

**DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS CON LA AYUDA DE ANIMALES:  
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA**

**EXPLOSIVES DETECTION WITH THE AID OF ANIMALS:  
A REVIEW OF THE SCIENTIFIC LITERATURE**

**DETECÇÃO DE EXPLOSIVOS COM A AJUDA DE ANIMAIS:  
UMA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA**

**Luisa Fernanda Méndez Pardo  
Andrés M. Pérez-Acosta**



## **DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS CON LA AYUDA DE ANIMALES: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA\***

## **EXPLOSIVES DETECTION WITH THE AID OF ANIMALS: A REVIEW OF THE SCIENTIFIC LITERATURE**

## **DETECÇÃO DE EXPLOSIVOS COM A AJUDA DE ANIMAIS: UMA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA**

**Luisa Fernanda Méndez Pardo\*\***

**Andrés M. Pérez-Acosta\*\*\***

### **RESUMEN**

Se efectuó una revisión sistemática de la literatura científica sobre la detección de explosivos con la ayuda de animales entrenados. El entrenamiento en aprendizaje discriminativo por olfato ha sido especialmente útil para la detección de minas antipersonales. La especie más aprovechada ha sido el perro, seguido de diferentes especies de roedores (rata gigante africana y rata albina); más recientemente, se han puesto a prueba también especies invertebradas como abejas y hormigas. Se concluye con la confirmación de la utilidad de la detección animal, la cual es compatible y complementaria con otras tecnologías de detección como los dispositivos físicos por radiación.

Fecha de Recepción del Artículo: 10 de Septiembre de 2009.

Fecha de Aceptación del Artículo: 14 de Noviembre de 2009.

\* Artículo de revisión producto del proyecto de investigación "Investud. Investigación y Estudios Experimentales con Animales Orientado al Trabajo la Salud y la Tecnología", Código Colciencias COL0074115, dirigido por la primera autora, financiado por el Ministerio de Defensa Nacional de Colombia.

\*\* Médica Veterinaria (Universidad de la Salle) con Perfeccionamientos en Guía Canino en Detección de Explosivos y Narcóticos (Escuela de Formación de Guías de Adiestramiento de Caninos, Policía Nacional de Colombia). Investigadora de la Escuela de Estudios Superiores de Policía, Bogotá, Colombia. Correos electrónicos: luisa.mendez1224@correo.policia.gov.co y gatomendez1@hotmail.com.

\*\*\* Psicólogo (Universidad Nacional de Colombia) y Doctor en Psicología (Universidad de Sevilla, España). Profesor Asociado del Programa de Psicología, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: andres.perez@urosario.edu.co.

### **PALABRAS CLAVE**

Explosivos; minas antipersonal; condicionamiento instrumental; control de estímulos; sentido del olfato; perros; ratas; abejas; hormigas.

### **ABSTRACT**

It conducted a systematic review of scientific literature on the detection of explosives with the help of trained animals. Training in perception learning by smell has been particularly useful for detecting landmines. The most exploited has been the dog, followed by several species of rodents (African giant rat and albino rat), more recently, have also tested invertebrate species such as bees and ants. It concludes by confirming the usefulness of animal detection, which is compatible with and complementary to other detection technologies such as physical devices by radiation.

### **KEY WORDS**

Explosives, mines, instrumental conditioning, stimulus control, sense of smell, dogs, rats, bees, ants.

### **RESUMO**

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura científica sobre a detecção de explosivos com a ajuda de animais treinados. Formação em aprendizagem por percepção do cheiro tem sido particularmente útil na detecção de minas terrestres. A espécie mais utilizada tem sido a do cão, seguido por várias espécies de roedores (rato gigante Africano e rato albino); mais recentemente, foram também testados espécies de invertebrados, como abelhas e formigas. Conclui-se com a confirmação da utilidade da detecção animal, que é compatível e complementar a tecnologias de detecção, tais como dispositivos físicos por radiação.

## **PALABRAS-CHAVE**

Explosivos; minas; condicionamiento instrumental; controle de estímulos; sentido do olfato; cães; ratos; abelhas; formigas.

## **INTRODUCCIÓN**

La ayuda que han prestado los animales a diversas actividades humanas ha sido invaluable. Desde tiempos prehistóricos, los procesos de domesticación han permitido que diversas especies animales se hayan transformado genética y conductualmente con el fin de servir a la supervivencia de la especie humana (Price, 1984). Paradójicamente, estos mismos animales domésticos también han servido a los humanos para defenderse de las amenazas de otros humanos. Más allá del clásico canino guardián de propiedades privadas, diversas especies han ofrecido sus capacidades para salvar vidas humanas, como en el caso de la detección olfativa de explosivos.

La detección de explosivos ha sido una de las tantas utilidades que han prestado varias especies de animales domesticados, principalmente perros, para efectos policiales y de protección civil (Williams y Otros, 1999). Gracias a su capacidad olfativa altamente desarrollada, estos animales han colaborado también en la detección de objetos ilegales como narcóticos y dinero de contrabando, pero también en la búsqueda y rescate de víctimas de desastres naturales, por ejemplo, terremotos o avalanchas (Gerritsen y Haak, 1999).

En las diferentes especies utilizadas la detección olfativa de explosivos, narcóticos, cadáveres, etc. es posible también gracias a la capacidad de aprendizaje por medio del entrenamiento humano. Es decir, no basta con que el animal tenga un buen olfato sino también que tenga una buena capacidad de aprendizaje asociativo, el cual

se define como la adquisición, almacenamiento y recuperación de la información sobre eventos que ocurren bajo cercana contigüidad espacial o temporal (Papini, 2009).

El aprendizaje asociativo particular que se pone a prueba en el entrenamiento de animales detectores se denomina discriminación de estímulos, en la cual el animal adquiere un comportamiento diferencial ante la presentación o aparición de un determinado evento (estímulo discriminativo), el cual es reforzado positivamente mediante recompensa que ofrece el entrenador (Dinsmoor, 1995 a y b). En este caso el estímulo discriminativo es el olor del objeto que desea identificarse (discriminación olfativa) y el comportamiento es la detección propiamente dicha. El reforzador positivo o recompensa depende de cada especie y de cada individuo: puede ir desde comida hasta estímulos sociales (Froufe, 2004).

En las diferentes situaciones ya mencionadas, la discriminación olfativa de los animales entrenados debe competir con otras clases de dispositivos tecnológicos desarrollados para los mismos fines, por ejemplo los detectores físicos de radiación, por ejemplo rayos X o gamma (Tavakoli-Anvaran y Otros, 2009). Sin embargo, puede ser útil considerar ambas clases de dispositivos, máquinas y animales, como complemento más que como competencia (Prestrude y Ternes, 1994).

La discriminación olfativa de explosivos tiene particular relevancia en la actualidad por la detección de explosivos para potenciales atentados terroristas, especialmente después del 11 de septiembre de 2001 (Gazit y Terkel, 2003). Sin embargo, el uso de animales para este efecto ha demostrado ser muy útil para un viejo y persistente problema mundial: las minas antipersonales (Cifuentes Morales y Otros, 2008).

A continuación, examinaremos la literatura científica acerca de la detección de explosivos con animales. Hemos dividido la revisión por las especies más usadas. Comenzamos con los caninos, luego los roedores, y, finalmente, las especies invertebradas como las abejas y las hormigas.

## **1. DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS POR PERROS**

El perro fue una de las primeras especies domesticadas por el hombre. Los primeros animales se domesticaron al final del periodo Paleolítico y a comienzos del Neolítico, aproximadamente 15000 años antes de Cristo (Scortecci, 1965). Este proceso se dio gracias a que tanto los lobos como los humanos vivían en grupos familiares de cazadores sociales, lo cual aparentemente permitió que los lobos empezaran a alimentarse de carroña y a comer los desperdicios que dejaban los humanos; con esto, algunos lobeznos llegarían a amansarse y al cabo de muchas generaciones se convirtieron en perros domésticos.

Lo anterior supone que el humano y el perro muy probablemente se descubrieron recíprocamente útiles, por instinto o por aprendizaje. De ahí en adelante, su relación debió haber sido mucho más consciente y programada. Otra similitud que favoreció este proceso es el gregarismo, que es básico para la subsistencia tanto para el perro como para la especie humana; este es el punto clave por el cual un carnívoro de tales características se hizo amigo del hombre (Villeneuve, 1958).

En tiempos más recientes, la selección deliberada de ciertas características, como apariencia, temperamento o habilidades particulares, llevaron al desarrollo de varios tipos de perros (Licklitter y Ness, 1990). Aun así, todos los perros domésticos del mundo han heredado los

ojos y orejas de su antepasado, el lobo. Todos sus sentidos han evolucionado al ser un cazador social de grandes presas, pero estos sentidos se han adaptado y desarrollado en las distintas razas caninas por medio de la “selección artificial”.

Durante la Primera Guerra Mundial, se documenta por primera vez el entrenamiento específico del olfato canino para su uso en la búsqueda (Katz, 1994). Los alemanes desarrollaron un primitivo método de rastreo con base en una útil técnica de búsqueda para áreas de operación denominada *brinzel*, en la cual, al principio, el perro acudía a la zona en búsqueda de heridos; si los encontraba retornaba a la base mordiendo un extremo en cuero de su collar (*brinzel*) y luego guiaba al enfermero hasta el lugar donde se hallaba el soldado detectado. Tiempo después, durante la Segunda Guerra Mundial, se adiestraron los perros para detectar minas antipersonales y gases tóxicos. Hacia el final de la Guerra, los británicos introdujeron el uso de perros para la búsqueda en escombros y ruinas (Lorenz, 2003).

La búsqueda de sustancias específicas es posible gracias al especializado olfato del canino, este le permite relacionarse y percibir sensaciones que al ser humano le son imposibles. El sentido del olfato en los perros analiza el medio ambiente para verificar si hay signos químicos o cambios significativos en este, por ejemplo determinar dónde está la presa, si hay hembras en celo, marcas de nuevos individuos (orina y heces), realizar el reconocimiento de un lugar (Cunningham, 2003).

La anatomía de la nariz del perro favorece la detección, ya que, las cavidades nasales tienen una orientación que permite ampliar el campo olfatorio. Además al ingresar el aire en la nariz este se separa en dos corrientes, la primera se desplaza a los pulmones y la segunda se dirige directamente a las células olfatorias, en donde

se realiza el reconocimiento de los olores, y el animal lo fija; de esta manera, cada uno de los olores es reconocido como signo de determinadas circunstancias, y cada vez que el animal vuelve a percibir un olor ya conocido, sabe exactamente a qué sustancia corresponde (Adams, 1998).

Durante el proceso de olfacción, una muestra de aire que contiene el olor es tomada y llevada directamente a la porción posterior de las cavidades nasales izquierda y derecha; dentro de la cavidad el olor se adhiere a la mucosa, entrando en contacto con millares de cilios sensitivos de olor. Los cilios son los neurorreceptores olfatorios; cada uno de estos receptores tiene entre diez o más cilios inmóviles que recolectan las moléculas de olor. La membrana epitelial que contiene estos receptores olfatorios, esta soportado por una estructura compleja que es el cornete nasal. Esta estructura permite el máximo contacto entre las moléculas de olor recolectadas y la mucosa olfatoria; el neuroepitelio olfatorio del perro contiene más de 250 millones de células receptoras. La superficie del área del epitelio olfatorio se estima en un rango (dependiendo la raza) de 20 a 200 cm<sup>2</sup> (Barrios, 1990).

Dichas características anatómicas y fisiológicas son comunes a todos los perros, pero estas no garantizan que un perro sea un buen detector, por lo tanto es necesario seleccionar el cachorro especial para la detección de explosivos (Williams y Otros, 1999); dicho proceso se divide en dos fases: una biológica, en donde se realiza una evaluación clínica del sistema nervioso, endocrino y sensorial del animal; y una institucional, donde se eligen habilidades propias del canino según la especialidad en la que se va a entrenar (Gazit y Terkel, 2003). Los perros ideales para la detección de explosivos deben tener además las siguientes características:

- Raza mediana (Pastor Alemán, Pastor Belga Mallinois, Retrievers, principalmente).
- Con alta posibilidad de control por el guía.
- Medianamente activos.
- Con alta fijación por el juguete.
- Buena agudeza olfativa.
- Buena impronta y socialización.
- Carácter duro, temperamento medio, docilidad media.
- Notable comportamiento exploratorio.

Posteriormente se realizan tests de aptitudes como: Presa, Valentía, Defensa, Combatividad, Resistencia e Impulso Predatorio, Cobro, Rastreo (Frosolini, 1998). De esta forma se analiza cómo reacciona el cachorro frente a un conjunto de diferentes impulsos y se determina qué trabajo será capaz de realizar mejor y en cuál obtendrá mayor rendimiento.

Una vez seleccionado el cachorro inicia el proceso de educación y entrenamiento entre los seis y los nueve meses. La clave de esta etapa es el aprendizaje, donde juegan un papel muy importante el condicionamiento clásico y el instrumental en toda su extensión (Tarp, 2000). En el proceso de aprendizaje son igualmente importantes dos aspectos: por una parte la ejecución, como prueba del aprendizaje, y, por otra parte, el cambio en el estado mental del organismo que implica este proceso (Dickinson, 1980).

En el entrenamiento del canino, juegan un papel muy importante el estímulo y la motivación. El primero hace referencia a la variación en el entorno que es percibida a través de los sentidos, a la cual se asocia una respuesta; la segunda hace referencia a la recompensa obtenida por dar una respuesta apropiada ante la presencia de un estímulo en un evento anterior y que queda guardada en la memoria del perro (Pozuelos, 2003).



Para que se genere la repetición de la respuesta, el estímulo debe ser claro y la motivación relevante para el cachorro, ya que si no se tiene motivación suficiente para el desarrollo de una tarea, a pesar de que el estímulo sea muy fuerte, el resultado no será del todo satisfactorio (Pageat, 1998).

Para garantizar el éxito del entrenamiento, deben tenerse en cuenta tres recomendaciones fundamentales, que garantizan la efectividad sin importar el método que se utilice; éstas son:

- Los ejercicios deben ir de fácil a difícil
- La corrección durante la ejecución no debe ser por ningún motivo un castigo
- El perro siempre debe ganar

Como se explicaba anteriormente, durante el entrenamiento, el reforzador positivo de toda ejecución es la recompensa, y la motivación para un ejercicio posterior es volver a ganarla. Los tres reforzadores más utilizados por su eficiencia y fácil uso en el entrenamiento son la voz, el juego y las caricias (Pozuelos, 2003). Una vez entrenado el canino para la detección de explosivos, se requiere que por lo menos una vez a la semana sea ejercitado y puesto a prueba con olores reales, para que no pierda su eficacia en la búsqueda (Gazit y Terkel, 2003).

## **2. DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS POR ROEDORES**

Si bien los perros han sido claramente la especie más utilizada en la detección de explosivos, otras especies animales han sido también útiles en esta tarea. En orden de frecuencia de uso pueden ubicarse dos especies de roedores: la rata gigante africana (*Cricetomys gambianus*: COX y Colaboradores, 2004) y la rata albina (*Rattus norvegicus*: Méndez Pardo y Pérez-Acosta). La detección de explosivos por parte de estas dos especies también es olfativa, es decir,

mediante un mecanismo químico. Asimismo, el entrenamiento en detección se basa en principios de psicología básica del aprendizaje, en particular del condicionamiento operante o instrumental.

### **Rata gigante africana**

La *Cricetomys gambianus* es una especie nativa africana que ha sido exitosamente entrenada por el programa belga APOPO<sup>1</sup> para la detección de minas antipersonales en países como Tanzania y Mozambique. APOPO ha escogido la rata gigante africana pues presenta más genes funcionales para el olfato que el perro (Verhagen y Otros, 2003).

Gracias a esta capacidad innata y a su entrenabilidad, APOPO ha entrenado la *Cricetomys* tanto para la detección de minas antipersonales como para la detección de tuberculosis pulmonar en muestras de esputo (Bekoff, 2007 & Weetjens y Otros, 2009).

Verhagen y otros (2006) informaron acerca de un estudio llevado a cabo en Mozambique, en el cual probaron el entrenamiento en detección de explosivos escondidos en un campo abierto por parte de siete ratas gigantes africanas previamente aclimatadas. Cada animal tenía puesto un arnés, el cual lo conectaba con una cuerda unida a una línea metálica de búsqueda. Los sujetos fueron entrenados para desplazarse hacia el sitio donde se encontraba el explosivo escondido y luego regresar a recibir del entrenador un reforzador positivo (trozo de banano). Las pruebas se efectuaron en cinco cajas diferentes de 5 X 20 metros: A, B, C, D, y E, divididas todas en cuadrículas de medio metro cuadrado. Las cajas A y B no contenían minas, lo cual sirvió para hacer pruebas de falsos positivos. Las cajas C, D y E. contenían minas. Todas las cajas

<sup>1</sup> <http://www.apopo.org/>.

tenían estímulos distractores típicos de campos minados reales, como residuos de guerra.

En promedio, los sujetos emplearon un promedio de 32 minutos por cada 100 metros cuadrados de terreno en las detecciones. Aquellas ratas que pasaron por una secuencia de tres cajas diferentes lograron al final un promedio de detección correcta de 100%. El porcentaje de falsos positivos en ningún caso superó el 4%. Con base en las indicaciones de los animales, los investigadores construyeron mapas de riesgo, mediante los cuales fue posible declarar más del 80% del área como libre de minas.

### **Rata albina**

Si bien la rata gigante africana ha demostrado ser bastante hábil para detectar efectivamente minas antipersonales, se trata también de una especie nativa cuya reproducción en otras latitudes es dudosa. Por otra parte, en el caso de los perros detectores, su peso podría ser capaz de detonar una mina antipersona. Teniendo en cuenta estas limitaciones, un grupo de investigadores pertenecientes a la Policía Nacional de Colombia (Cifuentes Morales y Otros, 2008) han puesto a prueba otro roedor más común y más liviano: la rata albina, en particular la de cepa Wistar, una de las más usadas en estudios de laboratorio en todo el mundo, cuyo peso adulto promedio es de 450 gramos (la rata gigante africana alcanza los 1500 gramos).

Existe en Colombia un gran interés por las tecnologías de detección y erradicación de minas antipersonales pues este país presenta actualmente el deshonroso primer lugar en número de víctimas por esta clase de explosivos, según el informe anual de Landmine Monitor de 2008 (International Campaign to Ban Landmines, 2009). Las cifras oficiales son también alarmantes: la Vicepresidencia de la República informó a comienzos de este año que

más de la mitad de los 1099 municipios sufre este problema en algún grado. Los departamentos con el mayor número de víctimas son Antioquia, Meta, Caquetá y Bolívar. El panorama es más grave, si se tiene en cuenta que Colombia es el único país en Latinoamérica que sufre hoy en día de este flagelo de la humanidad (Méndez Pardo y Pérez-Acosta, 2009b).

El Estado colombiano ha anunciado una fuerte inversión (70 millones de dólares), entre 2009 y 2012, para eliminar las minas y atender a las víctimas (Agencia EFE, 2009). Previamente, con el apoyo financiero del Ministerio de Defensa Nacional, el grupo de investigación INVESTUD de la Policía Nacional de Colombia (Cifuentes Morales y Otros, 2008) logró culminar exitosamente la primera fase de entrenamiento de ratas cepa Wistar para la detección olfativa de siete bases explosivas en condiciones controladas (Méndez Pardo y Otros, 2007). El promedio de efectividad alcanzado por los seis sujetos (cuatro hembras y dos machos) fue de 90%. Estos resultados fueron replicados con un grupo de sujetos que fueron crías de los anteriores y que crecieron en el laboratorio expuestos directamente a otras especies como gatos, perros y seres humanos.

Actualmente, se desarrolla la fase de detección en campo abierto, en los alrededores del Laboratorio Experimental de Comportamiento Animal de la Escuela de Estudios Superiores de Policía, bajo la dirección de Luisa Fernanda Méndez Pardo. Los resultados iniciales arrojaron una efectividad promedio del 82% en estas condiciones (Méndez Pardo y Pérez-Acosta, 2009a). Si bien la investigación está en marcha, sus resultados ya han sido objeto de seguimiento periodístico en diversos medios de comunicación masivos (Agencia EFE, 2006). La siguiente fase de este proyecto de investigación, prevista para 2010, contempla la prueba de detección en campos minados reales del territorio colombiano.

### **3. DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS POR INVERTEBRADOS**

Las especies detectoras de explosivos examinadas hasta aquí son todas vertebradas. Sin embargo, recientemente se han publicado algunos estudios en los cuales se pone a prueba la capacidad de especies invertebradas para la detección de explosivos, en particular, abejas y hormigas.

Puede sorprender que especies aparentemente poco complejas y con un comportamiento aparentemente rígido puedan efectuar estas tareas. Sin embargo, desde la literatura en psicología comparada (Abramson, 1994; Papini, 2009) está muy bien documentada la capacidad de aprendizaje en invertebrados, particularmente del tipo no asociativo (habituaación y sensibilización) y asociativo (condicionamiento clásico y condicionamiento instrumental). De hecho, las formas más básicas de aprendizaje en los vertebrados se originan filogenéticamente en los mecanismos bioquímicos y neurobiológicos del aprendizaje en los invertebrados (Kandel, 2006).

#### **Abejas**

Harris (2008) llevó al campo aplicado a la detección de explosivos lo que ya se sabía en el campo básico (Batson, Hoban & Bitterman, 1992): la capacidad de aprendizaje asociativo con estímulos odoríferos en abejas. Es bien sabido que las abejas pueden aprender a asociar el olor del néctar (estímulo incondicionado) con olores nuevos que, en principio, no generan una respuesta del animal (estímulo condicionado). Si las abejas son capaces de asociar el olor de los explosivos con el olor del néctar, entonces serán capaces de orientarse hacia las fuentes de explosivos. Se requeriría, en consecuencia, un entrenamiento complementario en condicionamiento instrumental para que la

abeja pueda retornar al entrenador luego de haber detectado el explosivo.

Rains, Tomberlin y Kulasiri (2008) también proyectan en los insectos, en particular en las abejas, la nueva generación de animales detectores de explosivos, gracias a que son organismos altamente sensibles, con capacidad de aprendizaje asociativo, fáciles de reproducir y de portar. Sin embargo, advierten que aún no pueden ser declarados como sensores biológicos probados de explosivos. Se requiere más investigación comportamental, tanto de las abejas como de otras especies de insectos, para lograr una detección tan satisfactoria como la lograda con las especies de vertebrados.

#### **Hormigas**

Un equipo de investigadores del Departamento de Defensa de Canadá (Mcfee y Otros, 2009) acaba de reportar un promisorio estudio en el cual se describe la potencial capacidad de las hormigas no sólo detectar sino también para dispersar y, posiblemente, neutralizar explosivos, tanto superficiales como escondidos. Los resultados son más de tipo anecdótico y preliminar: se observó que un grupo de hormigas dejaba una traza lineal, no detectable para el ojo humano a simple vista, de componentes explosivos desde una pila de éstos hasta su colonia, situada a 20 metros. Falta más investigación que permita reproducir este interesante comportamiento y examinar los procedimientos para entrenar la detección de explosivos en esta especie dispersa por todo el planeta.

#### **CONCLUSIONES**

Diversas especies de animales, vertebrados e invertebrados, tienen la capacidad de ayudar al ser humano en la detección de explosivos, los cuales tienen el potencial de dañar a los individuos o eliminar vidas, como sucede con las minas antipersonales.



La detección de explosivos es posible gracias a la capacidad innata que tienen algunas especies de detectar olfativamente los olores de las bases explosivas. Sin embargo, se requiere de entrenamiento dirigido por humanos para lograr este objetivo. Dicho entrenamiento en detección complementa otras labores como la desactivación y erradicación de explosivos.

El entrenamiento requerido implica dos formas de aprendizaje asociativo: el condicionamiento clásico y el condicionamiento instrumental. En el primero, el individuo aprende a asociar eventos de su ambiente, mientras que en el segundo el animal asocia su comportamiento con una consecuencia específica.

Gracias a la combinación de una alta sensibilidad a estímulos olfativos y una gran capacidad de aprendizaje asociativo, los perros y los roedores (en ese orden) son actualmente las especies más utilizadas en la detección de explosivos, principalmente en la búsqueda de minas antipersonales.

La utilización de perros como detectores de explosivos se remonta al menos hasta la Primera Guerra Mundial. En el caso de los roedores, sólo hasta el presente siglo se ha reportado éxito en el uso de dos especies: la rata gigante africana, en Tanzania y Mozambique, y la rata albina cepa Wistar, en Colombia.

El uso de invertebrados en la detección de explosivos es actualmente la frontera de investigación y desarrollo. Se ha informado sobre la capacidad de las abejas y las hormigas de detectar explosivos pero aún hacen falta más estudios para lograr un dispositivo confiable.



## BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMSON, C. I. (1994). *A primer of invertebrate learning: the behavioral perspective*. Washington D. C.: American Psychological Association.
- ADAMS, D. R. (1998). *Anatomía canina. Estudio sistémico*. Zaragoza, España: Acribia.
- AGENCIA EFE (2009). *Anuncian inversión contra auge de minas antipersona*. Portal de Noticias Terra Colombia. Recuperado de: <http://www.terra.com.co>.
- AGENCIA EFE (2006). *Crean escuadrón de ratas para detectar minas y otros explosivos*. Diario La Nación, San José, Costa Rica. Recuperado de: [http://www.nacion.com/ln\\_ee/2006/mayo/02/ultima-la11.html](http://www.nacion.com/ln_ee/2006/mayo/02/ultima-la11.html)
- BARRIOS, M. (1990). *Patrones de búsqueda terrestre*. En: I Seminario Interamericano de Socorrismo y Rescate de Emergencias. Bogotá: Cruz Roja Colombiana.
- BATSON, J. D., HOBAN, J. S. y BITTERMAN, M. E. (1992). *Simultaneous conditioning in honeybees (Apis mellifera)*. Journal of Comparative Psychology, 106 (2), 114-119.
- BEKOFF, M. (Ed.) (2007). *Encyclopedia of human-animal relationships (four volumes)*. Santa Barbara, CA: Greenwood Press.
- CIFUENTESMORALES, J., MÉNDEZ PARDO, L. F., OJEDARINCÓN, C. y ZORRO CÁCERES, I. (2008). *Detección de explosivos con ayuda de roedores especie Rattus norvegicus, cepa Wistar*. En: Universidad e Investigación: Memorias del 1er. Encuentro Internacional de Semilleros y Grupos de Investigación, Red Investigare (pp. 235-243). Bogotá: Editorial Universidad Antonio Nariño.
- COX, C. y otros (2004). *Rats for demining: an overview of the APOPO Program*. Proceedings of the Eudem Conference on Humanitarian Landmine Detection Technologies.
- CUNNINGHAM, J. G. (2003). *Fisiología veterinaria*. Barcelona: Elsevier España.
- DICKINSON, A. (1987). *Teorías actuales del aprendizaje animal*. Madrid: Debate.
- DINSMOOR, J. A. (1995a). *Stimulus control: Part I. The Behavior Analyst*, 18, 51-68.
- FROSOLINI, B. (1998). *Los test para conocer a su perro*. Barcelona: Editorial De Vecchi.
- FROUFE, M. (2004). *Aprendizaje asociativo: principios y aplicaciones*. Madrid: Thomson-Paraninfo.
- GAZIT, I. y TERKEL, J. (2003). *Domination of olfaction over vision in explosives detection by*



- dogs. *Applied Animal Behaviour Science*, 82, 65-73.
- GERRITSEN, R. y HAAK, R. (1999). *K9 search and rescue*. Calgary, Canada: Detselig Enterprises.
- HARRIS, S. (2008). *The honey trap (chemical sensor)*. *Engineering and Technology*, 2 (12), 24-26.
- INTERNATIONAL CAMPAIGN TO BAN LANDMINES (2009). *Colombia. Landmine Monitor Annual Report: 2008*. Recuperado de: <http://lm.icbl.org/index.php/publications/display?url=lm/2008/countries/colombia.html>
- KANDEL, E. R. (2006). *En busca de la memoria: el nacimiento de una nueva ciencia de la mente*. Madrid: Katz.
- KATZ, J. N. (1994). *Los perros de la guerra*. *Muy Interesante*, 9 (101), 46-49.
- LICKLITTER, R. y NESS, J. W. (1990). *Domestication and comparative psychology: Status and strategy*. *Journal of Comparative Psychology*, 104 (3), 211-218.
- LORENZ, K. (2003). *Cuando el hombre encontró al perro*. Barcelona: Tusquets.
- MCFEE, J. E. y otros (2009). *Detection and dispersal of explosives by ants*. *Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering*, 7303, article number 730302.
- MÉNDEZ Pardo, L. F., CIFUENTES Morales, J. y OJEDA Rincón, C. (2007). *Detección de explosivos con ayuda de roedores especie Rattus norvegicus cepa Wistar*. Póster presentado en el XXXI Congreso Interamericano de Psicología, Ciudad de México.
- MÉNDEZ PARDO, L. F. y PÉREZ-ACOSTA, A. M. (2009a, junio). *Detección de explosivos con ayuda de ratas en ambiente controlado: segunda fase*. Póster presentado en el XXXII Congreso Interamericano de Psicología, Ciudad de Guatemala.
- MÉNDEZ PARDO, L. F. y PÉREZ-ACOSTA, A. M. (2009b). *Investigación policial tras la búsqueda de soluciones contra minas antipersona*. *Periódico de la Policía Nacional de Colombia*, 1, 6-7.
- MÉNDEZ PARDO, L. F. y PÉREZ-ACOSTA (en prensa). *Research in Colombia about explosives detection with the help of rats*. *Journal of ERW and Mine Action*, 13.3.
- PAGEAT, P. (1998). *Patología del comportamiento del perro*. Barcelona: Pulso Ediciones.
- PAPINI, M. R. (2009). *Psicología comparada: evolución y desarrollo del comportamiento*. Bogotá: Manual Moderno.



- POZUELOS, A. (2003). *La etología del perro: cómo entender su comportamiento*. Madrid: Ateles Editores.
- PRESTRUDE, A. M. & TERNES, J. W. (1994). *Optimizing substance detection by integration of canine-human team with machine technology*. Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering, 2093, 633-643.
- PRICE, E. O. (1984). *Behavioral aspects of animal domestication*. Quarterly Review of Biology, 59, 1-32.
- RAINS, G. C., TOMBERLIN, J. K. y KULASIRI, D. (2008). *Using insect sniffing devices for detection*. Trends in Biotechnology, 26 (6), 288-294.
- SCORTECCI, G. (1965). *Los animales: cómo son, dónde viven, cómo viven*, volumen 1: mamíferos. Barcelona: Vergara.
- TARPY, R. M. (2000). *Aprendizaje: teoría e investigación contemporáneas*. Madrid: McGraw-Hill.
- TAVAKOLI-ANBARAN, H., MIRI-HAKIMABAD, H. & IZADI-NAJAFABADI, R. (2009). *Optimization of a detector collimator for use in a gamma-ray backscattering device for anti-personal landmines detection*. Journal of Applied Sciences, 9, 1752-1757.
- VERHAGEN, R., Cox y otros. (2003). *Preliminary results on the use of Cricetomys rats as indicators of buried explosives in field conditions*. En: Geneva International Centre for Humanitarian Demining (Ed.), Mine detection dogs, training operation and odour detection (pp. 175-193). Ginebra, Suiza: Autor.
- VERHAGEN y otros (2006). *Rats to the Rescue: Results of the First Test on a Real Minefield*. Journal of Mine Action 9.2, February. Recuperado de: <http://maic.jmu.edu/journal/9.2/RD/verhagen/verhagen.htm>.
- VILLENAVE, G. M. (1958). *Enciclopedia canina*. Barcelona: Noguer.
- WEETJENS, B. J. y otros (2009). *African pouched rats for the detection of pulmonary tuberculosis in sputum samples*. The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease, 13 (6), 737-743.
- WILLIAMS, M. y otros (1999). *Canine detection odor signatures for explosives*. Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering, 3575, 291-301.