



**Título del trabajo de grado**

**TENDENCIA TECNOLÓGICA DE ROBOTS PARA ATENCIÓN EN DESASTRES  
NATURALES**

**Autor**

**JOSÉ MANUEL PIÑERES FLÓREZ**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS  
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO  
BARRANCABERMEJA**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 29-04-2020**

**Título del trabajo de grado**

**TENDENCIA TECNOLÓGICA DE ROBOTS PARA ATENCIÓN EN DESASTRES  
NATURALES**

**Autor**

**JOSÉ MANUEL PIÑERES FLÓREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de**

**TECNÓLOGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO**

**Director**

**ING. JUAN MANUEL BAYONA ARENAS**

**Codirector**

**ING. LEIDYS MARLEYN RODRÍGUEZ CASTRO**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS**

**TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO**

**BARRANCABERMEJA**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 29-04-2020**

Nota de Aceptación

\_\_\_\_\_  
**APROBADO**  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_  
Firma del director



\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

Barrancabermeja, 29 de Abril de 2020

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

## DEDICATORIA

A mis padres Manuel Piñeres y Emilce Flórez por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias mamá y papá.

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por haberme permitido culminar con éxito este proyecto de tesis y a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado para ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional.

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>pág.</b>
RESUMEN EJECUTIVO .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	13
1.3. OBJETIVOS .....	14
1.3.1. Objetivo general .....	14
1.3.2. Objetivos específicos .....	14
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	15
2. MARCOS REFERENCIALES .....	23
2.1. MARCO HISTÓRICO .....	23
2.1.1. Historia de la robótica .....	23
2.1.2. Inicio del uso de robots en situaciones de emergencia .....	24
2.2. MARCO TEÓRICO .....	26
2.2.1. Robótica .....	26
2.2.2. Robot .....	27
2.2.3. Tipos de robots según su arquitectura .....	28
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	29
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	32

3.1. DESCRIBIR LOS AVANCES EN MATERIA DE ROBÓTICA APLICADA A LA ATENCIÓN DE DESASTRES QUE SE HAN GENERADO A NIVEL MUNDIAL HASTA LA FECHA, POR MEDIO DE LA CONSULTA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES REALIZADAS RECIENTEMENTE .....32

3.2. ESTABLECER LAS TENDENCIAS ACTUALES EN CUANTO AL DISEÑO DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES, ESTUDIANDO LOS FACTORES TÉCNICOS Y ESTRUCTURALES MÁS IMPORTANTES A FIN DE DETERMINAR LOS MODELOS MÁS EFICIENTES .....33

3.3. IDENTIFICAR LOS ASPECTOS CLAVE DE LA APLICACIÓN DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES QUE SE PODRÍAN APROVECHAR EN COLOMBIA, TENIENDO EN CUENTA EVENTOS CATASTRÓFICOS OCURRIDOS ANTERIORMENTE Y QUE PODRÍAN VOLVER A PRESENTARSE  
33

4. RESULTADOS.....34

4.1. AVANCES EN MATERIA DE ROBÓTICA APLICADA A LA ATENCIÓN DE DESASTRES .....34

4.2. TENDENCIAS ACTUALES DE DISEÑO DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES .....42

4.3. APLICACIÓN DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES EN COLOMBIA.....52

5. CONCLUSIONES .....57

6. RECOMENDACIONES .....58

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....59



R-DC-95

## DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y  
PRÁCTICA

PÁGINA 8

DE 64

VERSIÓN: 01

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>pág.</b>
Figura 1. Robot detector de minas	16
Figura 2. Robot de búsqueda y rescate	17
Figura 3. Robot de reconocimiento de desastres	18
Figura 4. Robot para prevención de incendios	19
Figura 5. Cheetah III	38
Figura 6. Robot Quince	40
Figura 7. Robot humanoide de SCHAFT	41
Figura 8. Robot Atlas	43
Figura 9. Robot Rooster	45
Figura 10. Vehículo robot Hyundai Elevate	46
Figura 11. Cucaracha Robot	48
Figura 12. Robot Arácnido RDB-10	50
Figura 13. Robot serpiente	51
Figura 14. Robot Arcadio	53
Figura 15. Robot Vigilante	54
Figura 16. Robot Reina antiexplosivos	55

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de grado, trata sobre la tendencia tecnológica de robots en la atención de desastres naturales, el desarrollo de la tecnología y los avances que se han realizado hasta la fecha, con lo cual se identificó y definió el estado actual en materia de desarrollo tecnológico, y como se proyecta a futuro para poder establecer la forma, el cómo se puede aprovechar el conocimiento adquirido en la materia, para la realización de diseños propios, usándolos en beneficio del país y la región, proveyendo herramientas con las cuales poder hacer frente a eventos catastróficos, los cuales se presentan en el territorio nacional.

Para dar cumplimiento a los objetivos de investigación, se desarrolló el presente trabajo bajo la metodología descriptiva, por medio de la cual, se recopiló toda la información necesaria en cuanto a los avances tecnológicos en materia de robots para la atención de desastres naturales, siguiendo de forma ordenada y secuencial, el desarrollo de los objetivos de investigación y cada una de las actividades planteadas. El alcance del presente proyecto abarca lo relacionado con el desarrollo de robots para la atención de desastres hasta la actualidad, con lo cual se busca generar un significativo aporte a las Unidades Tecnológicas de Santander, el país y la región, para posteriores investigaciones y desarrollos tecnológicos que se puedan utilizar en pro del cuidado y protección de la vida. Todo lo anterior por medio de la presentación de los resultados de la presente investigación, la cual será compartida para que las partes interesadas puedan aprovechar el conocimiento adquirido a través del presente trabajo.

**Palabras clave:** Desastre, Desarrollo, Emergencia, Robot, Tecnología.

## INTRODUCCIÓN

Los eventos catastróficos y situaciones de emergencia están a la orden del día en todo el panorama mundial, siendo testigos de eventos como terremotos, tsunamis, incendios forestales, deslizamientos, entre otros tantos que a diario cobran la vida de miles de personas, dejan a su paso grandes pérdidas económicas y hacen saber al hombre que la naturaleza es una fuerza impredecible, terriblemente peligrosa y totalmente poderosa, capaz de eliminar cualquier rastro de una población. Para tal magnitud, el ser humano se ha visto muchas veces limitado para realizar las labores de rescate, puesto que la fragilidad de su estructura, lo dejan expuesto a altas temperaturas, radiaciones, poca visibilidad, etc.

Gracias a los avances en materia de robótica, se ha empezado a aplicar todo el conocimiento adquirido en este campo, para hacer uso de las capacidades que una maquina puede aportar en materia de atención de desastres naturales, no solo por el hecho de ser seres sin vida, capaces de adaptarse a un sinnúmero de situaciones medioambientales que doblegarían rápidamente a una persona, sino que también, gracias al uso de la biomecánica, se han podido realizar diseños de robots, copiando estructuras de animales para ser usadas en determinadas situaciones en donde cumplen con un propósito específico y mas eficiente.

Todo lo anterior se presenta de forma detallada en el presente trabajo de investigación, el cual muestran el avance que en materia de robótica aplicada a la atención de desastres se han venido desarrollando en los últimos años en el mundo entero, para de esta forma brindar una mirada a lo que, en esta materia, Colombia podría aprovechar.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mundo ha estado bajo la amenaza constante de eventos naturales que ponen en riesgo a la población tanto de seres humanos, como de especies nativas, tanto animal como vegetal. Es que las situaciones han ocurrido a lo largo de toda la existencia del planeta, puesto que así se han establecido lo que hoy se conoce como climas, continentes, especies, entre otros factores que han sido fruto de millones de años de eventos en donde el planeta ha sacado a relucir el poder de sus fuentes de energía, siendo comunes, los eventos sísmicos, los meteorológicos y los que se derivan o son consecuencia directa, como derrumbes, tsunamis, inundaciones etc.

Desde que el ser humano existe sobre el planeta, ha sido testigo de la ocurrencia de desastres naturales. Eventos como el Huracán Katrina, en Estados Unidos, que cobró la vida de casi dos mil personas, o el Tsunami del 2011 en Japón, considerado uno de peores desastres naturales alrededor del mundo y una de las catástrofes climáticas más graves del siglo XXI (Vargas, 2019), han generado un gran llamado de atención por parte de los científicos e investigadores para poner en consideración el uso de la tecnología existente para ayudar en situaciones que así lo requieran.

Situaciones de origen humano pero igual de catastróficas también provocaron que los expertos comenzaran a desarrollar modelos de robots con los cuales poder ayudar en la atención de emergencias, siendo el ataque a las Torres Gemelas, en la ciudad de New York (BBC News, 2019), el suceso con el cual iniciar el uso de máquinas para asistir a los humanos y en el mejor de los casos remplazarlos en

casos en donde la vida y seguridad de personas dedicadas a labores de rescate también se podía poner en riesgo.

Situaciones como la anteriormente nombrada, pueden ser controladas y anticipadas, pero por más que se desee, la probabilidad de ocurrencia nunca podrá ser impedida, por lo que el utilizar los avances científicos y tecnológicos en pro de la reducción significativa de la exposición de las personas, animales y en general de la disminución de las consecuencias que puedan ocasionar, es una tarea en la que se debe trabajar de forma constante y persistente, para en un futuro cercano poder contar con robots altamente dotados de las capacidades de las que carecen los seres humanos para ayudar en situaciones de emergencias y desastres naturales. Según lo anterior, surge la siguiente pregunta:

¿Es posible ayudar en el conocimiento de la tendencia tecnológica de los robots usados en la atención de desastres, para aprovecharlo en el ámbito nacional y regional?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación nace de la necesidad de conocer los avances tecnológicos que en materia de robótica aplicada a la atención de desastres naturales se están implementando en la actualidad, de modo que se pueda establecer la situación actual y la forma como evoluciona dicho campo, de modo que con la información recolectada se puedan trazar de forma clara el rumbo que los avances están tomando, para trasladar al ámbito regional y nacional las investigaciones, con los cual los futuros profesionales de las Unidades Tecnológicas

de Santander puedan obtener información relevante y de primera mano de los avances para ayudarlos en los estudios y desarrollos tecnológicos propios.

Finalmente, el desarrollar investigaciones basadas en el tema en cuestión, proporciona al autor del proyecto, la posibilidad de explorar diversos temas, con los cuales enriquecer el proceso de aprendizaje y auto enseñanza, reforzado por el conocimiento adquirido en los semestres de estudio de la Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico de la Unidades Tecnológicas de Santander, aportando de manera práctica al progreso del municipio y la región, dejando siempre en alto el buen nombre de la universidad, el programa educativo, y favoreciendo la gestación de nuevas investigaciones, destinadas a la búsqueda del mejoramiento de la atención y la respuesta en caso de desastres naturales.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Identificar las investigaciones y tendencias de investigación aplicada a robots para atención en desastres naturales, a nivel nacional e internacional con el fin de establecer avances en el conocimiento del tema en relación entre los proyectos desarrollados.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Describir los avances en materia de robótica aplicada a la atención de desastres que se han generado a nivel mundial hasta la fecha, por medio de la consulta bibliográfica de proyectos e investigaciones realizadas recientemente.

Establecer las tendencias actuales en cuanto al diseño de robots para la atención de desastres, estudiando los factores técnicos y estructurales más importantes a fin de determinar los modelos más eficientes.

Identificar los aspectos clave de la aplicación de robots para la atención de desastres que se podrían aprovechar en Colombia, teniendo en cuenta eventos catastróficos ocurridos anteriormente y que podrían volver a presentarse.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

##### ✓ Robots, aliados de los humanos

Más allá de una función industrial, los robots también pueden ser programados para detectar minas, buscar personas en eventualidades e inclusive prevenir desastres. Hoy en día los robots juegan un papel crucial en la industria y la producción, pero también se han convertido en unos aliados para las difíciles tareas de rescate en desastres naturales o ataques terroristas. A continuación, se presentan cuatro de los modelos más importantes que se encuentran actualmente en el mercado (Canal Trece, 2019):

**Detección de minas:** Los antioqueños Rafael Vides y Ferney López fabricaron un dron en aluminio y fibra de carbono, con una nariz electrónica que es capaz de reconocer los compuestos básicos con los que se fabrica una mina antipersonal y enviarle una contra carga para detonarla de manera controlada. Controlado desde cualquier celular que tenga bluetooth, el artefacto se maneja sin ningún problema a distancia. Cuando detecta la bomba el robot levanta un brazo, acciona un escudo

blindado y la bomba explota. El robot es capaz de resistir hasta más de cincuenta explosiones (BLU Radio, 2018).

Figura 1. Robot detector de minas



Fuente: Canal Trece

**Búsqueda y rescate:** El Centro para la Búsqueda y Rescate Asistido por Robots de la Universidad de Texas cuenta con un “zoológico robótico” de rescate, que ha sido usado en 46 desastres de 15 países, incluyendo el tsunami de Fukushima, el terremoto de Haití y el derrame de petróleo del Golfo de México. Robin Murphy, directora del centro, cuenta que “tras el tsunami de Japón, usando uno de los robots, se pudo reconstruir el puerto en cuatro horas, cuando iban a tardar más de seis meses”.

Con la ayuda de sus estudiantes, están programando un robot con personalidad humana, el Survivor Buddy, que se pueda comunicar con las víctimas atrapadas. Todavía quedan obstáculos para los robots de rescate. El primero, en el cual se

avanza continuamente, es cómo administrar la gran cantidad de información que son capaces de capturar. El reto mayor es hacerlos más accesibles para que las agencias responsables en caso de desastres sepan no sólo que hay robots disponibles, sino también cómo utilizarlos y cómo interpretar la información (Hernández, 2015).

Figura 2. Robot de búsqueda y rescate (*Sarbot*)



Fuente: Seabotix

**Reconocimiento en desastres:** El japonés Satoshi Tadokoro diseñó un robot que replica los movimientos de una serpiente de casi 8 metros de longitud y cuenta con una cámara al frente que le da la capacidad de esquivar escombros y escabullirse entre pequeños espacios en un siniestro. Fue utilizado con éxito en las operaciones

de rescate en el desastre que se registró en la planta nuclear de Fukushima tras el terremoto de Japón en 2011.

Boston Dynamics, recientemente adquirida por la firma japonesa SoftBank, cuenta con un portafolio amplio de robots que por sus capacidades pueden ser utilizados en catástrofes. Uno de ellos es RHex, un robot de seis patas que por su mecanismo es posible explorar diversos terrenos. Estas patas operan de forma independiente, es decir pueden ejecutar saltos con poca manipulación del operador. Esta pieza tecnológica incorpora cámaras frontales y traseras que le dan visibilidad al operador de forma remota (Boston Dynamics, 2017).

Figura 3. Robot de reconocimiento de desastres



Fuente: Tohoku University

**Prevención de incendios:** Los hermanos Gustavo y Gabriel Olier diseñaron un dron para prevenir incendios. Se llama Prometheus e incluye una cámara termográfica, que, al sobrevolar el bosque, mide la incidencia solar, detecta los

incendios y alerta sobre un posible incendio forestal. Soporta hasta 8 horas de vuelo y alcanza una velocidad de 170 kilómetros por hora (El Heraldo, 2017).

Figura 4. Robot para prevención de incendios



Fuente: Canal Trece

✓ **¡Robot al rescate! Honda presenta robot para salvar vidas**

La transnacional de origen japonés Honda presentó el prototipo del robot E2-DR, que se utilizará en labores de rescate durante desastres naturales. Honda informó hace dos años del desarrollo de un robot experimental que sería flexible, fuerte e impermeable. En la conferencia IROS 2017 (Conferencia Internacional sobre Robots Inteligentes y Sistemas), la compañía mostró al robot en acción. El E2-DR puede girar el 'torso' en 180 grados, puede agarrarse con las 'manos', lo que, en particular, le permite subir escaleras. El robot camina a una velocidad de 2

kilómetros por hora y es capaz de superar obstáculos, moverse entre escombros y bajo una fuerte lluvia durante 20 minutos (HispanTV, 2017).

E2-DR tiene una altura de 168 centímetros, un peso de 85 kilogramos, y un espesor de 25 cm. Se alimenta por una batería con una capacidad de 1000 vatios-hora, cuya carga completa es suficiente para 90 minutos de trabajo. El dispositivo puede funcionar a temperaturas de -10 a 40 grados Celsius. También está equipado con un sistema de refrigeración interno. En la cabeza, E2-DR tiene dos telémetros láser, varias cámaras y un proyector de infrarrojos. Honda advierte que el E2-DR sigue siendo un prototipo y necesita mucho refinamiento todavía. La compañía ha estado trabajando durante varios años, pero aún no está claro cuándo se lanzará la versión final del dispositivo (HispanTV, 2017).

### ✓ ¿Un robot capaz de rescatar personas en situaciones de desastre?

Los alumnos del Tecnológico de Monterrey desarrollaron un robot capaz de entrar en un siniestro y con instrumentos especializados buscar personas. El robot cuenta con sensores que permiten entender o conocer el entorno en el que se ubica y poder encontrar personas e inclusive proponer una estrategia para que los rescatistas puedan comenzar las labores de rescate de las personas afectadas. Ver el terreno desde otro punto de vista al girar las cámaras, conocer si existe alguna emisión de gases, saber la temperatura del espacio, así como la orientación o postura del robot y con qué inclinación está avanzando, es posible gracias a la tecnología que implementaron en el diseño y construcción (Perales, 2018).

El robot cuenta con una cámara térmica, un brazo con una cámara endoscópica, un sensor de bióxido de carbono, un sensor de proximidad, dos cámaras IP, dos

sensores inerciales, una computadora central y la electrónica necesaria para que se pueda mover. El robot es tele operado, es decir se maneja a través de un control vía remota, pero esperan que para el próximo año tenga capacidades autónomas y un lugar en el mundial Robocop Rescue Robot. Actualmente, se encuentra en la fase de prototipo, pero los alumnos buscan llegar a gente de protección civil, bomberos, policía y ejército y demostrar que el robot es capaz de ayudar en las labores de rescate en situaciones de desastre (Perales, 2018).

### ✓ **Robótica colombiana**

En Colombia, aunque el país está lejos de una utilización intensa de la robótica, como ocurre por ejemplo en Japón o en Estados Unidos, hay investigación en el tema y una incipiente producción de robots en varios centros académicos e industriales colombianos. La compañía A1A Visa, con sede en Bogotá, fabrica uno especializado en vigilancia y seguridad. El robot puede recorrer un piso de oficinas y percatarse de la presencia de humanos en el área, detectar conatos de incendio u otras emergencias y comunicarlo vía inalámbrica a una central. Está dotado de una cámara de video con zoom 10x y giro horizontal y vertical, no se estrella con ningún obstáculo y dispone de sensores de temperatura, humo, gases e inundaciones (Revista Semana, 2018).

Algunas de las grandes empresas de la industria nacional han incorporado poderosos robots en los procesos de producción. Destaca la industria automotriz, en donde es obligatorio por razones de competitividad el uso de autómatas como los que utiliza la compañía Colombiana Automotriz Mazda, o los brazos mecánicos en la planta de la compañía Corona, en Mosquera, Cundinamarca. La Escuela Colombiana de Ingenieros prepara el robot Caritas, todavía apenas un prototipo en

experimentación, el cual es capaz de ofrecer varios gestos humanos a pacientes en estado terminal y será utilizado como compañía y comunicación afectiva en el futuro. Es un tipo de robótica en auge en Japón y otros países que, combinado con la Inteligencia Artificial, se propone crear robots especializados en el cuidado de enfermos (Revista Semana, 2018).

✓ **Diseño y construcción de un robot móvil tele operado para la asistencia en operaciones de alto riesgo del cuerpo de bomberos**

En el trabajo de investigación se propone el diseño y construcción de un robot para exploración de incendios en industrias, en donde debe manejar materiales peligrosos. La principal tarea debe ser la recopilación de información sobre la temperatura del entorno, por lo cual debe llevar los dispositivos sensoriales que le permitan realizar la tarea; además debe poder detectar a víctimas en necesidad de auxilio. El robot debe proveer al usuario telepresencia, es decir, la capacidad de analizar diferentes entornos de forma remota mediante el envío de información visual y auditiva, y la recepción de comandos para el control. La interfaz óptima para el manejo que haga sentir cómodo al usuario, puede ser el uso de palancas o como alternativa el uso de herramientas más intuitivas que proporcionen una mejor experiencia (Argudo & Arpi, 2012).

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO HISTÓRICO

#### 2.1.1. Historia de la robótica

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imiten las partes del cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de los dioses. Los brazos fueron operados por sacerdotes, quienes clamaban que el movimiento era inspiración de los dioses. Los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicas, los cuales se utilizaban para fascinar a los adoradores de los templos. Durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron construidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots. Jacques de Vaucansos construyó varios músicos de tamaño humano a mediados del siglo XVIII. Esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión (Universidad de Santiago de Chile, 2014).

En 1805, Henri Maillardert construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Una serie de levas se utilizaban como 'el programa' para el dispositivo en el proceso de escribir y dibujar. Las creaciones mecánicas de forma humana deben considerarse como inversiones aisladas que reflejan el genio de hombres que se anticiparon a la época. Hubo otras invenciones mecánicas durante la revolución industrial, creadas por mentes de igual genio, muchas de las cuales estaban dirigidas al sector de la producción textil. Entre algunas se puede citar la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785), el telar de Jacquard (1801), y otros (Tangarife, 2016).

El desarrollo en la tecnología, donde se incluyen las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria. Son varios los factores que intervienen para que se desarrollaran los primeros robots en la década de los 50's. La investigación en inteligencia artificial desarrolló maneras de emular el procesamiento de información humana con computadoras electrónicas e inventó una variedad de mecanismos para probar las teorías. Una obra checoslovaca publicada en 1917 por Karel Kapek, denominada Rossum's Universal Robots, dio lugar al término robot. La palabra checa 'Robota' significa servidumbre o trabajador forzado, y cuando se tradujo al inglés se convirtió en el término robot (Molina, 2014).

### **2.1.2. Inicio del uso de robots en situaciones de emergencia**

El ataque a las Torres Gemelas significó el inicio del uso de máquinas para responder a situaciones de desastre. Los robots nunca habían sido probados en tales desastres del mundo real, así que Murphy, profesora de Ciencias de la Computación en la Universidad Texas A&M, y el equipo de expertos en robótica, decidieron que era hora. Los robots estaban listos. A las criaturas del tamaño de una caja de zapatos, llamadas PackBots, con una banda rodante en las llantas similar a la de un tanque y brazos parecidos a una grúa de transporte marítimo, se les pidió por primera vez cavar entre los escombros del World Trade Center junto con los homólogos humanos. Los objetivos de los robots eran buscar víctimas, evaluar la integridad estructural de los escombros, y enviar imágenes de lugares

difíciles de alcanzar. Era un trabajo que una persona viva no podía hacer (Servicio de Información y Noticias Científicas SINC, 2017).

Los robots han existido desde hace décadas, pero las versiones modernas de las máquinas con mando a distancia nunca habían sido utilizadas en respuesta a un desastre hasta el 11 de septiembre. En los 10 años posteriores al ataque, los seres mecánicos han seguido avanzando tecnológicamente y se han convertido en miembros cada vez más importantes de los equipos que responden a todo tipo de desastres: desde terremotos, huracanes y desastres nucleares, hasta derrames de petróleo. Desde entonces los robots han estado involucrados casi en todos los grandes desastres y han sido desplegados por tierra, aire y bajo el agua (Revista Expansión, 2011).

Una versión actualizada del iRobot PackBot fue desplegado en la planta nuclear de Fukushima Daiichi en Japón tras el terremoto y el tsunami de marzo. La gente no podía ingresar con seguridad en la planta sobrecalentada debido a la radiación nuclear, pero los robots se abrieron paso fácilmente. Fueron capaces de revisar los niveles de radiación y temperatura del aire y luego reportar los datos a los controladores humanos. Las personas controlan el PackBot con una palanca de mando desde vehículos blindados, a 800 metros de distancia del robot. Los robots se comunican a través de frecuencias de radio (González, 2015).

Después del desastre de petróleo de British Petroleum en el Golfo de México, en 2010, un robot submarino llamado Seaglider, que se parece a un misil, nadó a través de las aguas llenas de petróleo y potencialmente peligrosas, se sumergió a profundidades que el tímpano humano no puede resistir y registró datos ecológicos. Sin el robot, la gente habría tenido que enviar barcos y científicos por todo el Golfo

tratando de pescar datos. A pesar de que los robots varían en precio desde 50,000 a 400,000 dólares, son económicos (Revista Expansión, 2011).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Robótica**

La robótica es la ciencia y la tecnología de los robots. Se ocupa del diseño manufactura y las aplicaciones de los robots. La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. El término robot se popularizó con el éxito de la obra RUR (Robos Universales Rossum), escrita por Karel Capek en 1920 (Serrano Viñuales, 2015). En la traducción al inglés como robot. Los robots parecen estar abaratándose y reduciendo el tamaño, una tendencia relacionada como la miniaturización de los componentes electrónicos que se utilizan para controlarlos. Además, muchos robots son diseñados en simuladores mucho antes de construirse y de que interactúen con ambientes físicos y reales.

La robótica está formada por la ingeniería mecánica, electrónica e informática. La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La electrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva. En la actualidad la ayuda de la

robótica ha hecho posible que los robots lleguen a lugares inaccesibles por el hombre y cumplan con mayor precisión las tareas encomendadas (Dueñas, 2015).

### **2.2.2. Robot**

Un robot es una entidad virtual o mecánica artificial. En la práctica, es por lo general un sistema electromecánico que, por la apariencia o los movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio. La palabra robot puede referirse tanto a mecanismos físicos como a sistemas virtuales de software, aunque suele aludirse a los segundos con el término de bots. No hay un consenso sobre qué máquinas pueden ser consideradas robots, pero sí existe un acuerdo general entre los expertos y el público sobre que los robots tienden a hacer parte o todo lo que sigue: moverse, hacer funcionar un brazo mecánico, sentir y manipular el entorno y mostrar un comportamiento inteligente, especialmente si el comportamiento imita al de los humanos o a otros animales (Almeida & Ochoa, 2013).

Por lo general, la gente reacciona de forma positiva ante los robots con los que se encuentra. Los robots domésticos para la limpieza y mantenimiento del hogar son cada vez más comunes en los hogares. No obstante, existe una cierta ansiedad sobre el impacto económico de la automatización y la amenaza del armamento robótico, una ansiedad que se ve reflejada en el retrato a menudo perverso y malvado de robots presentes en obras de la cultura popular. Comparados con los colegas de ficción, los robots reales siguen siendo limitados (Almeida & Ochoa, 2013).

### 2.2.3. Tipos de robots según su arquitectura

Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo el concepto de Robots son muy diversos y, por lo tanto, es difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso. La subdivisión de los Robots, con base en su arquitectura, se clasifica en los siguientes grupos: Poli articulados, Móviles, Androides, Zoomórficos e Híbridos (Belu, 2013).

**Poli articulado:** Bajo el presente grupo están los Robots de muy diversa forma y configuración cuya característica es la de ser sedentarios y estar estructurados para mover los elementos terminales en un determinado espacio de trabajo. Ejemplo: los cartesianos, industriales o manipuladores (Belu, 2013).

**Móviles:** Son robots con grandes capacidades de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante. Siguen el camino por telemando o guiándose por la información recibida del entorno a través de los sensores. Los robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro de una cadena de fabricación. Guiados mediante pistas materializadas a través de bandas detectadas fotoeléctricamente, pueden incluso llegar a sortear obstáculos y están dotados de un nivel elevado de inteligencia (Belu, 2013).

**Androides:** Son Robots que intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente, los Androides son todavía dispositivos muy poco evolucionados (Belu, 2013).

**Zoomórficos:** Los Robots Zoomórficos constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres

vivos. Éstos se agrupan en dos categorías: caminadores y no caminadores (Belu, 2013).

**Caminadores:** Los Robots zoomórficos caminadores múltipedos son muy numerosos y están siendo experimentados en diversos laboratorios con vistas al desarrollo posterior de verdaderos vehículos terrenos, piloteando o autónomos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas. Las aplicaciones de estos robots serán interesantes en el campo de la exploración espacial y en el estudio de los volcanes (Belu, 2013).

**No Caminadores:** El grupo de los robots zoomórficos no caminadores está muy poco evolucionado. Los experimentados efectuados en Japón basados en segmentos cilíndricos biselados acoplados axialmente entre sí y dotados de un movimiento relativo de rotación. Como por ejemplo de estos podríamos tomar peces, y algunos insectos (Belu, 2013).

**Híbridos:** Por último, los Híbridos corresponden a aquellos de difícil clasificación, cuya estructura se sitúa en combinación con algunas de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o yuxtaposición. Por ejemplo, robots articulados y con ruedas (conjunción) o un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales (yuxtaposición) (Belu, 2013).

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Cinemática:** Término utilizado en robótica para referirse a las acciones llevadas a cabo por un manipulador y que supone la unión física entre los mandos accionados por el operador y el elemento que efectúa la acción (EducaLab, 2014).

**Firmware:** Es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, grabado en una memoria de tipo no volátil (ROM, EEPROM, flash), que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo (EducaLab, 2014).

**GPS (Global Positioning System):** Sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS está constituido por 24 satélites (EducaLab, 2014).

**Microcontrolador:** Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador, se emplea para realizar una tarea determinada para la cual ha sido programado. Dispone de procesador, memoria para el programa y los datos, líneas de entrada y salida de datos y suele estar asociado a múltiples recursos auxiliares. Puede controlar cualquier cosa y suele estar incluido en el mismo dispositivo que controla (EducaLab, 2014).

**Redes neuronales:** Sistema de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas en una red que colabora para producir un estímulo de salida (EducaLab, 2014).

**Robots móviles:** Los robots móviles tienen la capacidad de moverse ya sea por mar, tierra o aire, algunos son usados para tareas domésticas en hogares, otros como para llevar instrumentos de un lugar a otro en los hospitales, inclusive son

utilizados para exploración en otros planetas, permitiendo a los investigadores, obtener datos de esos lugares a través de este tipo de robots (EducaLab, 2014).

**Sensores:** En robótica, son elementos electrónicos fabricados para obtener información del ambiente, ya sean magnitudes físicas o químicas, que además de ser captadas por el sensor, son transformadas por este u otro dispositivo para luego ser utilizadas por el controlador electrónico de un robot. Los sensores podrían ser comparados análogamente a los órganos de los sentidos en los seres humanos (EducaLab, 2014).

### **3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO**

En el presente capítulo, correspondiente al desarrollo de los objetivos específicos de la investigación, se describe la forma en la que cada uno de ellos se llevó a cabo, siguiendo las especificaciones dadas con anterioridad en cuanto a la ejecución de las actividades que para cada objetivo habían sido planteadas. A continuación, se describen la forma en la que cada objetivo fue desarrollado, y como posteriormente se presentan los resultados de los aquí expuesto, para de esta forma resolver la pregunta de investigación y el objetivo general del presente proyecto de grado.

#### **3.1. DESCRIBIR LOS AVANCES EN MATERIA DE ROBÓTICA APLICADA A LA ATENCIÓN DE DESASTRES QUE SE HAN GENERADO A NIVEL MUNDIAL HASTA LA FECHA, POR MEDIO DE LA CONSULTA BIBLIOGRÁFICA DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES REALIZADAS RECIENTEMENTE**

Para dar cumplimiento al primero objetivo específico de la investigación, se definieron los criterios de búsqueda y selección de la información, por medio de la consulta y análisis bibliográfico de patentes, proyectos e investigaciones recientes, en motores de búsqueda especializados, realizando una exhaustiva búsqueda, recopilación y clasificación de documentos, libros, artículos de revistas, etc., en donde se habla de los robots usados para la atención de desastres. Posteriormente, se describieron los aspectos más relevantes en cuanto a los avances de la robótica en la atención de desastres naturales, a nivel mundial, continental y nacional, seleccionando la información mas relevante hallada en la búsqueda documental, con la cual se trazaron los lineamientos y parámetros que permitieron el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos de la investigación.

### **3.2. ESTABLECER LAS TENDENCIAS ACTUALES EN CUANTO AL DISEÑO DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES, ESTUDIANDO LOS FACTORES TÉCNICOS Y ESTRUCTURALES MÁS IMPORTANTES A FIN DE DETERMINAR LOS MODELOS MÁS EFICIENTES**

Las actividades ejecutadas para cumplir con el segundo objetivo específico, fueron en primer lugar, la identificación de los parámetros de diseño de los robots usados en la atención de desastres, teniendo en cuenta los aspectos técnicos y estructurales de los mismos, para luego definir los modelos más adecuados de los robots para atención de desastres dependiendo del evento a atender y las necesidades específicas requeridas para la adecuada y eficiente respuesta ante una emergencia de origen natural.

### **3.3. IDENTIFICAR LOS ASPECTOS CLAVE DE LA APLICACIÓN DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES QUE SE PODRÍAN APROVECHAR EN COLOMBIA, TENIENDO EN CUENTA EVENTOS CATASTRÓFICOS OCURRIDOS ANTERIORMENTE Y QUE PODRÍAN VOLVER A PRESENTARSE**

Finalmente, y para dar cumplimiento al tercer objetivo específico de la presente investigación, se revisó el estado actual en materia de la robótica aplicada a la atención de desastres en Colombia, con el propósito de establecer la forma en la que los robots pueden ayudar en el país, a los organismos de atención de desastres en la adecuada y oportuna intervención, agilizando labores de búsqueda, rescate, identificación de víctimas y la minimización de riesgo para las personas, tanto para los miembros de diferentes cuerpos de rescate, como para los afectados por este tipo de situaciones.

## 4. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra en detalle la forma en la que se cumplieron todos y cada uno de los objetivos específicos de la investigación, cumpliendo a cabalidad con cada uno de ellos, por medio de la ejecución de las actividades definidas anteriormente y siguiendo los parámetros claramente delimitados en el capítulo anterior.

### 4.1. AVANCES EN MATERIA DE ROBÓTICA APLICADA A LA ATENCIÓN DE DESASTRES

Para conocer los avances en materia de robótica llevados a cabo a nivel mundial, es necesario realizar una búsqueda exhaustiva de información en fuentes confiables y legítimas, teniendo en cuenta la gran cantidad de documentos que se pueden conseguir a través de Internet y que en muchas ocasiones pueden no tener la suficiente confiabilidad para ser tomados en cuenta y tratados como documentos adecuados a los intereses de la presente investigación. Por tal razón, la primera actividad realizada fue definir con claridad los criterios de búsqueda y las fuentes de consulta, para posteriormente establecer los aspectos más relevantes de los avances de la robótica aplicada a la atención de desastres a nivel mundial, continental y nacional.

#### 4.1.1. Definición de los criterios de búsqueda y selección de la información

La calidad de la información consultada depende de las fuentes, bases de datos y motores de búsqueda utilizados, por lo que es esencial que estos cumplan con los requisitos de confiabilidad claros y seguros, con los que se pueda asegurar que los

documentos, investigaciones, patentes, artículos y demás fuentes, brinden al presente estudio la idoneidad necesaria para cumplir con los propósitos establecidos. Las fuentes de información utilizadas para la presente investigación se describen a continuación:

**Google Académico:** proporciona una forma sencilla de buscar bibliografía académica. Se puede buscar a través de muchas disciplinas y fuentes: artículos, tesis, libros, resúmenes y opiniones de las editoriales académicas, sociedades profesionales, depósitos en línea, las universidades y otros sitios web. Google Académico ayuda de manera fácil y rápida a encontrar trabajos relevantes dentro del mundo de la investigación académica.

**SciELO:** SciELO – Scientific Electronic Library Online (Biblioteca Científica Electrónica en Línea) es un modelo para la publicación electrónica cooperativa de revistas científicas en Internet. Especialmente desarrollado para responder a las necesidades de la comunicación científica en los países en desarrollo y particularmente de América Latina y el Caribe, el modelo proporciona una solución eficiente para asegurar la visibilidad y el acceso universal a su literatura científica.

**Dialnet:** es una de las mayores bases de datos de contenidos científicos en lenguas iberoamericanas y cuenta con diversos recursos documentales: Artículos de revistas, Artículos de obras colectivas, Libros, Actas de Congresos, Reseñas bibliográficas, Tesis doctorales. El objetivo es integrar el mayor número posible de recursos, buscando en la medida de lo posible el acceso a los textos completos de los mismos, apostando claramente por el acceso abierto a la literatura científica.

**Google Patents:** incluye más de 87 millones de publicaciones de patentes de 17 oficinas de patentes de todo el mundo, así como muchos más documentos técnicos y libros indexados en Google Scholar y Google Books. Muchos documentos tienen descripciones de texto completo y reclamaciones disponibles. Las patentes con texto no inglés se han traducido automáticamente al inglés y se han indexado, por lo que se pueden buscar publicaciones de patentes utilizando únicamente palabras clave en dicho idioma.

**PATENTSCOPE:** la base de datos PATENTSCOPE proporciona acceso a las solicitudes internacionales del Tratado de Cooperación en materia de Patentes en formato de texto completo el día de la publicación, y a los documentos de patentes de las oficinas nacionales y regionales de patentes participantes. Permite efectuar búsquedas en 59 millones de documentos de patente, entre los que se cuentan 3,1 millones de solicitudes internacionales de patente PCT publicadas.

Una vez identificadas las fuentes de consulta de la información, se establecen los criterios de búsqueda, con lo cual poder gestionar los datos y documentos arrojados por estas, de forma que se logre la máxima eficiencia en relación al tema que se desea consultar. Por tal razón, se han definido los criterios de búsqueda de información de la siguiente manera:

- Diseño de robots para situaciones de emergencias
- Patentes de robots para atención de desastres
- Tendencia de la robótica en desastres naturales
- Aspectos técnicos y estructurales de los robots usados en atención de desastres naturales

#### **4.1.2. Aspectos más relevantes en cuanto a los avances de la robótica en la atención de desastres naturales**

Según el Secretario General de la Organización de Naciones Unidas, António Guterres, los desastres naturales se han cuadruplicado en las últimas cuatro décadas. La cifra de fallecidos para el 2018 fue de aproximadamente 2.000 personas, número que se prevé aumentará en los próximos años. El cambio climático avanza imparable y se prevé que avalanchas, incendios forestales, inundaciones, tsunamis, volcanes, tornados, terremotos, sequías, sean cada vez más frecuentes, No obstante, la tecnología más vanguardista se une en la lucha contra sus efectos (Velasco, 2019).

Durante los últimos 50 años, la frecuencia de los desastres naturales registrados se ha quintuplicado. A medida que desastres naturales como los incendios forestales se vuelven cada vez más indomables, causando estragos en regiones como el Amazonas, California y más recientemente en Australia, la necesidad de una respuesta rápida y una prevención inteligente es mayor que nunca. Mientras que la tecnología de vanguardia de los aviones no tripulados revoluciona la forma en que se proporciona ayuda, los nuevos avances en la robótica están allanando el camino para las respuestas de emergencia sobrehumanas en algunos de los entornos más peligrosos de la actualidad.

A medida que los avances del hardware convergen con la explosión de las capacidades de IA, los robots de socorro en caso de emergencias están pasando de desempeñar funciones de asistencia a responder de forma totalmente autónoma a un ritmo vertiginoso. Tal es el caso del Cheetah III, nacido del Laboratorio de Robótica Biomimética del MIT (Bledt, y otros, 2018), el es sólo uno de los muchos

robots que pueden formar la primera línea de defensa en situaciones de catástrofe, desde misiones de búsqueda y rescate en caso de terremotos hasta operaciones de alto riesgo en zonas de radiación peligrosas. Este robot es capaz de correr a 6,4 metros por segundo, Cheetah III puede incluso saltar hasta una altura de 60 centímetros, determinando de forma autónoma cómo evitar obstáculos y saltar obstáculos a medida que se levantan

Figura 5. Cheetah III



Fuente: Laboratorio de Robótica Biomimética del Instituto Tecnológico de Massachussets - MIT

Diseñado inicialmente para realizar tareas de inspección espectral en entornos peligrosos como centrales nucleares o fábricas químicas, las diversas iteraciones de Cheetah III se han centrado en aumentar su capacidad de carga útil, rango de movimiento e incluso una función de agarre con una destreza mejorada. Tal como

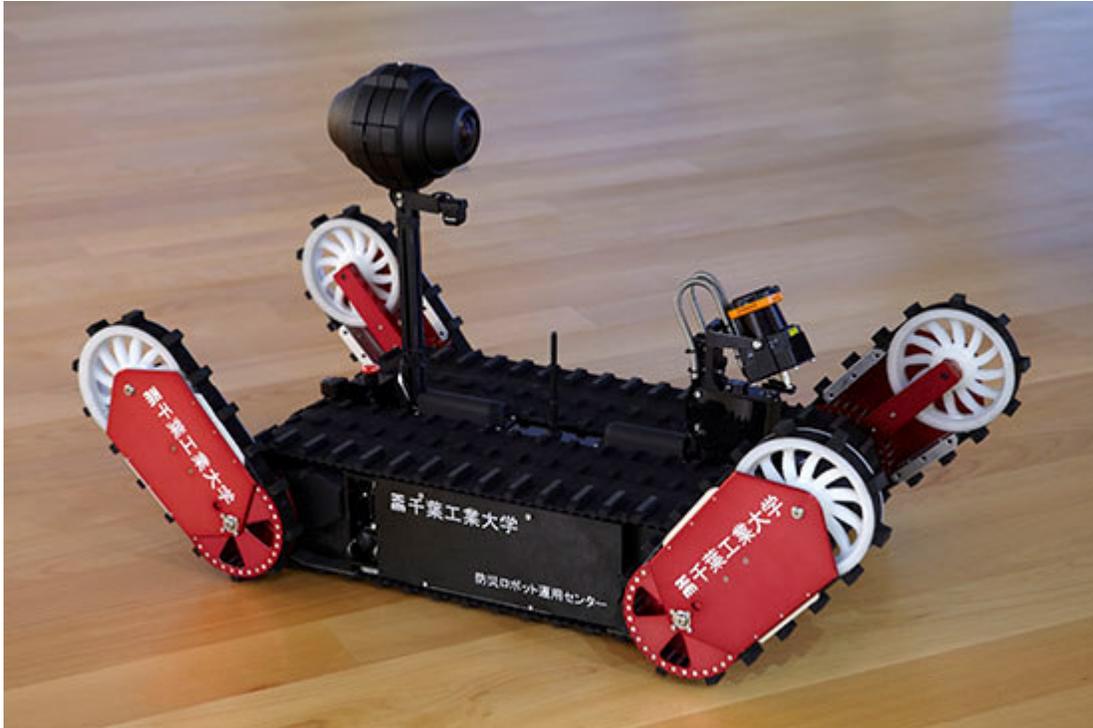
manifiesta el director del laboratorio y profesor asociado del MIT, Sangbae Kim, Cheetah III y las versiones futuras tienen como objetivo salvar vidas en casi cualquier entorno, como incendios o altas radiaciones, en donde un ser humano no podría entrar, por lo que, para estos investigadores, la meta a corto plazo es enviar al robot a donde no se puede enviar humanos, por ejemplo, a áreas tóxicas o con radiación leve.

Por su parte en Japón, los robots de ayuda en desastres, han sido claves para la gestión de accidentes nucleares, donde comenzaron a ser de gran ayuda tras el accidente nuclear que tuvo lugar en marzo de 2011 en Fukushima como consecuencia del Gran Terremoto del Este de Japón. El primer robot de fabricación japonesa que se introdujo en la central de Fukushima Daiichi fue Quince, desarrollado por el Instituto Tecnológico de Chiba (2020), el cual posee capacidad para desplazarse entre escombros o subir escaleras empinadas. Actualmente siguen utilizándose en las tareas de exploración de la central. Para ello el robot cuenta varias cámaras (algunas infrarrojas), micrófonos, altavoces, buscador láser, sensores, Wi-Fi y un sistema para abrir puertas. Sus reducido tamaño y diseño plegable le otorgan un amplio grado de libertad y eficacia al momento de enfrentar obstáculos (Instituto Tecnológico de Chiba, 2020).

El Quince no sólo está diseñado para asistir en el rescate de personas luego de un desastre, sino que también a quienes sufren las consecuencias de un ataque químico, biológico o nuclear. Siguiendo la línea de Quince, posteriormente el Instituto Tecnológico de Chiba ha creado Sakura Ichigō y Sakura Nigō, dos robots enteramente diseñados para su aplicación en desastres nucleares. Sakura Ichigō es bastante más pequeño que Quince para poder entrar en espacios más reducidos. Sakura Nigō tiene un brazo desmontable de dos metros para llevar una cámara y

tomar fotografías desde arriba, o bien introducirlo en espacios estrechos en que no entra el cuerpo.

Figura 6. Robot Quince



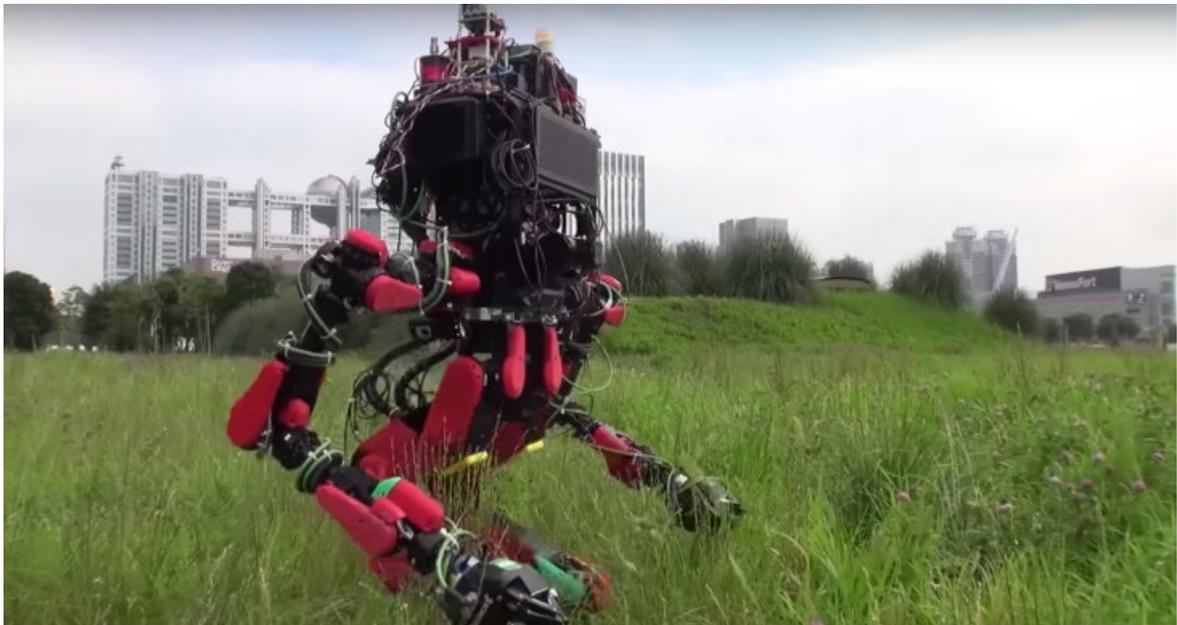
Fuente: Instituto Tecnológico de Chiba

Mientras Japón perfecciona los robots de ayuda en desastres valiéndose de experiencias como la del terremoto de marzo de 2011, Estados Unidos ha empezado a investigar para usar robots humanoides de alta versatilidad a la gestión de desastres. La edición de finales de 2013 de la competición DARPA Robotics Challenge (DRC), que organiza la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA, por sus siglas en inglés) de EE.UU., tenía como

objetivo promover el avance en el desarrollo de robots para actuaciones de emergencia en accidentes nucleares.

El ganador de dicha edición fue SCHAFT, una pequeña empresa surgida de la Universidad de Tokio. Su robot tenía dos brazos y dos piernas, pero, a diferencia de los humanos, presentaba una estructura reversible sin parte frontal y posterior fijas que le otorgaba una gran flexibilidad de actuación en zonas afectadas por desastres. En conjunto, se mostraron superiores los equipos que usaron robots no humanoides, como los robots tipo simio de cuatro patas y los robots tipo oruga, dejando claro que los robots humanoides todavía requieren muchas mejoras. Aun así, al observar al robot de SCHAFT en movimiento se aprecia que la tecnología de los robots humanoides en Japón ha alcanzado un nivel muy alto.

Figura 7. Robot humanoide de SCHAFT



Fuente: Google Robotics

## **4.2. TENDENCIAS ACTUALES DE DISEÑO DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES**

Los robots sin duda alguna están cobrando mayor protagonismo en todos los aspectos de la vida moderna a medida que avanza las innovaciones y desarrollos tecnológicos, por tal razón que estos sean cada mas incluidos en situaciones que antes no eran consideradas es todo un reto para los investigadores e ingenieros que trabajan constantemente en crear nuevos prototipos capaces de realizar las labores de búsqueda y rescate y colaborar de forma incansable en la atención de desastres, valiéndose de novedosos diseños y originales modelos.

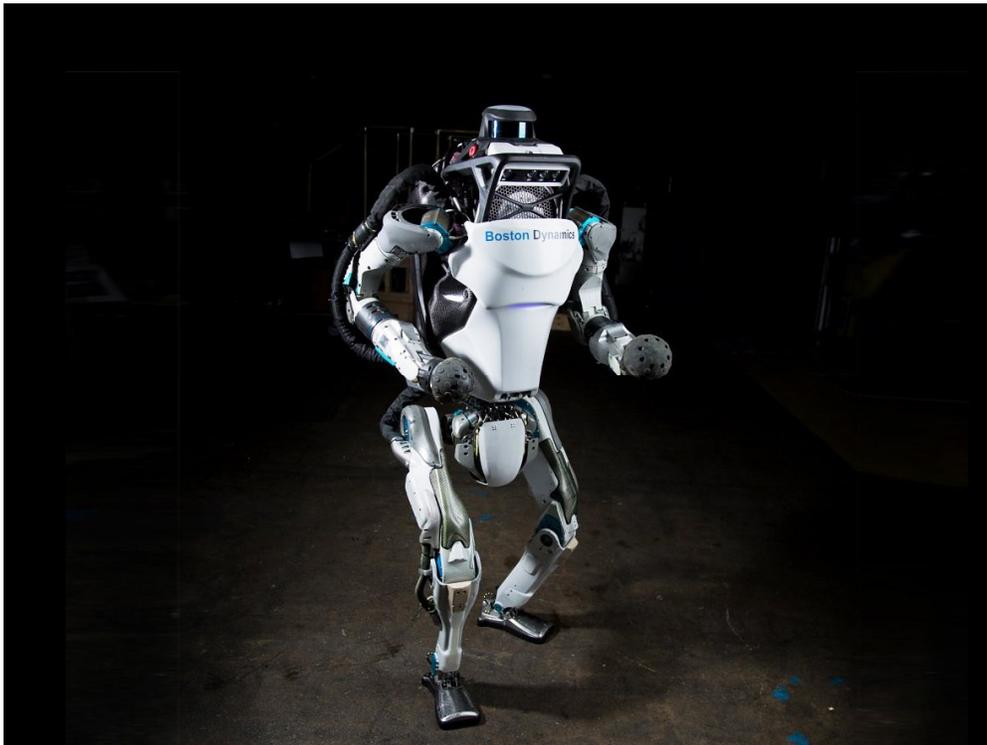
### **4.2.1. Parámetros de diseño de los robots usados en la atención de desastres**

Los robots han estado presentes en el imaginario colectivo desde hace décadas, cuando el padre de la robótica moderna Isaac Asimov concibió un futuro en donde humanos y maquinas convivieran juntos, tal como lo demuestran sus numerosas novelas y cuentos. En ese contexto, su mayor aporte fue concebir las llamadas Tres Leyes de la Robótica, verdaderos mandamientos que, según Asimov, permiten regular la relación entre hombres y máquinas. Y que han trascendido el ámbito de la ciencia ficción para instalarse en el campo de la robótica actual, donde son tomadas muy en serio (Rojas, 2017).

Desde entonces, la idea de los robots humanoides se ha convertido en un propósito para los científicos quienes trabajan porque las ideas de Asimov algún día sean toda una realidad. Indudablemente el sueño está cada vez más cerca. Hace escasos meses se presentaba un importante avance tecnológico. El prototipo más evolucionado de robot humanoide ha pasado de ser un aparato torpe a convertirse

en un bípedo ágil y fuerte como un atleta de élite. La robótica avanza a pasos agigantados y ya se vislumbra la posibilidad de tener robots con apariencia humana muy pronto y tal como lo manifiestan sus creadores, su primera misión será salvar vidas en catástrofes (Valenzuela, 2018).

Figura 8. Robot Atlas



Fuente: Boston Dynamics

Boston Dynamics, empresa que nació en un laboratorio del MIT y que hoy forma parte de la japonesa SoftBank, ha diseñado el prototipo. Llamado Atlas, con 1,5 metros de altura y 75 kilogramos de peso, camina fuera del laboratorio con la máxima soltura que por el momento puede alcanzar un robot bípedo, sortea desniveles y adapta el movimiento de su cadera y torso al gesto global del cuerpo

como si fuera algo natural. El humanoide también se agacha y recoge objetos pesados con sus brazos acabados en tacos de goma.

Teniendo en cuenta la elevada dificultad para hacer caminar a un humanoide, los ingenieros han pensado en varias opciones, como cambiar sus características en función del ambiente en el que se tenga que desenvolver. En un lugar con carreteras practicables podría cambiar sus pies por ruedas. Si está en la nieve se pondría raquetas o esquís. Otra opción que barajan es la creación de seres mecánicos completamente distintos a todo lo conocido; una especie de quimera que reúna las mejores características. En su defecto, lo ideal serían equipos formados por robots con muy diversas formas, tamaños y cualidades, todos ellos dependiendo de la situación específica que deban atender (Valenzuela, 2018).

Tal es el caso de Rooster, el nuevo robot del startup israelí RoboTiCan que puede ayudar a llegar a las víctimas lesionadas por desastres naturales donde no es seguro enviar a un trabajador de rescate humano. Recibió el nombre Rooster por la preferencia de las aves por caminar, pero también volar cuando es necesario, como cuando se topan con un obstáculo. Un equipo de Roosters, que puede ser implementado simultáneamente por un solo operador, establece su propia red de malla inalámbrica para que puedan hablar entre sí y con el operador a una distancia de cientos de metros. No hay necesidad de una conexión celular, que puede estar fuera de línea de todos modos en una situación de desastre (Mendo, 2017).

Este tipo de robots autónomos poseen cuatro ruedas y un kit completo de sensores: cámaras 3D, sensores ultrasónicos de distancia, láser pulsado LiDAR. Rooster está protegido por una resistente malla protectora que le permite aguantar golpes desde una altura máxima de seis metros. Un impacto que no puede resistir la mayoría de

robots. Sin duda un gran ejemplo de hacia donde se dirigen los esfuerzos en materia de diseño y estructuras de los robots de rescate, los cuales se enfrentan a condiciones ambientales difíciles y deben lidiar con un sinnúmero de situaciones peligrosas, por lo que deben ser lo suficientemente fuerte y resistentes para afrontarlas.

Figura 9. Robot Rooster



Fuente: RoboTiCan - Universidad Ben-Gurion (Israel)

Pero no todos los robots son diseñados para ser autónomos o liberar al ser humano de la tarea de ir a los lugares donde se han presentado los desastres, y al contrario se requiera de la presencia humana para coordinar las labores de búsqueda, rescate y evacuación. Tal es el caso del vehículo robot de la marca surcoreana Hyundai, un vehículo que combinará el sistema tradicional de ruedas, pero tendrá piernas despegables.

Figura 10. Vehículo robot Hyundai Elevate



Fuente: Hyundai

Este vehículo no solo resulta favorable y útil para las situaciones de emergencia, sino también en labores de asistencia de personas con movilidad reducida, donde las viviendas no están adaptadas para su discapacidad, recogiénolas en la puerta de su casa y facilitándoles su salida a la calle. Elevate se adapta a cualquier situación, puesto que tiene una plataforma modular que cambia y adapta su estructura a situaciones específicas. Este modelo incluso tiene la capacidad para cambiar a diferentes cuerpos y en distintos usos y además asegura una capacidad única para andar como un mamífero o incluso un reptil (Del Real, 2019).

Además de ello, el Hyundai Elevate tiene un sistema de suspensión pasiva integrado, además de que es capaz de circular por autopista a la velocidad de cualquier otro vehículo, pero a la vez de transformarse en un todoterreno que puede

escalar paredes, superar zanjas y caminar casi a 5 km/h por cualquier terreno. Sus principales características son:

- Piernas robóticas con la posibilidad de ofrecer ángulos ilimitados.
- Habilidad para caminar en estilo de mamífero y reptil para movimiento omnidireccional.
- Capaz de escalar una pared vertical.
- Paso sobre cualquier espacio.
- El mecanismo antivuelco permite activar el bloqueo en cualquier posición.
- Realizado sobre una plataforma modular de vehículos eléctricos.

#### **4.2.2. Modelos de los robots para atención de desastres según la emergencia**

Un robot rescatista puede tratarse de un vehículo con orugas y/o ruedas, puede tener forma humanoide o bien puede ser una aeronave no tripulada o hasta un robot reptante; la elección de su arquitectura depende de la misión a desempeñar, que puede ser física y con fuerza para remover escombros para rescatar víctimas, o bien limitarse a la evaluación de daños, detección de personas, asistencia para suministrar medicamentos, equipos médicos o alimentos. Un robot de rescate debe ser autónomo, con cualidades sensoriales importantes: visión, oído, tacto, olfato, capacidad visual tridimensional y cierta habilidad en toma de decisiones (CINVESTAV, 2017).

Los robots pequeños y deformables son ideales para los derrumbes en minas. Hoy en día se usan dispositivos del tamaño de un chihuahua equipados con linternas y cámaras capaces de meterse en tuberías y túneles con gran pendiente en busca de supervivientes. Los científicos trabajan en crear serpientes robóticas que puedan

introducirse en agujeros y adaptar su tamaño al diámetro de los mismos. Así podrán pasar por un hueco muy pequeño y recomponerse cuando lleguen al otro lado para, por ejemplo, adquirir una forma esférica y rodar.

Robots de diseño como el de una cucaracha, la cual está destinada a hallar vida humana entre los escombros tras un terremoto, es un gran avance en biotecnología ideado por un grupo de científicos rusos. Estos grabaron en cámara súper lenta los movimientos de la cucaracha malgache para replicar sus movimientos, hasta en lo que se refiere a la antena delantera que incorporaron al robot para identificar y esquivar obstáculos. La mayor dificultad fue construir un robot lo más pequeño posible. Fue todo un desafío para los ingenieros responsables.

Figura 11. Cucaracha Robot



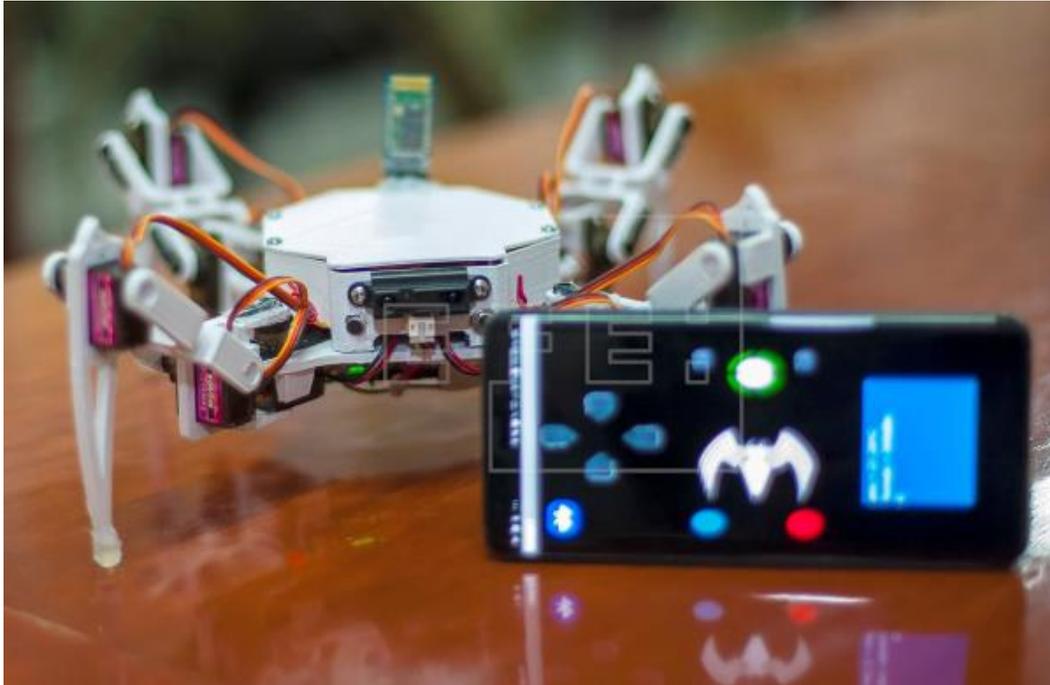
Fuente: Universidad Immanuel Kant de Kaliningrado

El robot cuenta con piezas de 5 micras (una milésima parte de un metro), nunca antes fabricadas. La cucaracha electrónica mide menos de diez centímetros, tiene capacidad para transportar cargas de hasta 10 gramos y, al igual que un smartphone, está equipado con un giroscopio, magnetómetro y acelerómetro. El resultado de siete meses de trabajo es un robot que funciona con un acumulador que le otorga una autonomía de movimientos de 20 minutos, pero que en un futuro podrá desplazarse ininterrumpidamente sin necesidad de recargarse hasta durante tres horas. Tiene caparazón como sus contrapartes naturales, seis patas que se mueven a una gran velocidad y está equipado también con un sensor sensible a la luz (La Nación, 2019).

Siguiendo con la línea de insectos, estudiantes del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México crearon un robot con forma de araña que permite localizar a personas atrapadas entre escombros, para auxiliar a las corporaciones de emergencia y auxilio durante la presencia de un desastre natural. De acuerdo con el centro educativo, este robot opera mediante un dispositivo móvil con Bluetooth y cuenta con diversos sensores que permiten ubicar a personas atrapadas por escombros. Tiene tres sensores que detectan sonido, temperatura y distancia del espacio donde se encuentra atrapada la persona (EFE, 2019).

El sensor de temperatura registra valores que van de los menos 50 hasta los 120 grados centígrados. A su vez, el sensor de sonido detecta hasta 400 decibelios en un perímetro de tres metros, mientras que el sensor de distancia funciona de acuerdo al avance del robot entre los escombros. Las extremidades fueron elaboradas en una impresora 3D utilizando como materia el polímero, que es similar al plástico. Tiene cuatro patas que permiten al robot hacer movimientos hacia todas las direcciones.

Figura 12. Robot Arácnido RDB-10



Fuente: Instituto Politécnico Nacional de México

Por su parte, investigadores japoneses han desarrollado un robot especializado en la gestión de las catástrofes naturales, como los terremotos. Tiene forma de serpiente, mide 8 metros de largo y pesa 3 kilos. Puede levantar la cabeza hasta 20 centímetros para mejorar su campo de visión. Su estructura está cubierta de pelos pequeños y móviles que le permiten avanzar hasta 10 centímetros por segundo. Desarrollado por Toshiba, tiene un diámetro de entre 13 y 30 centímetros de ancho. Está equipado con dos cámaras, la primera en la parte delantera, capaz de tener un ángulo de visión de 180°, y la segunda en la parte posterior.

Figura 13. Robot serpiente



Fuente: Toshiba Robotics

También está dotado de luces y de un instrumento de medición de dosis absorbida (como dosis equivalente) en un contexto de protección radiológica (dosímetro). Resiste altas dosis de radiactividad y se controla mediante un cable. Puede operar entre 10 horas y 20 horas en un mismo tramo. Gracias a su forma y sus capacidades, el robot puede localizar personas sepultadas después de un terremoto y analizar el estado de un edificio después de un sismo, para valorar la posibilidad de acceso seguro a los equipos de emergencia. El robot ya fue probado en la central nuclear Fukushima-Daiichi, que resultó muy dañada como consecuencia del tsunami que desencadenó el terremoto del 11 de marzo de 2011.

### **4.3. APLICACIÓN DE ROBOTS PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES EN COLOMBIA**

Los expertos consideran que hacia el año 2040 el 80% de las actividades humanas serán asistidas por robots, tal cual ocurre hoy en día con el uso de computadores portátiles o teléfonos inteligentes (Barrera, 2017). Un campo que tiene un desarrollo exponencial, especialmente en países como Colombia, es la Agrónica o automatización de procesos agrícolas para hacerlos más productivos. Las condiciones geográficas y la riqueza de nuestras tierras es un excelente campo de acción para ingenieros, agrónomos e innovadores con ganas de fortalecer las habilidades de la población campesina, ayudando a la mejora de sus procesos a través de la tecnificación del campo. Aunque en materia de atención de desastres el panorama aun esta muy lejos de otros países, como Estados Unidos o Japón.

#### **4.3.1. Estado actual de la robótica aplicada a la atención de desastres en Colombia**

En Colombia los aviones no tripulados o Drones también tienen un gran campo de acción, especialmente en labores agrícolas, en el desarrollo de mapas y levantamiento de información cartográfica y geológica en zonas de difícil acceso, en temas de logística y seguridad y también en actividades de entretenimiento y ocio, solo por nombrar algunos de los usos que ya están teniendo estos vehículos automáticos del aire en los campos y ciudades. Sin embargo, en cuanto a la atención de desastres naturales, en el país aún no existen avances significativos que puedan dar una visión clara de cuando se empezaran a implementar este tipo de recursos tecnológicos en labores de búsqueda y rescate de víctimas en situaciones de desastre.

A pesar de lo anterior, se han empezado a diseñar modelos de robots para tareas de desminado en zonas de conflicto, en donde existe minas terrestres plantadas y que resultan mortales para todos los que transitan por esos lugares. A continuación, se presentan los avances que en esta materia se han dado en el territorio nacional, y que bien, no ha sido utilizados precisamente para atender desastres naturales, con el paso del tiempo pueden ir acoplándose a las necesidades específicas en tareas que requieran de labores propias de este tipo de eventos.

#### **4.3.2. Intervención de robots en desastres ocurridos en Colombia**

Figura 14. Robot Arcadio



Fuente: Departamento de Electrónica de la Universidad Javeriana

El grupo de investigación de Sistemas Inteligentes, Robótica y Percepción (SIRP) del departamento de Electrónica de la Universidad Javeriana, desarrolló el proyecto Arcadio, un robot capaz de entrar en un terreno de alto riesgo e identificar la presencia de minas antipersonas. Este primer robot colombiano busca aportar una solución para que el proceso de desminado humanitario pueda llevarse a cabo de una manera más viable y con menos riesgo, el robot arcadio pesa 70 kg y posee un brazo computarizado inteligente. Arcadio es una opción segura, pues en caso de error el costo es mínimo comparado con la vida o rehabilitación de una persona.

Figura 15. Robot Vigilante

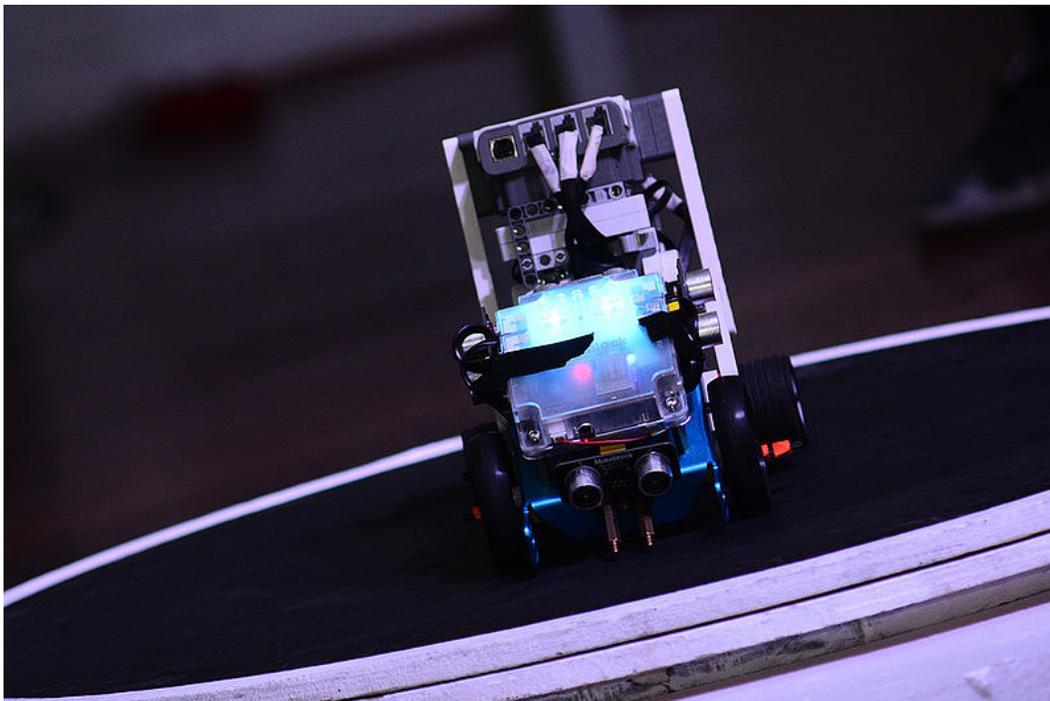


Fuente: Compañía A1A Visa

La compañía A1A Visa con sede en Bogotá, fabrica un robot que puede detectar personas, moverse a través de las oficinas y detectar algún tipo de emergencia y

comunicarlo inalámbricamente a una central de riesgos, tiene una cámara de video con zoom x10 y giro vertical y horizontal, no se estrella con nada y tiene sensores de temperatura; lo invento el ingeniero Eduardo Cuervo presidente de A1A Visa. Este robot puede recorrer un piso de oficinas y percatarse de la presencia de humanos en el área, detectar conatos de incendio u otras emergencias y comunicarlo vía inalámbrica a una central.

Figura 16. Robot Reina antiexplosivos



Fuente: Universidad Nacional de Colombia

El robot Reina tiene la capacidad de reparar a los guías que resulten deshabilitados en la exploración, todo en tiempos cortos basados en la idea de los robots de la Nasa enviados a Marte y a la Luna, un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín realiza un proyecto para que robots nacionales

trabajen en lugares donde haya amenaza terrorista y así se detecte el peligro a tiempo. En Medellín, varios científicos están convencidos de que en Colombia sí son posibles los desarrollos en inteligencia artificial. De hecho, ya le trabajan a un proyecto: un sistema de robots, dotados con funciones y personalidad propia, capaces de ingresar en lugares de alto peligro para los humanos.

## 5. CONCLUSIONES

Sin duda la robótica es uno de los grandes avances de la humanidad, puesto que como se ha podido observar en el transcurso de los años, los inventos de maquinas y aparatos electrónicos cobran cada vez mas fuerza y se hacen parte indispensable de las actividades cotidianas de los seres humanos, además de ser de gran utilidad en todos los ámbitos empresariales, sociales, militares, etc., siendo el campo de atención a desastres uno que debido a los eventos catastróficos ocurridos en los últimos años a cobrado especial relevancia.

En el mundo se han realizado avances significativos en esta materia siendo Japón y Estados Unidos pioneros del desarrollo de robots para atender situaciones catastróficas, como las ocurridas en el terremoto del 2011 y el atentado a las torres gemelas en el año 2001, en estos países respectivamente, lo que trajo consigo toda una serie de innovaciones que han permitido que investigadores y científicos de todas partes del mundo procuren aportar su conocimiento al servicio del diseño de nuevos prototipos especializados en la atención de desastres.

Por su parte, Colombia aún se encuentra décadas atrás en materia de desarrollo robótico, lo que se evidencia en la poca innovación e implementación de robots para atender desastres naturales que se han presentado en el país y que eventualmente habrían podido ayudar a disminuir las consecuencias de los mismos y el impacto causado por situaciones en las que el actuar de los seres humanos no es suficiente.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir investigando en este aspecto y procurare generar mayores avances tecnológicos en pro de la mejora de la seguridad de los habitantes y personas en situación de peligro.

Es importante que se mantengan los avances en materia de robótica e investigaciones similares, usando los recursos disponibles y las ventajas que ofrece la globalización.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, I., & Ochoa, J. (2013). *Diseño y construcción de un robot explorador de terreno*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Argudo, G., & Arpi, D. (2012). *Diseño Y Construcción de un Robot Móvil Tele Operado Para La Asistencia En Operaciones De Alto Riesgo Del Cuerpo De Bomberos*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Barrera, C. (2017). *Presente y futuro de la robótica industrial en Colombia*. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Presente-y-futuro-de-la-robotica-industrial-en-Colombia+120872?pagina=3>

BBC News. (2019). *Atentados del 11 de septiembre de 2001: quiénes son los 5 acusados por el ataque que siguen presos en Guantánamo (y por qué no han sido llevados a juicio en 18 años)*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-49658125>

Belu, M. (2013). *Clasificación de Robots según su arquitectura*. Obtenido de <http://robotiica.blogspot.com/2007/10/clasificacin-de-robots-segn-su.html>

Bledt, G., Powell, M., Katz, B., Carlo, J., Wensing, P., & Kim, S. (2018). *MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot*. Massachusetts: MIT.

BLU Radio. (2018). *Titanes Caracol: este inventor de Urabá diseñó un robot contra las minas antipersonales*. Obtenido de <https://www.bluradio.com/nacion/titanes-caracol-este-inventor-de-uraba-diseno-un-robot-contra-las-minas-antipersonal-188433-ie435>

Boston Dynamics. (2017). *Robots para situaciones de desastre*. Obtenido de <https://manufactura.mx/industria/2017/09/22/robots-para-situaciones-de-desastre>

Canal Trece. (2019). *Robots, aliados de los humanos*. Obtenido de <https://canaltrece.com.co/noticias/robots-aliados-de-los-humanos-en-desastres/>

CINVESTAV. (2017). *Científicos buscan usar robótica en situaciones de desastre*. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/tecnologia/cientificos-buscan-usar-robotica-en-situaciones-de-desastres>

Del Real, J. (2019). *Hyundai presenta vehículo robot para desastres naturales y emergencias*. Obtenido de <https://www.expoknews.com/hyundai-presenta-vehiculo-robot-para-desastres-naturales-y-emergencias/>

Dueñas, F. (2015). *La Robótica*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos6/larobo/larobo.shtml>

EducaLab. (2014). *Glosario de términos y conceptos robóticos*. Obtenido de <http://el.uy/doc/robotica/mooc.educalab.es.%202017.%20Glosario%20de%20términos%20y%20conceptos%20robóticos.pdf>

EFE. (2019). *Crean un robot arácnido para la búsqueda y rescate de personas en México*. Obtenido de <https://www.efecom/efe/america/tecnologia/crean-un-robot-aracnido-para-la-busqueda-y-rescate-de-personas-en-mexico/20000036-3893585>

El Heraldo. (2017). *Gabriel y Gustavo, los hermanos que no temen emprender*. Obtenido de <https://revistas.elheraldo.co/gente-caribe/millennials/gabriel-y-gustavo-los-hermanos-que-no-temen-emprender-143899>

González, M. (2015). *Los héroes robóticos de Fukushima*. Obtenido de <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/los-heroes-roboticos-de-fukushima>

Hernández, I. (2015). *Robots al rescate*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/ciencia/2015/10/09/5616a62e268e3e15768b463b.html>

HispanTV. (2017). *¡Robot al rescate! Honda presenta robot para salvar vidas*. Obtenido de <https://www.hispantv.com/noticias/ciencia-tecnologia/355837/robot-humanoide-honda-rescate-desastres-naturales-iros>

Instituto Tecnológico de Chiba. (2020). <https://www.it-chiba.ac.jp/english/>.

La Nación. (2019). *Cucaracha robot*. Obtenido de <https://www.nacion.com/tecnologia/contenido-libre/cucaracha-robot-ayudara-a-localizar-victimas-de-desastres-naturales/DPRZJ2PAAZB5RIBCJEJSLWFBPQ/story/>

Mendo, G. (2017). *Un robot israelí ayuda a víctimas de desastres naturales*. Obtenido de <https://agenciaajrn.com/noticia/robot-israeli-ayuda-victimas-desastres-naturales-89091>

Molina, P. (2014). *Historia de la Robótica*. Obtenido de <http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/robotica/historia.htm>

Perales, M. (2018). *¿Un robot capaz de rescatar personas en situaciones de desastre?* Obtenido de <https://tec.mx/es/noticias/estado-de-mexico/educacion/un-robot-capaz-de-rescatar-personas-en-situaciones-de-desastre>

Revista Expansión. (2011). *Los robots de ayuda en desastres, una consecuencia del 11-S*. Obtenido de <https://expansion.mx/tecnologia/2011/09/07/los-robots-de-ayuda-en-desastres-una-consecuencia-del-911>

Revista Semana. (2018). *Robótica colombiana*. Obtenido de [https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/robotica-colombiana/92865-](https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/robotica-colombiana/92865-3)

3

Rojas, A. (2017). *Isaac Asimov y sus robots, sorprendente universo*. Obtenido de <https://www.guioteca.com/literatura-fantastica/el-sorprendente-universo-de-los-robots-creados-por-isaac-asimov/>

Serrano Viñuales, P. (2015). *Robótica*. Obtenido de <http://lefis.unizar.es/lefispedia/doku.php?id=es:robotica>

Servicio de Información y Noticias Científicas SINC. (2017). *La investigadora que utilizó robots de rescate en el 11-S y en el huracán Katrina visita Castellón*. Obtenido de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-investigadora-que-utilizo-robots-de-rescate-en-el-11-S-y-en-el-huracan-Katrina-visita-Castellon>

Tangarife, R. (2016). *Breve Historia De La Robótica*. Obtenido de <https://www.timetoast.com/timelines/breve-historia-de-la-robotica-5b407a7f-fd5c-4498-a459-051c19dd633b>

Universidad de Santiago de Chile. (2014). *Desarrollo Histórico y Evolución de la Robótica*. Obtenido de <http://www.udesantiagovirtual.cl/moodle2/mod/book/view.php?id=24899&chapterid=190>

Valenzuela, A. (2018). *Estos son los robots que te salvarán la vida*. Obtenido de <https://www.elindependiente.com/futuro/2017/11/26/estos-son-los-robots-que-te-salvaran-la-vida/>

Vargas, I. (2019). *Los 10 peores desastres naturales alrededor del mundo que nunca olvidaremos*. Obtenido de <https://culturacolectiva.com/historia/los-10-peores-desastres-naturales-alrededor-del-mundo-que-nunca-olvidaremos>

Velasco, A. (2019). *Tecnología contra los efectos de los desastres naturales*. Obtenido de <https://impulsodigital.elmundo.es/seguridad-tecnologica/tecnologia-contra-los-efectos-de-los-desastres-naturales>