, San Juan de Arama, San Juanito y Villavicencio.
Nariño	Consacá, Cumbal, Ipiales, Puerres, San Pablo, Sandoná (área minada en las estribaciones de los volcanes Cumbal y Galeras) y Túquerres.
Norte de Santander	Ábrego, Arboledas (Cerro de la Cruz), Cachipa, Catatumbo, Convención, Cuchara, Cucutilla, Charta, Chitagá, El Carmen, El Tarra, Hacarí (vereda de Llanon), Herrán, La Playa, Los Patios, Pamplona, Puerto Santander, San Calixto, Sardinata, Silos, Teorema, Tibú, Tarra, Villa Caro y Zulia.
Risaralda	Belén de Umbría.
Santander	Albania, Barrancabermeja, Betulia, Bucaramanga, California, Capitanejo, Carmen de Chucurí, Curití, El Carmen, El Playón, Floridablanca, Galán, Lebrija, Macaravita, Matanza, Piedecuesta, Playón, Puerto Wilches, Rionegro, Sabanagrande, San Vicente del Chucurí, Soto, Suaita, Sucre, Suratá, Tona y Zapatoca.
Sucre	Colosó, Chalán, Guaranda, Morroa, Ovejas, San Onofre, Sincelejo y Toluviéjo.
Putumayo	La Hormiga (Valle del Guamuez), Mocoa, Orito, Puerto Asís, Puerto Caicedo, Puerto Leguizamó, San Miguel y Santiago.
Tolima	Alpujarra, Anzoátegui, Chaparral, Dolores, Prado y Rioblanco.
Valle	Cali, Jamundí, Palmira y Riofrío.
Vaupés	Mitú.
Vichada	Cumaribo.

Fuente: base de datos sobre minas terrestres: Departamento de Asuntos Humanitarios de la ONU; Ministerio de Defensa, Congreso de la República, Campaña Colombiana para la Prohibición de Minas.

<http://www.ibacom.es/Unicef/emergencia.html>
<http://www.casosblancos.org.ar>
<http://www.adra-es.org>. http://www.les-snats.com/fiches/arabidopsis_thaliana.html
<http://www.elsespectador.com/2004/20040404/internacional/nota1.htm>
www.unmsm.edu.pe/Postulantes/examengeneral.htm
www.gncr.ne.jp/spanish/Theme1.html
www.desarme.org/.../cgilua.exe/sys/start.htm?
www.elmeridianodesucre.com.co/LUNES/Sincelejo/sincelejo.htm
www.espectador.com/perspectiva/per2003-05-22-13.htm
www.crisisweb.org/home/index.cfm?id=1536&l=4
www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_General/Presentaciones/
www.oajnu.org/modelonu/modelos/cba_armas.htm
www.acnur.org/biblioteca/pdf/1670.pdf
www.grupoese.com.ni/2000/bn/03/14/zelaMM0314.htm
www.fondef.cl/noticias/deta_noti.php3?cod_noti=152
www.laneta.apc.org/emis/carpeta/sustancias/vietnam.htm
www.edai.org/centro/tematico/terror/22-24.pdf
www.isri.cu/Paginas/Investigaciones/Investigaciones18.htm
www.peacebrigades.org/colombia/pim01.rtf
www.ipliberal.org/modules.php?name=News&file=article&sid=697
www.derechoshumanos.gov.co/minas/descargas/anexo11.pdf
www.mineactionstandards.org/IMAS_archive/FinalNonEnglish/Spanish1.10.pdf
www.worldenable.net/mexico2002/considerations-esp.htm
www.unhchr.ch/Huridocda/Huridoca.nsf
www.reliefweb.org
www.warchild.org

NOTAS

1. El Tratado de Ottawa entró en vigor el 1º de marzo del 2001 para Colombia.
2. Menos del 10% de los fondos para acciones de desminado se destinan a la asistencia de las víctimas; además, muchas de las acciones que se dirigen a los afectados se ciñen a la atención médica y la rehabilitación física. La atención de un herido por mina antipersonal implica el empleo de sala de cirugía, cama mínimo por cuatro semanas, anestesia, sangre, personal médico especializado, prótesis –que deben renovarse periódicamente– y rehabilitación física. Un estudio reciente de Unicef, la Organización Mundial de la Salud y la Cruz Roja de Estados Unidos señala que el costo per cápita puede ascender a US\$9000, los cuales deben ser sufragados por el sistema de salud pública.
3. Sólo dos de los 32 departamentos del país (Amazonas y Guainía) no están afectados por minas antipersonal.
4. No hay información disponible sobre el número de minas antipersonal que tienen los actores no estatales en Colombia; sin embargo, se han encontrado en caletas de explosivos, caminos, en la maraña, debajo de la cerca de alambre, debajo o en las ramas de los árboles, sobre las trochas y sembradas a profundidades de 40 cm o menos.
5. Se estima que hay aproximadamente dos millones de minas terrestres que cubren el 70% del país⁽¹⁾.
6. Es el segundo país más afectado por la existencia de campos minados en el mundo, según el gobierno y la organización internacional Médicos Sin Fronteras⁽⁷⁾.
7. Precio unitario de minas de origen chino: Sombreros chinos, disponible en www.disableworld.org/01-03_03/spanish/noticias/heumann.shtml.
8. La guerrilla colombiana aplica la estrategia de guerra 80:20. 80% mediante explosivos y 20% en enfrentamiento de campo (información proporcionada por el ejército nacional).
9. IMSMA (Sistema de Administración de Acción contra Minas) está auspiciado por el Centro Internacional de Ginebra para el desminado, el gobierno suizo, la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) y la Organización de Estados Americanos (OEA).
10. Se considera campo minado el área en la que se sospecha la presencia de una mina o más; la destrucción de los campos minados es un compromiso que tiene el Estado colombiano después de la firma –en 1998– de la Convención de Ottawa, que prohíbe el empleo, almacenamiento, producción y transferencia de minas antipersonal.
11. El vicepresidente Santos anunció que las fuerzas militares destruyeron en octubre 13.600 minas antipersonal en cumplimiento de la Convención de Ottawa, y el resto se destruirán en febrero de 2005; se retendrán 986 minas antipersonal (M14, M16, minas belgas y minas construidas en Colombia), amparados en el artículo 3 de dicho tratado, con fines de entrenamiento e investigación.
12. PFM-1 (mariposa, Loro Verde), PMA-3, PMB-6, 6N; PMN, PMN-2, PDM-M86, PMD-6M, OZM-4, MON-50, MON-100, MON-200, POMZ-2, POMZ-2M son minas de origen ruso.
13. Valmara 69 es un tipo de mina fabricada en Italia.
14. Países de América Latina importaban de Estados Unidos minas tipo PDM, PMD-M86, APR, A1, M-3, M-4, ATM-19, ADAM, Gator (USAF y USN), Volcano, GEMSS, MOPMS, M-14, M-16, M-18, M18-A1, M-21 y HE (estas últimas tipo Claymore); Estados Unidos tiene el tercer arsenal más grande del mundo, 1,2 millones de minas antipersonales con dispositivos no auto-destruibles.
15. EXPAL ce, sE, P4-A1; P-5-1, P-4-A y P-4-B son minas de origen español.
16. PP-Mi-St, PP-Mi Sr-II son tipos de mina antipersonal importada de Checoslovaquia.
17. M-35, BS B-G, NR, M409 son tipos de mina antipersonal importada de Bélgica.
18. M-969.
19. La industria militar israelí fabrica minas tipo IMI N° 10, IMI N° 12.
20. T-AB-1 mina antivehículo de origen brasileño.
21. VS-50.
22. La gran mayoría de las minas fabricadas carecen de mecanismo de autodestrucción.
23. Industria militar José María Córdova.
24. En el caso de las minas que utilizan las Farc, en su mayoría son de fabricación casera (hechizas) con técnicas que emplean la ETA y el IRA, de acuerdo con los estudios que han hecho los expertos en antiexplosivos del DAS, la policía y el ejército; información disponible en www.bvs.sld.cu/revistas/milvol28_1_99/mil06199.htm.
25. La señal empleada es un pulso corto o una onda seno.
26. Las características dieléctricas del suelo dependen de su textura (arenosa, rocosa, arcillosa, etc.), de la densidad de granos y de su contenido de agua.
27. La constante dieléctrica del conjunto: mina antipersonal más suelo circundante, afecta la velocidad y atenuación de la señal del radar.
28. El contraste de variación es menor en presencia de piedras, raíces, y otros objetos sólidos artificiales, como el hormigón.
29. El aporte del grupo de James Tickner, del CSIRO, forma parte de un proyecto de las Naciones Unidas en el que se investiga la aplicación de técnicas nucleares para encontrar e identificar minas antipersonal.
30. El perro es capaz de detectar hasta 10^{-12} a 10^{-13} gm de explosivo.
31. Según los informes de los medios de comunicación, el ejército colombiano tiene 450 perros adiestrados para el descubrimiento de minas antipersonal en la Escuela de Entrenamiento Canina en Bucaramanga.
32. Grupo de científicos: Sebastian Arnstedt, Simon Oostergaard.
33. La tarea de localización de minas pequeñas, tipo mariposa, es casi imposible cuando éstas son desplazadas del lugar en que fueron colocadas por las inclemencias atmosféricas.