

Maestría en Periodismo Científico

Proyecto Periodístico II

Entregable

Magda Lorena Cortés Moreno

Investigación periodística “Avances científicos para la detección de minas antipersonal en Colombia desde el año 2000 al 2022”.

1. Planteamiento del problema de investigación

Según el Programa Gubernamental Acción Contra Minas, desde los años 60 y 70 el estado colombiano importó minas antipersonal (MAP) para proteger unidades militares. Estas minas comenzaron a utilizarse desde los años 80, previa autorización del Comando de las Fuerzas Militares como táctica de defensa alrededor de algunas de sus bases.

En los años 90, Colombia se suscribió a obligaciones internacionales y promulgó la Ley 469 de 1998 por medio de la cual se aprueba la “convención sobre prohibiciones o restricciones del empleo de ciertas armas convencionales que puedan considerarse excesivamente nocivas o de efectos indiscriminados, hecha en Ginebra el 10 de octubre de 1980 y sus cuatro protocolos”, además suspendió la fabricación e importación de minas antipersonal. Cumpliendo el artículo 5 de la convención de Ottawa, las primeras operaciones de Desminado Humanitario se iniciaron en el 2004, el estado colombiano limpió las bases militares.

En el registro de víctimas de minas antipersonal se tiene información desde 1990 que se halla soportada en fuentes de información gubernamentales y no gubernamentales como medios de comunicación. De acuerdo con el programa Acción Contra Minas, a partir del 2002 se inició un proceso de registro diario -sistemático- sobre la afectación por presencia o sospecha de MAP y municiones sin explotar (MUSE). Adicionalmente se estableció un acuerdo de cooperación y asistencia técnica con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para implementar un sistema de información teniendo en cuenta la cartografía colombiana.

A la fecha de corte 31 de enero del 2022 se han registrado 12.152 víctimas de MAP y MUSE, siendo el 2006 el año más crítico donde se presentaron 1.224 víctimas, el mayor número en toda la historia del país. En la última década la cifra ha ido disminuyendo, sin embargo, tras la firma del acuerdo de paz en el año 2016 se siguen presentando víctimas por mina antipersonal. En julio del 2020 bajo el gobierno de Iván Duque, Colombia solicitó ante la Convención de Ottawa que se ampliara el plazo para poder cumplir con la meta de erradicación de minas antipersonal en el territorio nacional propuesta en el Plan Estratégico 2016-2021 “Colombia libre de sospecha de minas antipersonal a 2021”. Según el alto comisionado para la paz Miguel Ceballos, en un artículo publicado por la Revista Semana el 01 de julio del 2020 (Semana, 2020), Colombia enfrenta retos para la descontaminación tales como: la ubicación, dado que hay condiciones topográficas y climáticas que dificultan el proceso; la naturaleza de las minas antipersonal que son artefactos improvisados; la insistencia de grupos ilegales para seguir instalándolas; y finalmente, menciona la dificultad que enfrenta la sostenibilidad financiera de las operaciones de desminado humanitario.

Desde el año 2002 se tiene la necesidad de innovar en las mejores formas para detectar minas antipersonal. Incluso, según la investigadora veterinaria Luisa Fernanda Méndez, se hablaba de la necesidad de buscar alternativas más eficientes que los perros. En el 2014 también se tenía presente la dificultad que representa la topografía compleja y la diversidad de zonas climáticas, tal como lo expresaron en entrevista el Capitán Emilio Díez, el Brigada Ricardo Carrasco y el Sargento Primero Bartolomé Carnicero para el boletín tecnológico de la Súper Intendencia de Industria y Comercio en el año 2014 (Comercio, 2014). Indican ellos que, los dispositivos para detección deben ser bastante sofisticados y portables, que sean fáciles de llevar, que no pesen demasiado para hacer más sencilla la tarea de los grupos de reconocimiento que van a pie por terreno geográficamente difícil. Desde el 2014 se hablaba de que muchos dispositivos usados para la detección y destrucción de MAP no se ajustaban a las necesidades que se requerían ni a las mejoras que los terroristas estaban realizando en el desarrollo de estos artefactos explosivos improvisados. Adicionalmente, se señalaba que, en los procesos de compra de soluciones, muchas veces no se tenía en cuenta la opinión de las personas que realizan operaciones de desminado (Comercio, 2014).

A esta situación se suma la dificultad para detectar minas antipersonales fabricadas de forma improvisada. Según Pardo D, 2020 (Pedraza, 2020), casi todas las minas antipersonales en Colombia son improvisadas, fabricadas con materiales ordinarios como recipientes plásticos, jeringas, celulares, ganchos de ropa, puntillas, entre otros, que son económicos y no se pueden localizar fácilmente por detectores de metales, el dispositivo que se usa para rastrearlas.

Planteo la hipótesis de que existe una desconexión entre el proceso de investigación, desarrollo e innovación para la detección de minas antipersonales en diferentes instituciones en el país y las organizaciones e instituciones que realizan la labor de desminado. Dicha

desconexión se ve reflejada en factores que señalan algunos investigadores tales como: falta de financiación constante por parte del estado colombiano y falta de acceso a escenarios de prueba controlados como los que tiene el ejército para evaluar la innovación desarrollada. En el transcurso de la investigación se espera comprender mejor las limitaciones y desafíos que han tenido las innovaciones en desminado para ser aplicadas en campo real.

En cuanto a la sostenibilidad financiera Macías J. y Corcione M. (Macías Montoya & Corcione Nieto, 2020) manifiestan que “los requerimientos logísticos actuales no dan abasto para movilizar personal” por lo que los encargados de operaciones de desminado humanitario se han visto obligados a poner recursos propios para la movilización de personal o para el pago de arriendo de terrenos requeridos para la instalación de campamentos. Adicionalmente se observa que, durante los años 2015, 2016 y 2017 se realizaron los Encuentros Internacionales de Tecnología e Innovación para el Desminado Humanitario, los cuáles no tuvieron continuación del 2018 al 2022 en el periodo presidencial de Iván Duque, se puede pensar que se disminuyó la importancia o la financiación para este tipo de eventos en el país; esta hipótesis está aún por evaluarse, y las verdaderas razones están por revelarse a lo largo del proceso de investigación.

Por último, otra situación que sigue siendo un reto para el país es que se dejen de usar estas minas antipersonales por parte de los grupos ilegales. De acuerdo con Humanitarian Paractice Network (Macías Montoya & Corcione Nieto, 2020) la estrecha relación entre el conflicto armado colombiano y el narcotráfico ha favorecido el uso de minas con el fin de controlar el territorio y permitir el cultivo, procesamiento y distribución de narcóticos. Según los expertos consultados en el Boletín Tecnológico (Comercio, 2014) es importante innovar durante todo el proceso de detección y desactivación de MAP porque los terroristas van a seguir dando

pasos para que sus operaciones ilegales como la siembra de cultivos ilícitos no se vean afectadas. Esto conlleva a pensar que es necesario seguir innovando e invirtiendo en ciencia y tecnología en el desminado para dar frente a esta problemática que tiene el país. Esta suposición irá cobrando fuerza a lo largo de la investigación a realizar.

Con esta perspectiva podemos preguntarnos:

- ¿Cuáles han sido las innovaciones científicas para la detección de minas antipersonal en Colombia, sus alcances y limitaciones?
- ¿Cuál es la importancia y los desafíos de innovar en desminado en Colombia?
- ¿En qué etapa de estudio se encuentran, solo se han probado en laboratorio, campo controlado o campo real?
- ¿Cuál es el futuro de desminado en el país?

2. Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo general:

Investigar periódicamente los procesos de innovación en la detección de minas antipersonal desarrollados en el país, sus alcances y limitaciones.

Objetivos específicos:

- Realizar un reportaje multimedia para dar a conocer los hallazgos de la investigación periodística realizada.

- Explicar las innovaciones científicas en desminado en Colombia, la etapa de estudio en la que se encuentran y la posibilidad de ser usadas en terreno real.
- Explorar el futuro de la innovación científica en desminado.

3. Objeto de estudio

La innovación científica en Colombia para el proceso de desminado, especialmente para la detección de minas antipersonal, es el objeto de estudio de esta investigación. Para esto se tendrán en cuenta distintos enfoques que van de la mano de los aportes en ciencia y tecnología.

En *primera instancia*, se abordarán los detalles de las innovaciones científicas a estudiar, la ciencia detrás de las tecnologías. Para esto es importante tener en cuenta que en unos proyectos se pueden dar a conocer más detalles que en otros debido a la etapa de estudio en la que se encuentran.

En *segundo lugar*, se abordará la importancia y los desafíos de la innovación científica en Colombia: la importancia desde el punto de vista de quienes hacen labores de desminado y pueden identificar los retos tecnológicos en campo que dificulten la eficiencia del proceso o sigan significando pérdidas de vidas humanas o animales, retos propios del territorio colombiano. Se analizarán los desafíos de la innovación científica, no solo desde el punto de vista de los retos anteriores mencionados, sino también desde las particularidades de cada uno de los proyectos estudiados y sus necesidades: acceso a tecnologías específicas y a pruebas de campo simulado, inversión para el desarrollo de proyectos, entre otras que se identificarán en el proceso de investigación y que representen un punto de inflexión para cada caso. Se agruparán los factores recurrentes para hacer el análisis respectivo.

Finalmente, en *tercer lugar*, se explorará el futuro de la innovación científica en desminado en el país planteando una mirada desde la ciencia y la tecnología, el abordaje de los retos y desafíos para mejorar incluyendo una mirada social de lo que implica el proceso de innovación para el desminado del territorio nacional.

Se tiene registro hasta el momento de innovaciones científicas y tecnológicas desde el año 2006 por lo que se abordarán proyectos realizados desde el 2000 hasta el presente año en Colombia. Para realizar la investigación se tendrán en cuenta documentos académicos, patentes, documentos oficiales que den cuenta de las cifras; retos, legislación, financiación, manuales, métodos para el desminado; organizaciones civiles y militares encargadas de desminado humanitario; investigadores y empresarios que hayan realizado innovaciones científicas o tecnológicas en el periodo de estudio.

4. Justificación

De acuerdo con Acción Contra Minas, al 31 de agosto de 2021, se registran 12092 víctimas por minas antipersonal y munición sin explotar. Esta problemática ha dejado heridas al 80,7% (9762) de las víctimas y el 19,3% (2330) personas han fallecido a causa del accidente (Acción Integral Contra Minas, 2021), es decir, en uno de cada cinco casos la víctima fallece.

Colombia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de víctimas de la fuerza pública (60,1%), y el restante 39,9% corresponde a civiles. Al solo tener en cuenta en las víctimas civiles (4829), el grupo demográfico más afectado son los hombres mayores de edad (65,65%); el segundo grupo que muestra mayor afectación son los niños y adolescentes (20,24%); luego se encuentran las mujeres mayores de edad (7,62%) y las niñas y adolescentes (5,56%) (Acción Integral Contra Minas, 2021).

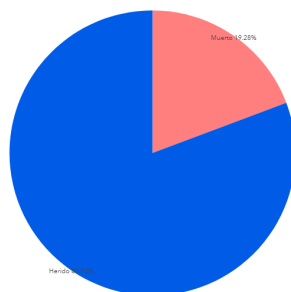


Imagen 1. Porcentaje de personas heridas y muertas por Minas Antipersonal (MAP). Tomada de OFICINA DEL ALTO COMISIONADO PARA LA PAZ - DESCONTAMINA COLOMBIA (Alto Comisionado para la Paz, 2021)



Imagen 2. Proporción de víctimas civiles, de la fuerza pública y combatientes de grupos armados ilegales en el 2020. Tomada de El Colombiano, elaborada con cifras del CICR. (Macías, 2021)

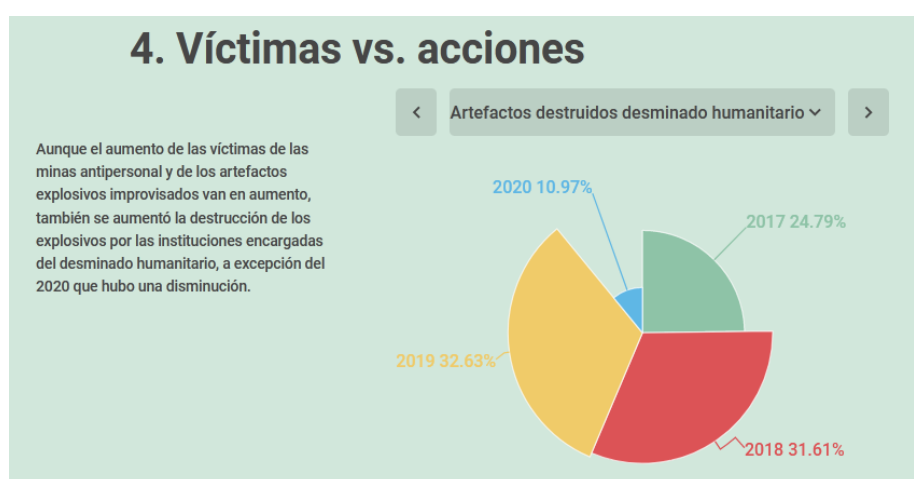


Imagen 3. Porcentaje de víctimas por MAP del 2017 al 2020 y porcentaje de artefactos destruidos en los mismos años (Macías, 2021)

Frente al proceso de desminado en Colombia se han identificado varios retos propios del territorio nacional. *Uno* de ellos se relaciona con las características de las MAP que los grupos ilegales fabrican en el país.

El Mayor José Luis Aguado Álvarez del Centro Internacional de Desminado de la Academia de Ingenieros del Ejército de Tierra, en comisión de servicio en Colombia; considera que Colombia es el primer país del mundo contaminado por Artefactos Explosivos Improvisados (AEI) y que en muchos casos se utilizan como MAP, no son minas normales con pocos cientos de gramos de explosivo (Aguado Álvarez, 2016). Además, menciona que los AEI no contienen elementos metálicos lo que los hace indetectables, sobre todo para uno de los principales métodos con los que cuenta el equipo de desminado: el detector de metales. Esto produjo que muchos de los accidentes sucedieran en el rescate de personas heridas por las MAP y que pensar en otras opciones se hiciera necesario. Una de ellas es el uso de la sonda manual junto con el detector de metales, la sonda debe hundirse en el suelo a un ángulo no muy pronunciado (normalmente 30 grados). Dado que la mayoría de las sondas tienen 30 centímetros de largo solo pueden penetrar el suelo entre 10 o 14 centímetros, a esta profundidad suelen estar enterradas las MAP mientras que las minas antivehículo se hallan a 10 centímetros más de profundidad, por lo que se corre el riesgo de tocar la parte superior o la superficie sensible de la mina y provocar la explosión (Centro Internacional de Desminado Humanitario, 2004). Esto requiere que el desminador se encuentre a ras del suelo y sea necesario considerar el riesgo de exponer ojos y cara a la MAP, así como los tiempos de rendimiento de la persona.

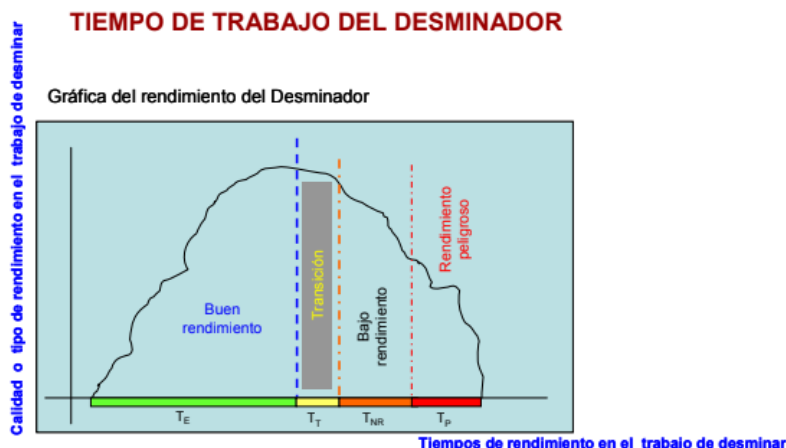


Imagen 4. Gráfica de rendimiento del desminador. Cada persona tiene una curva característica por lo que el líder debe conocer a las personas del equipo y saber cuándo debe realizar relevo antes de que el rendimiento bajo sea peligroso. T_E : Tiempo de trabajo eficaz, T_T : Tiempo de transición (descanso y relevo), T_{NR} : Tiempo de trabajo no recomendable, T_P : Tiempo de trabajo peligroso (Aguado Álvarez, 2016)

Sumado al problema de la naturaleza improvisada de las MAP también se tiene el desgaste humano en los procesos de desminado, por esto se han generado alternativas como el equipo de caninos, detector dual (detección metálica y radar terrestre), desminado mecánico, entre otros. Sin embargo, esto no ha sido suficiente para que Colombia supere todas las dificultades en el proceso de desminado debido a dificultades técnicas, como lo expresó el Comisionado para la Paz frente a los miembros de la Convención de Ottawa.

Identificar las situaciones anteriores permite comprender los retos técnicos a los que se enfrenta la innovación tecnológica en el país para el tema de desminado. En Colombia sí se han realizado aportes de métodos innovadores de detección de minas antipersonal que incluyen etapas de prototipado, ensayos en laboratorio, ensayos en ambiente simulado y ensayos en ambiente real.

Se realizó una revisión de medios desde el 2006 hasta el 2021. Los medios que se consultaron sobre minas antipersonal, desminado e innovación en desminado en Colombia fueron: El Tiempo, BBC Brasil, BBC mundo, El País Cali, Noticias Caracol, Infobae, Reliefweb, El Baudoseño, La FM, Semana, Hoy Diario del Magdalena, El Espectador, Lente Regional, Armonías del Caquetá, Noticias del Centro Nacional Contra Artefactos Explosivos y Minas, Pesquisa Javeriana, RCN Radio, La Silla Vacía, El Universal, El Colombiano, Scidev y Conflict and Environment Observatory.

A la fecha de elaboración de este documento no se encontró un artículo periodístico que diera cuenta de los avances a nivel de ciencia y tecnología de diferentes proyectos realizados en el país, ni de los límites o dificultades a los que estos se enfrentan. Esto no permite investigar y superar los obstáculos ni que la opinión pública pueda tomar una posición frente a lo que implica hacer innovación para resolver las problemáticas de desminado en el país. Con esta investigación periodística se busca problematizar el hecho de que en universidades y empresas se realicen innovaciones para detección de MAP y no lleguen a utilizarse en terreno real por desconexión entre instituciones para reconocer las necesidades reales del proceso y la falta de acceso a pruebas en campo simulado. De igual manera puede ser de gran relevancia para la ciencia del país dar a conocer el funcionamiento de estas innovaciones ya que pueden ser puntos de partida para otras investigaciones a nivel nacional e internacional. Además, se espera lograr una mayor concientización sobre la importancia de continuar y concluir el proceso de desminado humanitario en el país.

En entrevista con Elio Rico, uno de los científicos de la Universidad Nacional de Colombia, quién participó en el desarrollo de un sensor químico desde el año 2015, menciona que dos de las dificultades identificadas en las etapas que participó es la limitación del tiempo y la falta de financiación para

continuar con la investigación. Es necesario resaltar que parte de la financiación recibida ha sido sobre todo de organizaciones internacionales como el Fondo Newton.

Otra de las dificultades observadas por el químico Elio se relaciona con la dificultad para realizar pruebas en campo simulado, ya que el acceso a estos escenarios no es fácil para los investigadores externos al Ejército Nacional.

Además de los problemas puntuales de financiación para cada proyecto, se evidencia también que durante los años 2015 al 2017 el gobierno nacional apoyó la realización de los eventos de Ciencia e Innovación en Desminado Humanitario los cuáles no tuvieron continuación en el actual periodo presidencial de Iván Duque. Por lo anterior, es necesario investigar desde el periodismo científico la importancia y los desafíos de la innovación científica en desminado en Colombia, dar a conocer los avances que se han realizado, sus alcances y limitaciones, para finalmente explorar el futuro de la detección de MAP en el país.

Los hallazgos los presentaré en un especial multimedia en el que se combine audio, animación, fotografías, infografías y crónicas que permitirán comprender mejor el panorama de la innovación científica en desminado, identificando los aciertos y desaciertos que se entretajan alrededor de los proyectos realizados en Colombia.

5. Fundamentación teórica

5.1 Estado del arte

Tesis

Durante la investigación realizada del 2021 al 2022 se encontraron 5 estudios académicos en modalidad de tesis sobre innovación científica y tecnológica para la detección de minas antipersonal.

En el 2009, los investigadores Silva Cruz y Ángel Humberto de la Universidad Nacional de Colombia (*Cruz Silva, 2009*) estudiaron la técnica de retrodispersión de neutrones para la detección de elementos enterrados ricos en hidrógeno. Esto consiste en enviar neutrones para que reboten en los elementos enterrados y vuelvan a la fuente de la que se emitieron para dar información de dichos objetos. Se obtuvieron resultados que describen la posibilidad de detectar el objeto enterrado con altos valores de humedad, característica de los suelos colombianos. Esta es una técnica nuclear que se está investigando en el mundo para detección y desminado.

Posteriormente en el 2013 el ingeniero electrónico John Jairo Pantoja Acosta en la Universidad de los Andes presentó su proyecto de tesis "*Electromagnetic Susceptibility of Electro-Explosive Devices*" para obtener el título de Doctor en Ingeniería (*Pantoja Acosta, 2013*). En este trabajo se estudian los dispositivos electroexplosivos (EED) ya que recientemente se han incorporado en dispositivos de artillería, equipo militar y artefactos explosivos improvisados. Los EED se activan eléctricamente, son susceptibles a la radiación electromagnética y su activación involuntaria podría ser catastrófica. Por ello, es necesario el estudio de las características de respuesta electromagnética en cada dispositivo para garantizar un funcionamiento seguro. Se lograron modelos que permiten determinar el rango de frecuencia de resonancia y las intensidades del campo de ignición de un EED conectado a un circuito encendido. El proyecto también incluye cómo fue financiado y los recursos técnicos que usó para desarrollar la

investigación. A diferencia del proyecto anterior acá se estudia el dispositivo explosivo, las características eléctricas que tiene y por tanto cómo se puede activar. Esto es importante para desarrollar a futuro un dispositivo que actúe a distancia para desactivar o activar controladamente el explosivo.

En el 2015 para obtener el título de técnico en la Facultad de ingeniería, tecnología mecánica industrial de la Institución Universitaria Pascual Bravo de Medellín, Duvan Alexander realizó el trabajo titulado *“Diseño de carro para desactivación de minas antipersona”* (MESA VALLE, 2015). En este caso, el investigador basándose en los datos de máquinas usadas a nivel internacional y nacional, así como en las nuevas tecnologías presenta un diseño que permite la desactivación de minas antipersonal de forma segura y que tiene en cuenta las necesidades del terreno en el país.

Buscar alternativas a las ya existentes para la detección de minas, bien sea a las que solo han sido estudiadas en el laboratorio o a las que ya están en función en campo, también es una prioridad para los investigadores. Por eso en el 2017, Harvey Sierra estudiante de Maestría en el Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad de los Andes (Sierra, 2017) realizó el trabajo de grado titulado *“Análisis de la detección de minas mediante la técnica GPR ‘Ground Penetrating Radar’”* en el que se efectúa un análisis de un radar de penetración de tierra –GPR- con el objetivo de utilizar un método alternativo que permita efectuar la detección de minas enterradas en el suelo mediante la radiación de un pulso electromagnético de Ultra Banda Ancha. En el texto se incluye una sección de trabajos futuros.

Posteriormente en el 2019, el científico Andrés Rodríguez para obtener su título de Máster en Ciencias Química de la Universidad Nacional de Colombia realizó el trabajo llamado “*Redes orgánicas covalentes como quimiosensores para volátiles en explosivos tipo ANFO*” (Rodríguez Camargo, 2019) en el que señala que los volátiles liberados por el ANFO son las moléculas objetivo del trabajo desarrollado, para detectarlas se usaron las redes orgánicas covalentes o COF. Se empleó la espectroscopia de impedancia electroquímica como técnica para detectar amoniaco, metilamina y etilamina, gases definidos como posibles moléculas liberadas por el ANFO. Dentro de los resultados se tiene que tanto las resistencias de los COF como las impedancias crecen a medida que las concentraciones de aminas aumentan, este es un resultado contrario al esperado pero que parece promisorio para el uso de COF en un quimiosensor para detectar MAP.

La elaboración de sensores más específicos para los volátiles del ANFO pueden resultar en narices electrónicas y otros dispositivos para detectar este explosivo.

Artículos periodísticos

Durante la investigación realizada en el 2021 sobre el cubrimiento de medios de *ciencia para el desminado* se encontraron los siguientes resultados:

Artículos periodísticos sobre la innovación científica para desminado

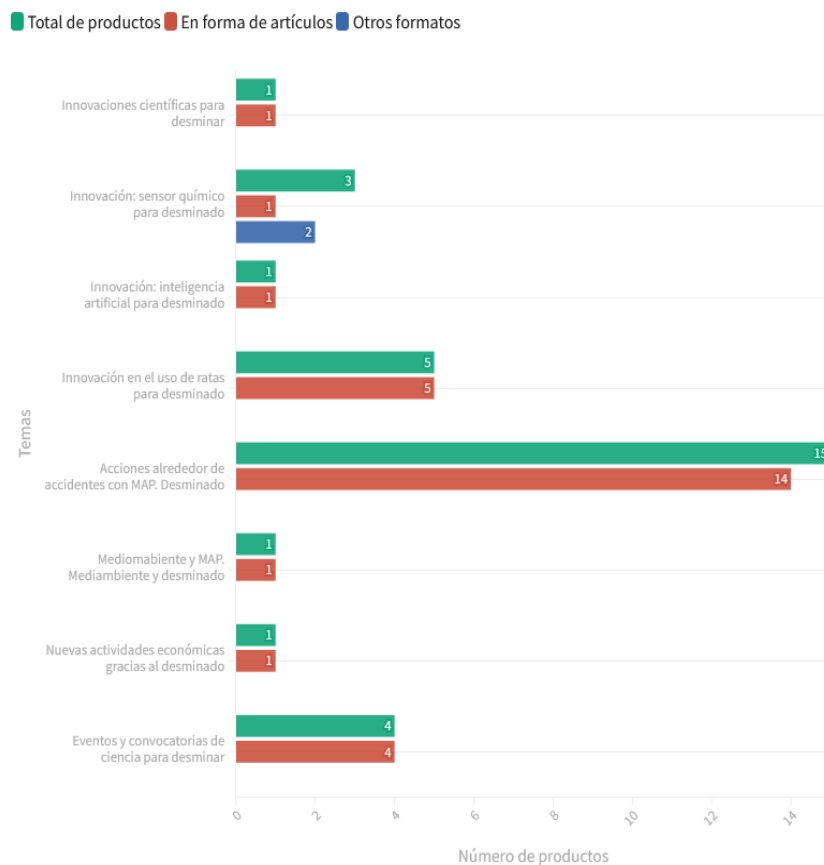


Imagen 5. Clasificación por temáticas de los artículos periodísticos encontrados.

Es importante resaltar que acá se da especial énfasis a artículos que tengan que ver con innovación para el desminado. Sin embargo, se tuvieron en cuenta artículos sobre el tema que más cubren los medios: *Accidentes con MAP y resultados del proceso de desminado* porque incluyen detalles como nuevas formas de minar por parte de grupos armados ilegales, especiales periodísticos sobre MAP de los que se obtuvieron algunos datos para este texto y resultados del desminado para tenerlos en cuenta en la recopilación de hitos en ese tema.

De los otros 16 artículos ubicados en el tema de innovación para desminado se observa que abordan en forma de noticia el desarrollo de *una* nueva innovación, sin profundizar mucho en la ciencia detrás de esta o en las dificultades y el alcance real del proyecto. Aunque hay 9 trabajos donde se indaga más sobre la ciencia, son productos de medios universitarios y no los abordaré a continuación ya que solo se dedican a una innovación que en el momento se desarrolla. Los tendré en cuenta para el estudio de cada proyecto. Citaré 3 casos que son distintos a los ya mencionados para que tener una idea de los enfoques que se han trabajado en cuanto a ciencia y desminado de una forma más amplia.

En el artículo publicado por El Heraldo el 03 de diciembre del 2015, titulado *Tecnología, clave para limpiar vastas zonas colombianas de minas antipersona* (EFE, 2015) se aborda Expodefensa, por lo que nombra diferentes desarrollos tecnológicos para el desminado como robots, detector dual, menciona que Indumil ha puesto en funcionamiento un campo de pruebas técnico científicas para las tecnologías asociadas con el desminado. Habla de tecnologías extranjeras que se traerán al país.

En la misma línea del cubrimiento de eventos se tiene el artículo de Elmundo.com, publicado el 26 de octubre del 2017 (*Zuleta Valencia, 2017*), en que se anuncia la realización del 3er Encuentro Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desminado Humanitario en Colombia. Da como contexto un accidente con MAP ocurrido unos días atrás. Menciona que en el evento se van a presentar nuevos avances como la tecnología Termita que ya se usa en el país.

En contraste a todos los artículos anteriores, se tiene el texto de la profesora Lisbetg Fog del 2016 publicado en Scidevnet titulado *Colombia, ¿desminada en 2021 con apoyo de la*

ciencia? (Fog, 2016), en el que se nombran aproximadamente 5 proyectos de innovación científica en el área de desminado, se hace referencia a los proyectos que recibe la Dirección de Acción Integral Contra Minas Antipersonas (DAICMA) a través del Comité Científico. Se nombra el presupuesto contemplado.

El proyecto desarrollado está más cercano a este último ejemplo. Mostrando varias innovaciones realizadas en el país para la detección de minas antipersonal, pero profundizando más en cada proceso de investigación.

Artículos científicos

En cuanto a los artículos científicos consultados entre el 2021 y 2022 en revistas especializadas se encontraron más de 32 publicaciones, de las cuales 15 se describen a continuación en orden cronológico, ya que algunas tienen como autores a los protagonistas de los artículos del proyecto realizado. A los otros autores se les envió un formulario para recopilar datos que también se pudieran añadir en la página web.

En el 2007 Nathalia García, Gabriel Aviña-Cervantes, Carlos Parra y Michel Devy de la Pontificia Universidad Javeriana y de la Universidad de Guanajuato realizaron el proyecto de investigación titulado COLOR TEXTURE ANALYSIS APPLIED TO MINE DETECTION (García, Aviña-Cervantes, Parra, & Devy, 2007). En el artículo consultado se presenta una segunda etapa del desarrollo de un sensor complementario para un detector de metales. Dicho sensor se basa en el análisis de imágenes tomadas por una cámara a bordo. Las imágenes son procesadas por un análisis de textura de color, dando como resultado la posibilidad de determinar la presencia

de una mina terrestre no metálica dentro de la imagen. Esta estrategia se quiere implementar en el Robot “Amaranta” diseñado en la Universidad Javeriana.

El siguiente artículo tiene que ver con el uso de animales para la detección de minas antipersonales. Un texto de Luisa Fernanda Méndez Pardo, médica Veterinaria de Universidad de la Salle, con Perfeccionamientos en Guía Canino en Detección de Explosivos y Narcóticos de la Escuela de Formación de Guías de Adiestramiento de Caninos, Policía Nacional de Colombia e investigadora de la Escuela de Estudios Superiores de Policía y de Andrés M. Pérez Acosta, Psicólogo de la Universidad Nacional de Colombia y Doctor en Psicología de la Universidad de Sevilla, España. Artículo titulado *Detección de explosivos con la ayuda de animales: una revisión de la literatura científica* publicado en el 2009 (Méndez Pardo & Pérez-Acosta, 2009). Esta revisión se realiza debido a que la detección animal es compatible y complementaria con otras tecnologías de detección como los dispositivos físicos por radiación, con esta revisión se identifica que no solo el perro ha sido la especie entrenada si no que recientemente se han puesto a prueba especies invertebradas como abejas y hormigas. Describe la anatomía del perro y las características necesarias que lo hace adecuado para esta labor. En la detección con roedores, describe brevemente el proyecto realizado desde el Laboratorio Experimental de Comportamiento Animal de la Escuela de Estudios Superiores de Policía.

Luisa Méndez es una de las protagonistas del proyecto realizado.

Nuevamente en el 2011 Luisa Méndez y Andrés Pérez publicaron un artículo llamado *Del laboratorio al campo abierto: el uso de protocolos de adaptación y socialización en Rattus Norvegicus* (Méndez Pardo & Pérez-Acosta, 2011). En esta publicación se presenta un protocolo para la adaptación y socialización de sujetos de investigación, *Rattus norvegicus*, cepa Wistar,

como parte del proyecto que busca el entrenamiento de estos animales para la detección de explosivos. Se describe el diseño de las habitaciones y se muestra el protocolo de socialización de las ratas con humanos y otros animales.

En los proyectos anteriores se ha estudiado el método para detectar minas antipersonales, con contenido metálico o no. En el siguiente artículo publicado por John J. Pantoja, Néstor M. Peña, Farhad Rachidi, Félix Vega y Francisco Román de la Universidad de los Andes y del Swiss Federal Institute of Technology EPFL en Lausanne; se tiene como objetivo conocer más las características de las minas antipersonales y de otro amplio grupo de explosivos que se pueden activar de forma eléctrica, de tal manera que se conozcan las condiciones necesarias para activarlos a distancia. La publicación titulada *Susceptibility of Electro-explosive Devices to Microwave Interference* fue hecha en el año 2013 (Pantoja, Peña, Rachidi, Vega, & Roman, 2013) y en ella se evalúa estadísticamente la susceptibilidad electromagnética de los dispositivos electroexplosivos, incluidos sus cables de conexión. Se hace un modelado para determinar la condición de activación debida a una excitación con un campo electromagnético externo. Se obtiene la frecuencia de acoplamiento óptima y la probabilidad de activación de un dispositivo electroexplosivo cableado típico en función de la magnitud de la excitación.

John Jairo Pantoja es uno de los protagonistas del proyecto desarrollado.

En el artículo anterior se estudian distintos electroexplosivos pero en el siguiente los mismos investigadores se enfocan en artefactos explosivos improvisados (AEI). John J. Pantoja, Nestor Peña, Farhad Rachidi, Felix Vega, Francisco Román publicaron en el 2014 el artículo titulado *Characterization, Modeling, and Statistical Analysis of the Electromagnetic Response of Inert Improvised Explosive Devices* (Pantoja J., Peña, Rachidi, Vega, & Román, 2014) en el que

estudian los AEI cuya versión eléctrica se compone comúnmente de un contenedor dieléctrico, metralla, material explosivo y un circuito de activación eléctrica (chispa). Se sabe que las detonaciones remotas pueden lograrse con las fuentes de radiación existentes y se ha logrado determinar la frecuencia óptima para una onda de excitación. En este artículo se presenta la caracterización experimental de la respuesta electromagnética de un conjunto de artefactos explosivos improvisados. Lo anterior teniendo en cuenta que la activación remota de detonadores eléctricos es posible gracias a que son susceptibles frente a perturbaciones electromagnéticas. La caracterización de un conjunto de 22 AEI fabricados con diferentes materiales, diseños y dimensiones se logró gracias a su capacidad de recibir ondas electromagnéticas, expresadas en términos de su ganancia de impedancia de entrada. Es un trabajo que sigue en progreso, para probarse con AEI llenos y en suelo.

En el 2015, estando ya los investigadores enfocados en AEI como por ejemplo las minas antipersonal, estudiaron el efecto que tiene el explosivo que se usa en la mina en las características de los electroexplosivos estudiadas anteriormente. Es decir, ahora estudian las minas que se pueden detonar eléctricamente, pero que además tienen como explosivo el ANFO. Ahora S. A. Gutierrez, E. Neira, J. J. Pantoja, F Vega publican en el 2015 el artículo titulado *The effect of ANFO on the Complex Resonance Frequencies of an IED* (Gutierrez, Neira, Pantoja, & Vega, 2015). En el que se centran en describir cómo la resonancia de polos de un AEI es modificada por la constante dieléctrica del material explosivo que se use como carga principal.

Luego de 3 años de investigación continua en el tema, los investigadores Felix Vega; Francisco Roman; John Pantoja; Nestor Peña; Nicolas Mora; Farhad Rachidi de la Universidad Nacional de Colombia publican en el 2016 el artículo llamado *High power electromagnetics*

applied to humanitarian demining in Colombia (Vega, Román, Pantoja, Peña, Mora, & Rachidi, 2016). En esta publicación se resumen los principales hallazgos de la exploración del uso de electromagnetismo de alta potencia en el desminado humanitario. Uno de los resultados tiene que ver con el desarrollo de un método de neutralización basado en la detonación remota de AEI activados eléctricamente. Se analizan diferentes tipos de sistemas de radiación y se identifican los más adecuados para esta aplicación. Se presentan los resultados experimentales que validan el método de neutralización.

Como lo veremos más adelante aquí no para la investigación y continúan publicando artículos en el tema.

En el 2016, Paola Prada y Mario Chávez vuelven a los métodos de detección biológicos, en una alianza entre el Institute for Forensic Science de la Texas Tech University y la Policía de Colombia publican el artículo *Demining Dogs in Colombia –A Review of Operational Challenges, Chemical Perspectives, and Practical Implications* (Prada & Chávez Rodríguez, 2016). El cual se enfoca en resaltar las características y factores (topografía, humedad, hora del día, entre otras) inmersos en el estudio y diseño de tecnologías para el desminado humanitario en Colombia, describe métodos más representativos y prioriza el uso de especies caninas como un método eficiente para el estado colombiano.

Dos años después de su anterior artículo, John J. Pantoja junto a Felix Vega, Francisco Román, Nestor Peña y Farhad Rachidi miembros del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) publicaron el artículo titulado *On the Differential Input Impedance of an Electro-Explosive Device* (Pantoja, Vega, Román, Peña, & Rachidi, 2018). En este artículo se propone un modelo para la impedancia de entrada de un dispositivo electroexplosivo de hilo

caliente (EED). Se comparan los resultados obtenidos con los reportados en literatura. Los ingenieros siguen investigando para comprender el funcionamiento electrónico de los artefactos explosivos.

Mientras tanto en el mismo año, 2018 a la par, John Jairo Pantoja realiza otra publicación junto a Christoph Baer, Christian Schulz, Thomas Just, Sergio Gutierrez, Kerstin Orend, Jan Barowski, David Martinez, Birk Hattenhorst, Jochen Jebramcik, Thomas Musch, Ilona Rolfes, Juergen Sachs y Felix Vega, titulada *Humanitarian Microwave Detection of Improvised Explosive Devices in Colombia* en una alianza entre el Institute of Electronic Circuits, Ruhr-University Bochum, Germany y la Universidad Nacional de Colombia (Baer, y otros, 2018). En este artículo se muestran los últimos resultados de investigaciones sobre el radar de penetración terrestre para el desminado humanitario en Colombia. También contiene la descripción del equipo investigado y fabricado, así como los resultados de pruebas en escenarios simulados. Señalan las características necesarias para potenciar la detección de minas basada en radar. Este artículo deja ver el dispositivo construido por los ingenieros a partir de años anteriores de investigación en el funcionamiento de artefactos explosivos improvisados.

En el 2018, se sigue el estudio de los artefactos explosivos en las condiciones específicas de nuestro país, en este caso John J. Pantoja, Felix Vega, Francisco Román y Farhad Rachidi en una alianza entre la Universidad Nacional de Colombia y el Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) publicaron el artículo titulado *Effect of dispersive soil on the electromagnetic response of buried wires in the UHF range* (Pantoja, Vega, Román, & Rachidi, Effect of dispersive soil on the electromagnetic response of buried wires in the UHF range, 2018). En el cual se

analiza el efecto del suelo sobre la corriente inducida en un cable enterrado excitado por un campo externo en el rango de frecuencia ultra alta. Se muestra que los efectos del suelo sobre la respuesta electromagnética de un alambre son: I) modificar su longitud eléctrica y II) atenuar la onda incidente y por lo tanto la corriente inducida en el alambre. Por lo anterior no deben descuidarse los parámetros del suelo en los cálculos de acoplamiento electromagnético. Recientemente se han considerado señales de microondas de alta potencia para la activación remota de AEI, dado que estos artefactos se encuentran enterrados en el suelo es importante considerar el efecto de la dependencia de los resultados con el tipo de suelo, temperatura y humedad que presenta.

Explorando otras opciones que aprovechen las características de las minas antipersonal para su detección, no solo la parte eléctrica, en el 2020 surge una publicación titulada *Detección de minas antipersonal que contienen explosivos tipo ANFO: una revisión*. Realizada por César Sierra, León D. Pérez, Andrea Garzón, Diana Sinuco y Juan P. Hinestroza del Departamento de Química, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia (Sierra, Pérez, Garzón, Sinuco, & Hinestroza, 2020). Este es uno de los artículos publicados durante el desarrollo de un quimiosensor para la detección de MAP. Menciona que la mayoría de dispositivos AEI usados como MAP están hechos a mano y con una mezcla de nitrato de amonio y un combustible fósil, es decir ANFO. Por lo tanto, la mejor manera de detección hasta el momento es el uso de caninos entrenados. La revisión describe las estrategias químicas utilizadas en la detección de MAP basadas en ANFO y los volátiles como amoniaco, dimetilamina, metilamina que se han identificado de este tipo de explosivos.

Dentro de este mismo proyecto que aprovecha los componentes químicos que emanan las minas antipersonal para detectarlas, los científicos Andrés Rodríguez, Elio Rico, César Sierra y Óscar Rodríguez del Grupo de Investigación en Macromoléculas del Departamento de Química, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia publicaron el artículo titulado *Impedimetric Detection of Ammonia and Low Molecular Weight Amines in the Gas Phase with Covalent Organic Frameworks* (Rodríguez, Rico, Sierra, & Rodríguez, 2020). En este artículo se habla de la síntesis de dos COF (Redes orgánicas covalentes) los cuales fueron depositados como películas sobre electrodos interdigitados y posteriormente utilizados para la detección de amoníaco y aminas de bajo peso molecular presentando un rango de sensibilidad a bajas concentraciones de amina por debajo de 2 ppm a temperatura ambiente. Resaltan los autores que lo innovador es que no ha habido reportes de uso de COF e impedancia eléctrica para la detección de amoníaco, el cual es uno de los volátiles estudiados.

Hasta el momento, los artículos mostrados intentan comprender desde el lado opuesto a los grupos al margen de la ley el funcionamiento de los artefactos explosivos improvisados. En el 2020 se publica el artículo titulado *Artefacto Explosivo Improvisado: landmines and rebel expertise in Colombian warfare* escrito por Diana Pardo Pedraza del Department of Gender and Sexualities Studies, University of California Irvine, Irvine, CA, USA. (Pedraza, 2020) en el que la autora resalta la naturaleza improvisada de las MAP, lo que las hace menos costosas y no percibidas por los detectores de metales. En el artículo se da una reflexión sobre los AEI no solo como objeto empírico, un dispositivo mortal, sino también como una herramienta conceptual que responde a un contexto histórico y a unas prácticas materiales que han hecho posibles las minas y que las mismas minas hacen posible. Con el concepto artefacto explosivo improvisado (AEI) la autora considera la cultura material de la guerrilla y las prácticas corporales y el

conocimiento técnico de los explosivistas, los rebeldes que diseñan, ensamblan e instalan las minas improvisadas. Al destacar su ingenio y creatividad, enmarca ese conocimiento en términos de “experticia rebelde”. *Según la autora un conocimiento encarnado, local, e irregular que confronta la experticia tecnocrática, estandarizada y externa del desminado humanitario.* A lo largo del artículo, se procura ilustrar la inseparabilidad de las minas improvisadas y las realidades técnicas y militares que las crearon.

Este artículo es importante porque retrata la realidad, que quieren superar los científicos e ingenieros, vista desde el punto de vista de quiénes fabrican y siembran los artefactos explosivos, por lo tanto, los retos a superar.

Reflexionando sobre esa realidad y las condiciones específicas que se dan en el país en cuanto a los artefactos explosivos improvisados, Jesus A. Vega, Hichem Sahli y Alain G. Sellier en una alianza entre el Department of Electronics & Informatics (ETRO), Vrije Universiteit Brussel (VUB), Brussels, Belgium y el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de los Andes, publicaron en el 2020 el artículo titulado *Antipersonnel landmines in the Colombian internal conflict: implications for technology development* (Vega, Sahli , & Sellier, 2020). En el cuál se muestran las características que debe incluir el diseño de dos dispositivos de detección orientados en la detección de minas antipersonal caseras.

Documentos presentados en eventos

En los años 2015, 2016 y 2017, se realizaron eventos de carácter nacional e internacional sobre tecnología e innovación para el desminado humanitario en Colombia. Los proyectos presentados en el ***II Encuentro internacional de tecnología e innovación para desminado***

humanitario. Bogotá 18, 19 de octubre de 2016 quedaron guardados y públicos para la consulta

y son los que se recopilaron a continuación.

F. Cristancho, D. Flechas, J. Gómez, E. Fajardo, F. Torres, L.G. Sarmiento, A. Cruz, N. Forero del Grupo de investigación de Física Nuclear de la Universidad Nacional de Colombia presentaron la ponencia llamada *Localización y verificación de artefactos explosivos improvisados por técnicas nucleares* (Cristancho, y otros, 2016). En dicha exposición se menciona la financiación detallada de la investigación realizada; muestra proyectos previos internacionales y una referencia nacional; da los resultados obtenidos y la proyección del proyecto; señala las ventajas para el desminado humanitario; explora la posibilidad de que se vea los dineros destinados a estos proyectos como dineros de inversión dónde se puedan comercializar los métodos y equipos o dónde a futuro las técnicas de desminado se conviertan en técnicas de vigilancia urbana anti explosivos.

Me contacté con estos investigadores, pero me informaron que actualmente están desarrollando otra etapa del proyecto con entidades que les exigen total confidencialidad, por lo que no es posible acceder a más detalles de la investigación.

En el evento no solo participaron investigadores de la academia si no también del sector empresarial. Javier Mauricio Betancur, CEO.TECNOLOGÍAS MARTE junto con la Universidad EAFIT presentó la ponencia llamada *Experiences in development of new technologies for Colombian minefields* (Betancur, 2016). Habló de desarrollos en vehículos para desminado mecánico, sondas, protección con chalecos, caretas, escudos y plantillas para botas.

Desde la Escuela de Ingenieros Militares el Coronel (RA) Darío Ricardo Arango Junca, presentó la ponencia llamada *Desarrollo de Soluciones en C+T+I bajo un modelo de seguridad operacional para el desminado en Colombia* (Arango Junca, 2016). En la cual mostró el marco legal referente a MAP y AEI, enumera trabajos de grado orientados a desastres antrópicos intencionales, en este caso MAP.

También participó en el evento el Ejército Nacional con el Centro Nacional Contra Artefactos Explosivos y Minas – CENAM- (Villalba, 2016). Presentaron una ponencia en la que se incluyen antecedentes, número de víctimas, departamentos con mayor afectación, minas halladas por divisiones/regiones, historia de los artefactos explosivos, estrategias que han implementado desde CENAM; muestra un mapa, resultado del análisis de sustancias explosivas por región.

También en representación del Ejército estuvo el Centro Nacional contra AEI y minas de la Dirección de Explosivos y Guerra de Minas (Centro Nacional contra AEI y Minas) con una ponencia en la que mostraron una caracterización de las minas fabricadas por las guerrillas, indicando el material, las medidas, el peso, funcionamiento, color, tipo de detonador, descripción de cómo se activa, cantidad y tipo de explosivo, entre otras características.

Estos dos últimos documentos son de gran utilidad para investigadores y científicos que quieran conocer los detalles de los explosivos encontrados en campo y por tanto los retos que se tienen para la tecnología actual por la variedad de materiales que se usan para la construcción de MAP en el país.

Otro tipo de literatura

En la investigación realizada entre el 2021 y 2022 se encontraron otro tipo de documentos que se consideran de interés para el desarrollo del especial periodístico.

Uno de ellos es el *Boletín Tecnológico. Dispositivos para la detección y desactivación de artefactos explosivos* que la Superintendencia de Industria y Comercio publicó en el 2014 (Comercio, 2014) en el que se muestra el listado de patentes hasta el dicho año a nivel internacional y nacional de dispositivos para la detección y desactivación de artefactos explosivos. Discriminados por países, por tecnología utilizada, por fechas, entre otros. Finalmente les da voz a expertos en desminado del Ejército Nacional para plantear sus opiniones frente a las nuevas tecnologías y a las adquisiciones por parte de la institución.

Y el segundo archivo es de la Vicepresidencia de la República. Se llama *Programa presidencial para la acción integral contra mina antipersonal (PAICMA) anexo 1. Metodología para la estimación de la capacidad nacional de desminado humanitario y de las áreas a intervenir en el marco de la solicitud de extensión a los plazos previstos en el artículo 5 de la convención sobre la prohibición del empleo, almacenamiento, producción y transferencia de minas antipersonal, y sobre su destrucción para el periodo 2011-2020*

Estado Parte: Colombia. Versión 4.0. marzo 29 de 2010 ((PAICMA), 2010).

En el cuál se hacen proyecciones para los años siguientes (2011-2020) teniendo en cuenta las necesidades de desminado. Incluye: Capacidades en desminado humanitario para

organizaciones civiles y militares (número de pelotones y barreminas), número de equipos especializados necesarios para realización de estudios no técnicos, cálculos de productividad y de áreas a despejar, estimación de la inversión requerida.

5.2 Categorías de Análisis

Esta investigación se centrará en 4 categorías de análisis. La primera innovación científica y tecnológica en desminado. La segunda es Minas Antipersonal y Artefactos Explosivos Improvisados. La tercera categoría es desminado, por último la cuarta categoría de análisis es posconflicto.

Innovación científica y tecnológica en desminado. Para comprender mejor el término 'innovación' se tendrá en cuenta lo que dice J. A. Schumpeter, la innovación es la introducción de nuevos productos y servicios, nuevos procesos, nuevas fuentes de abastecimiento y cambios en la organización industrial, de manera continua y orientados al cliente, consumidor o usuario.

En cuanto al tema de desminado, la innovación científica y tecnológica tiene que ver con la capacidad de realizar investigaciones que contemplen los nuevos métodos de fabricación de MAP y los retos ambientales del país. Según (Vega, Sahli , & Sellier, 2020) la detección de minas terrestres MAP de fabricación casera debe considerar propiedades físicas de sus componentes, la configuración utilizada para ubicarlas, tanto la profundidad como la posición relativa. Estas características requieren ajustar la tecnología para obtener información del objeto enterrado y por tanto una detección más precisa de la mina.

La segunda categoría de análisis de esta investigación es *Minas Antipersonal y Artefactos Explosivos Improvisados*. De acuerdo con la Acción Integral Contra Minas y la Convención de Ottawa, las

Minas Antipersonal o MAP se definen como: Artefacto Explosivo concebido para explotar por la presencia, proximidad o contacto de una persona y que tiene la capacidad de matar, herir, lesionar, incapacitar y/o causar daños a una o más personas. (Art. 2 del Protocolo II de las CCW – Art. 2 de la Convención CPMAP; Ottawa – IMAS 04.10 – 3.15).

Es importante resaltar que dentro de esta definición se incluye a los dispositivos explosivos improvisados que se ajustan a las características mencionadas.

Según Minas (2015), normalmente las MAP detonan cuando alguien las pisa o toca un alambre de tropiezo, aunque también pueden activarse con el paso del tiempo o de forma controlada.

Las minas antipersonal se encuentran en el suelo, enterradas o ancladas a cierta altura, y por lo general son pequeños artefactos de formas muy variadas. Es habitual que se mimeticen con el entorno, y se fabrican con madera, plástico o metal. Deben evitarse aquellas zonas sospechosas de albergar minas antipersonales.

La detonación de las minas antipersonal provoca la muerte o lesiones graves a causa de la onda expansiva de la explosión o por efecto de la metralla. Se dividen a partir del modo en que causan lesiones: minas de onda expansiva, minas de fragmentación o minas de carga hueca de tamaño reducido:

Minas de onda expansiva: Detonan por la presión ejercida al entrar en contacto físico con la mina, el objetivo es causar lesiones graves como amputaciones en lugar de la muerte; las muertes o lesiones suelen provocarse por la explosión concentrada de la carga.

Minas antipersonal de fragmentación: Se fabrican con el propósito de causar la muerte; la mayoría de estas minas cuentan con una carcasa metálica o contienen casquillos de bala o fragmentos metálicos que se convierten en proyectiles letales cuando explota.

Minas antipersonal de carga hueca: Suelen encontrarse enterradas, se activa cuando se pisa la mina; no se busca matar a la víctima, la pequeña cantidad de explosivo dispara una carga hueca que alcanza la planta del pie, el tobillo y la rodilla, de manera que sus daños se concentran en la pierna.

Es importante resaltar que de éstas puede haber variaciones sobre todo teniendo en cuenta el carácter improvisado de las minas empleadas en el país.

Los Artefactos Explosivos Improvisados, son fabricados de manera rudimentaria, diseñados con el propósito de causar daño físico y/o la muerte utilizando el poder de una detonación. Se elaboran utilizando materiales como plástico, madera, tubos de PVC o láminas. Pueden estar camuflados en un tarro, una olla, una cantina, un balón, un radio, una lata, un frasco o una botella, entre otros objetos. Pueden ser cuadrados, rectangulares, cilíndricos o redondos, de diferentes tamaños y colores (Antipersonal, 2012).

La tercera categoría de análisis para esta investigación es el desminado. Se tendrá en cuenta el proceso histórico desde que Colombia firmó la Convención de Ottawa el 3 de diciembre de 1997, que entró en vigor el 1 de marzo de 2001, con la cual se comprometió a limpiar el territorio nacional de las minas sembradas por las fuerzas estatales. El compromiso institucional para la limpieza del suelo nacional fue claro. Mediante la Ley 554 del 2000 se aprueba el texto de la “Convención sobre la prohibición del empleo, almacenamiento, producción y transferencia de minas antipersonal y sobre su destrucción” (Ley N° 554, 2000), promulgada en Oslo el 18 de septiembre de 1997. A partir de estas acciones legales las primeras actividades de desminado comenzaron en el 2004.

Finalmente, la cuarta categoría de análisis es el *posconflicto*. El desminado, además del cumplimiento de la Convención de Ottawa se convierte también en una acción concreta que apoya el camino hacia el logro de la paz en nuestro país. En el punto 5 del acuerdo de paz: Sobre las víctimas del conflicto, las FARC tendrán que participar en acciones de desminado humanitario con el fin de reparar a las víctimas.

6. Fundamentación metodológica

Investigación cualitativa y periodismo científico

La presente investigación cualitativa sobre la innovación científica y tecnológica realizada en Colombia para la detección de minas antipersonal del 2000 al 2022, tiene como estrategia el estudio de casos, la cual permitió conocer el proceso de investigación de innovaciones en el país, sus dificultades y sus aciertos. Como métodos de recolección de datos se usó: la búsqueda bibliográfica y entrevistas. Para garantizar la objetividad de la investigación, se tuvieron en cuenta los tres criterios señalados por Izcara en el Manual de Investigación Cualitativa (Palacios, 2014), se muestran a continuación y se describe también cómo se realizó el muestreo por conveniencia para esta investigación:

a) El criterio de pertinencia: En cuanto a la selección de proyectos de innovación científica y tecnológica, se tuvo en cuenta que fuera posible la accesibilidad a la mayor cantidad de información del proyecto de investigación, ya que algunos de ellos están en etapas confidenciales.

Para la información seleccionada usando la búsqueda bibliográfica de las historias de víctimas y de hitos también se aplicó el criterio de pertinencia. Para seleccionar historias de víctimas se tuvo en cuenta que estuvieran narradas con la mayor cantidad de detalles posibles, especialmente con: la fecha y

el lugar en el que sucedió el accidente, el tipo de mina antipersonal que causó el accidente, la afectación causada física y emocionalmente a la persona víctima, a la familia y a la comunidad. Para la selección de hitos se seleccionaron los que muestran el proceso que ha vivido el país para lograr descontaminar el territorio nacional y los logros obtenidos especialmente del 2009 al 2022.

b) La selección de la muestra: se buscaron proyectos que representaran la heterogeneidad de las innovaciones realizadas en el país: proyectos realizados en universidades públicas; proyectos realizados en universidades privadas; proyectos realizados en instituciones del estado como la policía; proyectos realizados por privados/ independientes. En cuanto al enfoque de género se procuró entrevistar al menos a una mujer investigadora, dado que las otras investigadoras en este tema no contestaron los correos enviados. Sin embargo, su trabajo se incluye en la sección “otros proyectos” en forma de infografía. Dicha sección se alimentó de la búsqueda bibliográfica de innovaciones científicas y tecnológicas para detección de minas antipersonal en el país. Para la selección de estas fuentes también se siguieron las recomendaciones de (Pesántez, 2007):

- Considerar que sean personas confiables.
- Indagar si son investigadores reconocidos por sus pares.
- Revisar su Currículum Vitae y su respaldo académico.
- Evaluar sus publicaciones y el marco institucional en donde trabaja.
- Confirmar si son personas accesibles para consultas posteriores.

En cuanto a la selección de relatos de víctimas se recopilaron historias que también mostrarán todos los impactos que genera el uso de minas antipersonal no solo a las víctimas si no en comunidades, es así como se tienen historias de: militares, civiles, comunidades, ex combatientes, campesinos, mujeres, entre otros. Para la selección de hitos del desminado en Colombia se procuró recopilar información de un amplio espectro en el tema: aspectos jurídicos, desminado en zonas especiales como

parques naturales y resguardos indígenas, adhesión a tratados internacionales como el de Ottawa, financiación del desminado en el país, entre otros. Esto con el fin de no perder de vista el estado general del desminado en el país, las afectaciones que se siguen causando y la importancia de buscar soluciones efectivas para una problemática que no se ha logrado superar.

c) Para recoger el discurso todas las entrevistas fueron grabadas y transcritas de forma literal:

En cuanto a las historias de víctimas y los hitos de desminado se realiza la lectura literal de los relatos de distintas fuentes, oficiales y de medios de comunicación recopilados. Este proyecto está enmarcado también en la investigación desde el Periodismo Científico. De acuerdo con Calvo Hernando y otros autores (Escalona, 2002) hay varias funciones que cumple el periodismo científico, para el caso de este proyecto se resaltan dos:

“El periodismo científico tiene, por supuesto, una clara función informativa: informar e interpretar sobre los descubrimientos básicos y sus aplicaciones; difundir el progreso científico y el desarrollo tecnológico (Calvo Hernando, 1997a; 1998; 1982; Drago y Ruiz de Gopegui, 1990); informar, interpretar y opinar sobre la actividad científica y tecnológica (Moreno Gómez, 1994); explicar la importancia de los avances científicos para la sociedad (Magaña, 1996)” (Escalona, 2002).

“Por otra parte, al periodismo científico se le asigna una función política: difundir lo que el ciudadano debe saber o recordar sobre los efectos positivos y negativos del progreso científico y el desarrollo tecnológico sobre la cultura, la salud, el medio ambiente y otras dimensiones de la vida cotidiana, así como de las implicaciones éticas de los conocimientos y de sus aplicaciones; informar para que las personas puedan participar, consciente y reflexivamente, en las decisiones referentes a la ciencia en una sociedad democrática; controlar, en nombre del público, las decisiones políticas vinculadas a lo científico y tecnológico” (Calvo Hernando, 1997 a; 1998); posibilitar los debates sobre las relaciones entre técnica y sociedad, contribuyendo a legitimar las instituciones y los gastos de investigación (Sormany,

1991); explicar la ciencia a quienes elaboran las leyes y toman las decisiones, así como ofrecer cultura científica a los individuos que componen las sociedades actuales, para que apoyen o corrijan la acción de sus gobernantes (Universidad Internacional de Andalucía, 1994); vigilar la práctica responsable de la actividad científica (Moreno Gómez, 1994); golpear las conciencias de los gobiernos y de la opinión pública de la región sobre el desafío de la revolución de las tecnologías de la información (Schenkel, 1987); permitir el control de la actividad científica en forma democrática (Roqueplo, 1983)” (Escalona, 2002).

En este mismo artículo (Escalona, 2002), se menciona que hay tres enfoques para abordar la ciencia en el periodismo científico. “Según el enfoque internalista —en el cual la ciencia es un fenómeno intelectual que forma parte de la cultura— el objetivo fundamental de la comunicación científica es informar sobre los descubrimientos, las nuevas teorías y conocimientos, la nueva imagen de la naturaleza que desvela la ciencia a cada momento. Este es el paradigma en que se ha realizado divulgación científica hasta años recientes”. Segundo, desde este enfoque el proyecto Ciencia para la paz: Buscando las semillas mortales, cumple su función informativa sobre los avances y el funcionamiento de la ciencia detrás de cada uno de los proyectos de innovación realizados en el país para la detección de minas antipersonal. De otro lado, “Según el enfoque externalista, el interés informativo reside principalmente en los costos de la actividad científico-técnica y en sus consecuencias para el bienestar de la humanidad. En el campo de las políticas científicas y tecnológicas, le corresponden los planes nacionales que se han elaborado en toda América Latina y Europa”. Respecto a este enfoque se hace una aproximación en cada uno de los artículos a los costos de la actividad científica y lo que este apoyo significa para cada uno de los procesos.

“Un tercer modelo ubicado entre los dos paradigmas mencionados, que entiende el desarrollo científico-tecnológico tanto como un proceso intelectual e interno, como un proceso económico y social. El tercer paradigma del enfoque de la ciencia hace que la información científica sea esencial, pues el

desarrollo del sistema de ciencia y tecnología depende tanto del científico como del ciudadano que vota por los presupuestos para la investigación” (Escalona, 2002). Este tercer enfoque es el que se pretende resaltar en el proyecto al dar a conocer los hechos de víctimas y de hitos del desminado que sucedían a la par mientras se realizaba investigación científica sobre cómo detectar minas antipersonales. Se considera que a pesar de que el científico haga lo posible por superar las dificultades de su proceso y aportar en la construcción de paz no depende solo de él o ella llegar a implementar las innovaciones en campo real y las víctimas de MAP tristemente, han ido en aumento, porque no se ha logrado una solución definitiva a esta situación. No se sabe si las innovaciones desarrolladas lograrán ubicar todas las minas del país, pero cabe la duda de si, ¿podrían ayudar en el proceso? y para ello necesitan financiación para cada una de las etapas de investigación.

Los tres enfoques se desarrollan teniendo en cuenta que “el papel del periodismo científico no es divulgar la ciencia por la ciencia, sino divulgar el hecho científico con todas sus repercusiones políticas, sociales, económicas y culturales (Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Económico / CONCITEC, 1989: 4). (Escalona, 2002).

De acuerdo con Erazo en el libro Comunicación, divulgación y periodismo de la ciencia (Pesántez, 2007), “al momento de seleccionar un tema científico o tecnológico para investigar, redactar y difundir a través de algún medio de comunicación, hay que confirmar si éste cumple con algunos de estos requisitos:

- Que sea de interés general.
- Que tenga relevancia científica.
- Que sea un tema de actualidad.
- Que aporte novedades científicas y tecnológicas que contribuyan al desarrollo de la población.
- Que fomente la comprensión pública de la ciencia y de la tecnología.
- Que contemple la participación de actores regionales o nacionales.

Ítems que se tuvieron en cuenta al momento de plantear esta investigación. Para llevar a cabo cada uno de los puntos mencionados anteriormente se realizaron las siguientes actividades: en primer lugar, buscar y recopilar artículos científicos sobre innovaciones para la detección de minas antipersonal (MAP), el principal filtro fue que se tratara de investigaciones realizadas en Colombia. A continuación, identificar las áreas del conocimiento desde las cuáles los artículos consultados dan soluciones para detección de MAP, por ejemplo: desde la física, la química, la electrónica, la veterinaria, etc. Cada área usa características diferentes de las minas antipersonal para detectarlas. Posteriormente, seleccionar investigaciones científicas de las consultadas que representen un área de conocimiento. Luego, contactar a científicos autores de los artículos científicos seleccionados. Además, identificar científicos para entrevistarlos sobre su proceso de investigación más allá del artículo consultado. Se les preguntó sobre las dificultades durante el proceso de innovación, la etapa del proyecto en la que se encuentran, la forma de financiación de cada etapa, las posibilidades de usar el desarrollo logrado en campo real, entre otras. De otra parte, enviar un formulario a los autores de los otros artículos consultados para recopilar más información sobre su proyecto de investigación por lo que no fueron entrevistados directamente. Así mismo, Investigar a través de fuentes documentales como artículos académicos, reportes de fuentes oficiales, conferencias entre otros y fuentes personales, las dificultades para detectar minas antipersonales en el país. En este proceso se busca resolver dudas como:

- ¿Cómo se organiza el proceso de desminado en campo?
- ¿Qué tipo de zonas son las que más dificultan el proceso?
- ¿Por qué la topografía y el clima implican un reto en el proceso?
- ¿Qué otros factores técnicos son retadores en campo?
- ¿Qué tecnologías han probado para superarlos (información que se pueda aportar)?
- ¿Han funcionado estas tecnologías?
- ¿Cómo se desarrollan las tecnologías que se usan?

- ¿Por qué habiendo tanta innovación tecnológica en desminado a nivel internacional no se han logrado superar las dificultades técnicas de Colombia?
- ¿Qué dificultades hay para implementar tecnologías desarrolladas en universidades o empresas del país?, entre otras.

Todo esto con el fin de que los relatos den cuenta de la dificultad para abordar ciertas zonas del territorio colombiano, la necesidad de hallar mejores mecanismos para no perder vidas humanas o animales y mejorar la eficiencia en el proceso. Aquí se tuvieron en cuenta las innovaciones realizadas por grupos ilegales en la fabricación de MAP, los retos que esto representa y cómo han sido superados por las organizaciones que realizan desminado humanitario. Después, buscar historias de víctimas de minas antipersonal, relatos, testimonios, informes y clasificarlos por años. Por último, investigar momentos importantes del proceso de desminado en Colombia, clasificarlos por años. Se incluyen hitos desde la legislación, eventos, campañas de sensibilización sobre el desminado, ayuda internacional, algunos municipios descontaminados, financiación del proceso de desminado humanitario en Colombia, entre otros.

Género periodístico y formato

El género periodístico a trabajar fue el reportaje, que según la periodista Ginna Morelo en el libro *Pistas para narrar la paz* (Morelo Martínez, 2014) “aloja la crónica y todos los géneros narrativos y argumentativos”, siendo el género adecuado para extrapolar los temas del conflicto y del dolor hacia la ruta de la reconciliación y la paz. “El reportaje es un género necesario en estos momentos para hacer memoria. En palabras de la periodista mexicana Marcela Turati, autora del libro *Fuego cruzado*, “graba los hechos para la historia” (Morelo Martínez, 2014).

De acuerdo con (Pesántez, 2007) el reportaje se puede definir como: “un trabajo informativo que supone una indagación más amplia sobre el acontecimiento central e incluye la opinión de varias

fuentes. Aunque no plasma de manera explícita la opinión del autor, admite un tratamiento particular y, en algunos casos, puede ser narrado de manera literaria. Este género suma varias formas de expresión periodística y emplea diversos recursos estilísticos, así como apoyos o recuadros. El apoyo es una información breve que sirve de complemento a la noticia principal o al reportaje”.

El formato empleado fue el multimedia, de acuerdo con (Europea, 2019), “el crecimiento de la población, el desarrollo de nuevos tipos de medios y la necesidad de comunicarse a través de la tecnología ha ido aumentando en los últimos años. El periodismo multimedia implica el uso de texto, imágenes, sonido, videoclips, gráficos para contar historias de una manera atractiva. Los profesionales que trabajan en periodismo multimedia utilizan las herramientas digitales y las plataformas de redes sociales para compartir sus historias con una audiencia online”

Según (Gómez, 2018) “hay dos formas de definir lo multimedia en el periodismo: en primera medida, como la presentación de un conjunto de noticias en un sitio web usando dos o más formatos tales como lo oral, la palabra escrita, la música, las imágenes fijas, el video y las animaciones, incluyendo los elementos interactivos e hipertextuales. Y en segundo lugar, como la presentación de noticias a través de diferentes medios como un sitio web, emails, SMS, MMS, radio, televisión, periódicos y revistas (también conocido como una integración horizontal de medios de comunicación)”.

En el libro *Periodismo electrónico multimedia* (Díaz Noci & Meso Ayerdi, 2000), se tiene que “la multimedialidad se define como la integración, en una misma unidad discursiva, de información de varios tipos: texto, imágenes (fijas o en movimiento), sonidos e, incluso, bases de datos o programas ejecutables (los applets Java, por ejemplo). Esta multimedialidad, o integración en una obra compuesta de varias obras unitarias, habrá de traer ajustes en el tradicional derecho de autor de la obra periodística”

Teniendo en cuenta estas tres definiciones, el producto que se presenta en la página web, hace uso de los lenguajes multimedia que se describen a continuación:

Animación: Se realizó haciendo uso de los artículos científicos consultados sobre innovación para la detección de MAP, en algunos casos se tuvieron en cuenta fotografías enviadas por los investigadores para plasmar algunos dispositivos desarrollados. También, se muestran en animación los métodos actualmente utilizados para detectar MAP: el uso de la pericuerda (empleada principalmente por militares), el uso de caninos y el detector de metales. La animación acompaña los artículos y ayuda a distinguir cada sección de la página.

Texto: Se realizaron cuatro artículos que abordan cuatro procesos de investigación diferentes. Uno desde el área de las ciencias básicas: química, otro desde la ingeniería, realizados con el apoyo de universidades. El proyecto de Luisa Méndez desde la veterinaria y realizado en una institución estatal: la policía. Y el último proyecto realizado desde la capacidad autodidacta e independiente de los profesionales colombianos.

Audio: El audio en el producto multimedia presenta las historias de las víctimas de minas antipersonal, leídas de libros del Centro de Memoria Histórica. También el audio presenta los hitos del proceso de desminado en el país, especialmente del 2010 al 2022. El audio en orden cronológico también tiene la función de conectar todos los íconos del mapa.

Fotografía: La fotografía ha sido una herramienta que usé en dos artículos, en el de Miguel García por la oportunidad de fotografiar su laboratorio y todos los dispositivos que ha desarrollado por su propia cuenta. Y en el artículo del sensor químico desarrollado por César Sierra, Elio Rico y Andrés Rodríguez en el cuál la fluorescencia de los sensores químicos fue capturada por uno de los investigadores, así como las pruebas en campo controlado realizadas en Tolemaida.

Infografía: Acompaña a los artículos resumiendo, explicando, resaltando. También explican los proyectos de los otros investigadores, que no se entrevistaron propiamente si no que la información se recogió por el formulario o de sus publicaciones académicas.

La página web cuenta con 3 formas distintas de navegación: la primera totalmente intuitiva donde el usuario puede dar clic en cualquiera de los íconos ubicados dentro del mapa de Colombia. La segunda forma de navegación es la que tiene orden cronológico, está representada por una línea punteada dentro del mapa que conecta todos los íconos. El orden cronológico también lo siguen los audios. Y la tercera forma de navegación es la que da el menú superior en la que se puede navegar por los íconos del mapa de una misma categoría.

Enlace para consultar la página web mencionada:

<https://mlcortesm.wixsite.com/semillasmortales>

7. Bitácora

La bitácora se realizó en forma de reflexiones en voz alta. Escucharse a sí misma, traer a la memoria y al cuerpo los sentimientos y pensamientos que alimentaron el proceso de investigación permiten un aprendizaje reposado. Muchas lecciones se alcanzaron a aplicar en este proyecto, otras tantas quedarán para la vida y para el que hacer desde el periodismo científico. Decidí hacer un producto sonoro que pudiera poner en las tardes mientras disfruto de un té o en las noches cuando quiera recordar el sentido de este proyecto y las puertas que abrió en mi mente y en mi corazón.

8. Bibliografía

(Paicma), v. D. (2010). *Anexo 1. Metodología para la estimación de la capacidad nacional de desminado humanitario y de las áreas a intervenir en el marco de la solicitud de extensión a los plazos previstos en el artículo 5 de la convención Ottawa*. Vicepresidencia de la república.

Acción Integral Contra Minas. (31 de 08 de 2021). *Estadísticas de Asistencia Integral a las Víctimas de MAP y MUSE*. Recuperado el 2021, de

<http://www.accioncontraminas.gov.co/Estadisticas/Paginas/Estadisticas-de-Victimas.aspx>

- Aguado Álvarez, J. L. (2016). Conceptos, procedimientos y técnicas en desminado humanitario. *II Encuentro Internacional de Tecnologías para el Desminado Humanitario*.
- Alto Comisionado para la Paz, O. (2021). *Descontamina Colombia*. Recuperado el 08 de 2021, de <https://ergit.presidencia.gov.co/arcpre/apps/sites/#/descontamina-colombia>
- Antipersonal, P. P. (2012). *Cartilla para la Educación en el Riesgo de Minas Antipersonal, Municiones sin Explotar y Artefactos Explosivos Improvisados*. Bogotá: mprenta Nacional de Colombia.
- Arango Junca, D. R. (2016). Desarrollo de Soluciones en C+T+I bajo un modelo de seguridad operacional para el desminado en Colombia. *II Encuentro Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desminado Humanitario*. Bogotá.
- Baer, C., Schulz, C., Just, T., Gutierrez, S., Orend, K., Barowski, J., y otros. (2018). Humanitarian Microwave Detection of Improvised Explosive Devices in Colombia. *IEEE*.
- Betancur, J. M. (2016). Experiences in development of new technologies for Colombian minefields. *II Encuentro Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desminado Humanitario*. Bogotá.
- Centro Internacional de Desminado Humanitario. (2004). Recuperado el 2021, de https://www.gichd.org/fileadmin/pdf/other_languages/spanish/Publications/Guide_to_MA_2004/Guia_ch6.pdf
- Centro Nacional contra AEI y Minas. (s.f.). Tipos de minas antipersonal en Colombia. *MINISTERIO DE POSCONFLICTO, DERECHOS HUMANOS Y SEGURIDAD - DIRECCIÓN PARA LA ACCIÓN INTEGRAL CONTRA MINAS ANTIPERSONAL*. Bogotá.
- Comercio, S. d. (2014). *Boletín Tecnológico. Dispositivos para la detección y desactivación de artefactos explosivos*. MINDEFENSA.
- Cristancho, F., Flechas, D., Gómez, J., Fajardo, E., Torres, F., Sarmiento, L. G., y otros. (2016). LOCALIZACIÓN Y VERIFICACIÓN DE ARTEFACTOS EXPLOSIVOS IMPROVISADOS POR TÉCNICAS

- NUCLEARES. *II International Meeting on Technologies and Innovation for Humanitarian Demining*. Bogotá.
- Cruz Silva, Á. H. (2009). Neutron Backscattering Technique for the Detection of Buried Organic Objects. *Repositorio Universidad Nacional. Departamento de Física*.
- EFE, A. (2015). Tecnología, clave para limpiar vastas zonas colombianas de minas antipersona. *El Heraldo*.
- Fog, L. (2016). Colombia, ¿desminada en 2021 con apoyo de la ciencia? *SciDevNet*.
- García, N., Aviña-Cervantes, G., Parra, C., & Devy, M. (2007). COLOR TEXTURE ANALYSIS APPLIED TO MINE DETECTION. *García, N., Aviña-Cervantes, G., Parra, C., & Devy, M. (2007). COLOR TEXTURE ANALYSIS APPLIED T IFAC Proceedings Volumes, 312–317*.
- Gutierrez, S. A., Neira, E., Pantoja, J. J., & Vega, F. (2015). The effect of ANFO on the Complex Resonance Frequencies of an IED. *ResearchGate*.
- Macías Montoya, J. A., & Corcione Nieto, M. A. (2020). Experiencias de procesos de desminado humanitario en Colombia desde la perspectiva de los desminadores. *Revista Científica General José María Córdova*.
- Macías, J. A. (26 de 03 de 2021). *El Colombiano*.
- Méndez Pardo, L. F., & Pérez-Acosta, Á. M. (2009). DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS CON LA AYUDA DE ANIMALES: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*.
- Méndez Pardo, L. F., & Pérez-Acosta, A. M. (2011). Del laboratorio al campo abierto: el uso de protocolos de adaptación y socialización en *Rattus Norvegicus*. *Suma Psicológica, Vol. 18 No 1*.
- MESA VALLE, D. A. (2015). *DISEÑO DE CARRO PARA DESACTIVACIÓN DE MINAS ANTIPERSONA*. Medellín: INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO .
- Minas, N. U. (2015). *Manual de seguridad sobre minas terrestres, restos explosivos de guerra y artefactos explosivos improvisados*. Nueva York.

- Pantoja Acosta , J. J. (2013). *Electromagnetic Susceptibility of Electro-Explosive Devices*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Pantoja, J. J., Vega , F., Román, F., & Rachidi, F. (2018). Effect of dispersive soil on the electromagnetic response of buried wires in the UHF range. *Radio Science*.
- Pantoja, J. J., Vega , F., Román, F., Peña, N., & Rachidi, F. (2018). On the Differential Input Impedance of an Electro-Explosive Device. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* .
- Pantoja, J., Peña, N. M., Rachidi, F., Vega, F., & Roman, F. (2013). Susceptibility of Electro-explosive Devices to Microwave Interference. *Defence Science Journa*.
- Pantoja, J., Peña, N., Rachidi, F., Vega, F., & Román , F. (2014). Characterization, Modeling, and Statistical Analysis of the Electromagnetic Response of Inert Improvised Explosive Devices. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*.
- Pedraza, D. P. (2020). Artefacto Explosivo Improvisado: landmines and rebel expertise in Colombian warfare. *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society*, 472–492.
- Prada, P. A., & Chávez Rodríguez, M. (2016). Demining Dogs in Colombia –A Review of Operational Challenges,. *Prada, P. A., & Chávez Rodríguez, M. (2016). Demining Dogs in Colombia – A Review of Operational Challenges, Chemical PerspeScience & Justice*, 56(4), 269–277.
- Rodríguez Camargo, A. (2019). *Redes orgánicas covalentes como quimiosensores para volátiles en explosivos tipo ANFO*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química.
- Rodríguez, A., Rico, E., Sierra, C., & Rodríguez, Ó. (2020). Impedimetric Detection of Ammonia and Low Molecular Weight Amines in the Gas Phase with Covalent Organic Frameworks. *Licensee MDPI, Basel, Switzerland*.
- Semana. (1 de 7 de 2020). Colombia pide nuevo plazo para cumplir meta de erradicación de minas antipersona. *Revista Semana*.

- Sierra, C., Pérez, L., Garzón, A., Sinuco, D., & Hinestroza, J. P. (2020). Detección de minas antipersonal que contienen explosivos tipo ANFO: una revisión. *Revista Colombiana de Química*.
- Sierra, H. (2017). *Análisis de la detección de minas mediante la técnica GPR "Ground Penetrating Radar"*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Vega, J. A., Sahli, H., & Sellier, A. G. (2020). Antipersonnel landmines in the Colombian internal conflict: implications for technology development. *Revista DYNA*.
- Vega, F., Román, F., Pantoja, J., Peña, N., Mora, N., & Rachidi, F. (2016). High power electromagnetics applied to humanitarian demining in Colombia. *Radio Science Meeting*.
- Villalba, H. (2016). CENTRO NACIONAL CONTRA ARTEFACTOS EXPLOSIVOS Y MINAS - CENAM. Problemática artefactos explosivos. *II Encuentro Internacional de Ciencia y Tecnología para el Desminado Humanitario*. Bogotá.
- Zuleta Valencia, J. F. (2017). La ciencia detrás del desminado en los campos colombianos. *ElMundo.Com*.