

Modelación y Simulación del Comportamiento Humano en Situaciones de Emergencia

Ronald Akerman Ortiz García

ronald.ortiz@udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Departamento de Ingeniería Industrial

Medellín, Colombia

2017

Modelación y Simulación del Comportamiento Humano en Situaciones de Emergencia

Ronald Akerman Ortiz García

ronald.ortiz@udea.edu.co

Yony Fernando Ceballos, Ph.D.

E. Valentina Gutierrez Gutierrez, Ph.D.

Universidad de Antioquia

Departamento de Ingeniería Industrial

Medellín, Colombia

2017

A Mis padres quienes siempre me han apoyado en proceso de formación como ser humano y profesional.

Agradecimientos

A mis tutores y compañero de maestría que me acompañaron en todo el proceso de formación y estuvieron en todos y cada uno de los eventos en los cuales se ha presentado este trabajo, sin ellos no hubiese podido la realización de este trabajo.

Resumen

Durante eventos de emergencia en entornos laborales es complejo determinar cuál será la reacción o de qué forma se comportarán las personas. En este trabajo se busca evaluar el impacto del comportamiento de las personas en eventos de emergencia en centros de servicio, estableciendo modelos que expliquen situaciones similares en diferentes escenarios para luego, determinar el impacto del comportamiento de las personas en momentos de evacuación y evaluar políticas que mitiguen los impactos negativos que puedan existir en dichas situaciones.

En este trabajo se toma como referencia los datos de un *call center* de una Institución Prestadora de Servicios de Salud (IPS) de Medellín, en el cual se estudia el impacto del comportamiento de las personas en una emergencia, teniendo en cuenta la norma colombiana en cuanto a seguridad laboral. Los resultados evidencian que la velocidad de evacuación depende de diversos factores, entre ellos el comportamiento de las personas en el evento de emergencia.

Palabras clave: emergencias, simulación, modelo, comportamiento humano, centros de servicio, evacuación.

Abstract

During emergency events in work environments, it is complex to determine what the reaction will be or how people will behave. This paper aims to evaluate the impact of the behavior of people in emergency events in service centers, establishing models that explain similar situations in different scenarios, then determine the impact of people's behavior in evacuation moments and evaluate policies that mitigate the negative impacts that may exist in such situations.

In this study, the data of a call center of a Health Services Provider Institution (IPS) in Medellín is taken as reference, in which the impact of the behavior of the people in an emergency is studied, taking into account the Colombian norm in terms of job security. The results show that the evacuation rate depends on several factors, including the behavior of the people in the emergency event.

.Key words: emergencies, simulation, model, human behavior, service centers, evacuation.

Tabla de Contenido

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Introducción | 8 |
| 2 | Planteamiento del Problema | 10 |
| 3 | Revisión de la Literatura | 14 |
| 3.1 | Sistemas de emergencias | 15 |
| 3.2 | Call centers | 17 |
| 3.3 | Comportamiento humano | 23 |
| 3.4 | Simulación..... | 26 |
| 4 | Estado del Arte..... | 36 |
| 4.1 | Síntesis: revisión crítica de la literatura | 36 |
| 5 | Modelo de Simulación Basada en Agentes..... | 46 |
| 5.1 | Protocolo ODD: Fase de Revisión | 47 |
| 5.2 | Protocolo ODD: Conceptos de Diseño | 52 |
| 5.3 | Protocolo ODD: Fase de Detalles | 63 |
| 5.4 | Verificación del Modelo..... | 70 |
| 5.5 | Validación del modelo | 73 |
| 6 | Análisis de Escenarios | 75 |
| 6.1 | Escenario base | 77 |
| 6.2 | Escenario con tres entradas | 79 |
| 6.3 | Escenario con cuatro entradas | 79 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7 | Resultados | 80 |
| 7.1 | Resultados Análisis de Escenarios | 80 |
| 7.2 | Conclusiones y trabajo futuro. | 86 |
| | Referencias..... | 90 |

Lista de Tablas

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 1. | Síntesis de los tipos de Simulación..... | 30 |
| Tabla 2 | Clasificación de la Bibliografía encontrada..... | 36 |
| Tabla 3 | Escenarios del modelo | 76 |
| Tabla 4 | Rangos de inicialización variables del Modelo | 77 |
| Tabla 5 | Valores iniciales simulación | 78 |
| Tabla 6 | Resultados según cantidad entradas..... | 80 |
| Tabla 7 | Resultados velocidad de evacuación..... | 84 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Tipos de problemas Fuente: (Borshchev & Filippov, 2004) | 27 |
| Figura 2 Tipos de Simulación Fuente: (Borshchev & Filippov, 2004)..... | 28 |
| Figura 3 Pasos en un estudio de simulación Adaptado de (Banks, Carson, & Nelson, 2000)..... | 32 |
| Figura 4 Temas estado del arte. Fuente: (construcción propia) | 40 |
| Figura 5 Tipos de análisis del estado del arte. Fuente: (construcción propia)..... | 41 |
| Figura 6 Tipos de eventos del estado del arte. Fuente: (Construcción propia)..... | 41 |
| Figura 7 Tipos de entornos del estado del arte. Fuente: (construcción propia) | 42 |
| Figura 8 Tipos de comportamiento del estado del arte. Fuente: (construcción propia)..... | 43 |
| Figura 9 Partes del Protocolo ODD Fuente: (Müller et al., 2013)..... | 47 |
| Figura 10 Interfaz modelo de simulación en Netlogo® Fuente: (Elaboración propia) | 48 |
| Figura 11 Representación de las personas según comportamiento Fuente: (Construcción propia) | 64 |
| Figura 12 Representación de una salida en el escenario simulado Fuente: (Construcción propia) | 65 |
| Figura 13 Plano call center IPS Fuente: IPS Medellín | 66 |
| Figura 14 Submodelo interacción entre los agentes | 69 |
| Figura 15 Comportamiento valores extremos Egoístas. Fuente: Construcción propia..... | 71 |
| Figura 16 Comportamiento valores extremos Altruistas. Fuente: Construcción propia..... | 72 |
| Figura 17 Comportamiento Evacuados Modelo mixto (altruistas y egoístas). Fuente: Construcción propia | 82 |
| Figura 18 Velocidad de evacuación por escenarios | 83 |

1 Introducción

En la declaración de los derechos humanos se establece que toda persona tiene derecho a la vida (Sánchez Patrón, 2014), por tanto la salud y la integridad de las personas es un factor que debería primar en los ambientes laborales ya que se dedican importantes esfuerzos por salvaguardarla en las organizaciones (Groner, 2016; Kobes, Helsloot, de Vries, & Post, 2010; Proulx, 1995; Sagun, Bouchlaghem, & Anumba, 2011; Tan, Hu, & Lin, 2015; Wu & Chen, 2012). Los aspectos regulados por las leyes colombianas son: salud puestos de trabajo, exposición a tóxicos, accidentes de trabajo y prevención de desastres (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994; Congreso de Colombia, 1979).

Ahora bien, en las organizaciones y para establecer planes de emergencia efectivos, cumplir con las normas colombianas y salvaguardar el bienestar y la vida de las personas que laboran en un espacio empresarial determinado, se han dedicado esfuerzos considerables en estudios e investigaciones con el fin de elaborar, mejorar y aplicar nuevos planes de emergencia (G. Chen et al., 2015).

Cada empresa tiene laborando en sus locaciones personas que desempeñan diversas labores, y para desempeñar sus labores cada individuo se designa de acuerdo, entre otras, a unas aptitudes técnicas y físicas, de las cuales dependen la reacción ante una situación de emergencia y, el grado de pánico que se genere entre los trabajadores. Por lo que la realización de una investigación en la cual se modele y simule dicho comportamiento es pertinente.

Lo que se pretende con el presente trabajo es diseñar un modelo de simulación del comportamiento humano en situaciones de emergencia bajo las políticas establecidas en el marco legal colombiano, aplicando una metodología propia de la simulación basada en agentes. Para

conseguir el objetivo propuesto en primer lugar se busca caracterizar los posibles comportamientos que tienen las personas en situaciones de emergencia en un centro de servicio, obteniendo una clasificación comportamental de las personas y de esta forma parametrizarlo y luego representarlo en un modelo que represente dicha situación.

En segundo lugar, después de realizada dicha parametrización se busca construir un modelo de simulación que permita representar situaciones de emergencia en centros de servicio, ajustado a la normatividad vigente en Colombia, mediante el cual se busca evaluar posteriormente las posibles situaciones que se puedan presentar en cada uno de los escenarios planteados y mirar el resultado del comportamiento de las personas en cada escenario.

Finalmente se pretende evaluar diferentes políticas mediante la construcción de escenarios que mitiguen los impactos negativos existentes situaciones de emergencias, en las cuales se apliquen las normas colombianas en cuanto a infraestructura de escenarios y de esta forma evaluar dichas normas en cada escenario planteado.

2 Planteamiento del Problema

Toda empresa debe contar con un plan de emergencia, con el fin de mitigar las posibles consecuencias negativas que pueda traer consigo un evento o situación de emergencia para salvaguardar la vida y la salud de sus trabajadores. En Colombia se ha dispuesto de una serie de normas con las cuales se reglamenta la existencia de normas de seguridad a nivel de empresa para salvaguardar bienes y principalmente a los trabajadores (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994; Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a).

Un evento de emergencia puede afectar a una empresa en su totalidad o a una o varias de los componentes que hacen parte de ella. Una de las empresas donde los eventos de emergencias cobran mayor importancia son los centros de servicio, en los cuales se hace uso de las tecnologías de la información para dar soporte a unos clientes y usuarios (Osiatis, 2014). Un ejemplo de centro de servicio puede ser los denominados *call centers* (Sharp & Sharp, 2003), en los cuales se presta el servicio de comunicación para soporte entre organización y cliente, con lo referente a los productos y/o servicios que ofrezca la empresa. La necesidad de las empresas en el mundo de tercerizar actividades propias y entregarlas a otras empresas especializadas en administrar actividades que tienen que ver con el contacto con los clientes, ha hecho que los centros de servicios evidencien un crecimiento global significativo (Gonzalez Vanegas, 2014).

Desde el punto de vista de la distribución física de los centros de servicio, es importante que éstos sean fácilmente accesibles y se hayan diseñado con las respectivas normas de seguridad para mitigar las consecuencias de las posibles situaciones de emergencia que se presenten. Otra característica de los centros de servicio es su amplio horario de actividades laborales, ya que generalmente las actividades de soporte deben ser prestadas en lo posible en horario 24/7, por

tanto, las locaciones donde se prestan este tipo de servicios deben estar acondicionadas para ser desalojadas en el menor tiempo posible o manejar situaciones de pánico en cualquier momento del día.

Teniendo en cuenta la diversidad de personas que trabajan en un centro de servicios y la incertidumbre de la situación de los parámetros de reacción que tiene cada persona ante cualquier emergencia (Alvear, Abreu, Cuesta, & Alonso, 2014), cobra importancia contar con espacios que cumplan las normas de seguridad y bienestar para evacuarlos eficientemente, dichas normas deben estar alineadas a la normatividad vigente en Colombia.

Desde el campo de la investigación, se han realizado diversos intentos de modelar el comportamiento humano en situaciones de emergencia (AlBattat & MatSom, 2014; G. Chen et al., 2015; Cruddas, 2013; Hou, Liu, Pan, & Wang, 2014; Larsson & Enander, 1997). En dichas investigaciones, se ha tenido en cuenta diversos escenarios de emergencia en los cuales se presentan incendios, inundaciones, eventos telúricos entre otros, donde se concluye que la representación del comportamiento de las personas es complejo, no solo por la parte de la modelación en términos matemáticos, sino también por los aspectos psicológicos que influyen en cada persona que esté en la emergencia (Pérez Arribas, Piñeiro, Cosma, & Donoso Morillo, 2005).

Al hacer una revisión de la literatura de los trabajos publicados en diferentes bases de datos bibliográficas como *Scopus*, *Science Direct* y *Emerald* entre otras, se logró evidenciar que no existen estudios publicados donde se tengan en cuenta los centros de servicio, y a nivel mundial se observan algunos intentos por modelar dicho comportamiento en distintos ambientes (AlBattat & MatSom, 2014; G. Chen et al., 2015; Cruddas, 2013; Drury et al., 2009; Kontovourkis, 2012; J. Li, Chen, & Qin, 2013; Liu, Wang, Huang, Li, & Yang, 2014; Pérez Arribas et al., 2005; Shi et al.,

2009; Tse, So, & Sin, 2006). Adicionalmente, no se encuentran registros de modelamiento de patrones de comportamiento de personas en eventos de emergencia en Colombia.

A pesar de los pocos estudios reportados en la literatura, se ha encontrado en la simulación un método útil que permite representar situaciones hipotéticas mediante aproximaciones a la realidad (H. Hoeger, 2008; H. R. Hoeger, 2010), lo que facilita realizar un estudio en el comportamiento de las personas en situación de emergencia en Colombia. De este modo, dada la evidente necesidad de estudiar el efecto de los distintos patrones de comportamiento en eventos de emergencia en centros de servicio, lo que se pretende con este trabajo es estudiar el grado de influencia del comportamiento humano en situaciones de emergencia en centros de servicio con el fin evaluar el efecto de políticas de mitigación en el marco de la normatividad colombiana.

Así, la pregunta de investigación que se pretende abordar es: ¿Cómo hacer uso de la simulación para modelar el comportamiento humano en situaciones de emergencia bajo las políticas establecidas en el marco legal colombiano? De este modo, el objetivo general de este trabajo es estudiar el grado de influencia del comportamiento humano en situaciones de emergencia en centros de servicio.

Se pretende alcanzar el objetivo general mediante el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, los cuales se detallan a continuación:

- Caracterizar los posibles comportamientos que tienen las personas en situaciones de emergencia en un centro de servicio, ya que es necesario conocer cada una de las posibles reacciones que puede tener una persona en una emergencia para luego modelar dichas reacciones.
- Construir un modelo de simulación que permita representar situaciones de emergencia en centros de servicio, ajustado a la normatividad vigente en Colombia.

- Evaluar las diferentes políticas mediante la construcción de escenarios que mitiguen los impactos negativos existentes situaciones de emergencias.

3 Revisión de la Literatura

El objetivo de la revisión de la literatura es establecer las bases de los conceptos que dan soporte al presente trabajo de grado. De igual forma se busca identificar el grado de avance del conocimiento en el campo y las brechas de investigación existentes.

En la búsqueda de bibliografía se usaron diversas cadenas de caracteres con las cuales se realizaron búsquedas con cada una de ellas, estas cadenas de caracteres fueron:

- *Human Behavior*
- *Simulation*
- *Emergency*
- *Evacuation*
- *Disaster*
- *Fire*
- Comportamiento Humano
- Simulación
- Emergencia
- Evacuación
- Desastre
- Incendio

Además de las cadenas de caracteres listadas, se usó la combinación entre ellas en los motores de búsqueda *Science Direct*, *Scopus* y *Emerald*, en los que se encontraron aproximadamente 110 archivos, de los cuales, al realizar una revisión de *abstract*, título y diversas partes del documento, se escogen 48 archivos que son importantes por su afinidad al tema de estudio.

Dadas las líneas temáticas principales de este trabajo, en esta sección se presenta los resultados de la revisión de la literatura en cuatro ejes: (1) sistemas de emergencias, (2) *call centers*, (3) comportamiento humano, (4) simulación.

3.1 Sistemas de emergencias

Una emergencia, debido a su naturaleza, se puede presentar en cualquier momento ya que es un evento imprevisto y necesita atención inmediata (*United Nations Department of Humanitarian Affairs*, 1992). Las emergencias se clasifican según su gravedad en: conato de emergencia, emergencia parcial y emergencia general (Albacete., 2014). Las emergencias además se dividen según el tiempo de acuerdo con el momento en el cual transcurre el evento que está generando la emergencia: antes, durante y después.

En el antes de dichas emergencias están las posibles acciones que se planean para emprender en un evento de emergencia, en el durante están las acciones que se toman según la reacción de las personas y los mecanismos de atención de emergencia, y en el después todas las acciones para la recuperación de las posibles consecuencias del evento (P. H. Chen & Feng, 2009; Holguín-Veras, Jaller, Van Wassenhove, Pérez, & Wachtendorf, 2012; Lovreglio, Borri, Dell'Olio, & Ibeas, 2014; Rodrigo Machado Tavares, 2010; Zhan et al., 2013).

Los eventos que generan situaciones de emergencia son diversos y pueden suceder en cualquier sitio (Allehaux & Tessier, 2002; Groner, 2016; Koo, Kim, & Kim, 2012; Olsson & Regan, 2001; Oven & Cakici, 2009; P a Thompson & Marchant, 1995; Wagner & Agrawal, 2014; Wang, Zhang, Shi, Yang, & Hu, 2015; Wilson & Oyola-Yemaiel, 2001). Estos eventos, según la *United Nations Disaster Relief Organization* (UNDRO), se denominan desastres (United Nations Department of Humanitarian Affairs, 1992). Entre el conjunto de desastres se cuentan los incendios, terremotos, erupción de volcán, entre otros.

Las consecuencias de los eventos de emergencia pueden afectar diversos entornos entre ellos el entorno laboral. Además, en dicho glosario se hace énfasis en que los términos desastre y *Catastrophe*, del idioma francés son lo mismo. En otros estudios se hace referencia a los términos desastre y catástrofe, según los autores dichos términos tienen un significado similar diferenciándose en sus características de acuerdo a la intensidad y consecuencias de las mismas, haciendo énfasis en que una catástrofe tiene más impacto que un desastre (Holguín-Veras et al., 2012).

Un desastre puede presentarse en cualquier momento y lugar (J. Chen, Wang, & Fang, 2016; Ding, Zhang, Chen, & Luh, 2014; Drabek & McEntire, 2003; Hiyoshi & Okabe, 2014; Olsson & Regan, 2001; Wang et al., 2015), incluyendo áreas de trabajo o zonas industriales. Desde la Organización Mundial de la Salud (OMS) se han elaborado planes para velar por las condiciones laborales de los trabajadores con el fin de disminuir las consecuencias de las posibles emergencias que se presentan en el área laboral (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Así como la OMS se ha pronunciado con respecto al tema de seguridad y salud en el trabajo, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) ha establecido normas que permiten regular muchos de los ámbitos que tiene que ver con el trabajo, entre ellos está el de seguridad y salud en

el trabajo, o sea en el lugar donde se desempeñe cada labor (OIT, 2016). Durante eventos de emergencia en entornos laborales es complejo determinar cuál será la reacción o de qué forma se comportarán las personas ante dicho evento (Alvear et al., 2014), por lo que cobra importancia contar con espacios que cumplan las normas de seguridad y bienestar para evacuarlos eficientemente, dichas normas deben estar alineadas a la normatividad vigente en Colombia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994; Congreso de Colombia, 1979).

3.2 *Call centers*

Los denominados *call centers* surgieron en Colombia desde la década de los noventa y el incremento de este tipo de empresas ha sido significativo a tal punto que en la actualidad existen una gran cantidad de empresas especializadas en el área de la atención telefónica, servicio que por lo general es tercerizado a empresas especializadas en dicha área que prestan sus servicios en las diferentes ciudades del país (Periódico El tiempo, 2001; Portafolio, 2013; Revista Dinero, 2014, 2015).

Teniendo en cuenta la diversidad de personas que trabajan en un *call center*, y a la incertidumbre de la situación de los parámetros de reacción que tiene cada persona ante cualquier emergencia (Alvear et al., 2014), cobra importancia contar con espacios que cumplan las normas de seguridad y bienestar para evacuarlos eficientemente, dichas normas deben estar alineadas a la normatividad vigente en Colombia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994; Congreso de Colombia, 1979).

El aspecto más importante de la seguridad de un edificio en situación de emergencia es la posibilidad de un escape seguro. Una condición importante es que sus instalaciones seguridad permiten reaccionar ante un evento de emergencia por parte de los ocupantes del edificio. En la

práctica, parece que las medidas necesarias que se toman actualmente no siempre proporcionan el apoyo que las personas en edificios en situaciones de emergencia necesitan, por tanto, comprender cómo se comportan los individuos en el caso de emergencia, es esencial si se quiere poner las medidas de seguridad en función de las necesidades de los ocupantes durante un incidente (Kobes et al., 2010).

En una situación de emergencia, sin importar el lugar, las personas suelen reaccionar de forma diferente, por lo que es necesario tener una aproximación de la forma en la cual se comportarán en tales eventos (Kobes et al., 2010; Kontovourkis, 2012; Pan, Han, Dauber, & Law, 2007; Tancogne-Dejean & Laclémence, 2016). Si se requiere evacuar un escenario tal como edificio de oficinas, puede ser de gran ayuda determinar la forma en la cual se comportarán los ocupantes de dicho edificio.

La norma colombiana es clara al definir los aspectos de seguridad, confort, comodidad y demás posibles características que debe tener el espacio de trabajo en las empresas (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a).

El espacio donde se lleven a cabo las labores propias de un *call center* deberá cumplir las normas que tienen que ver con las condiciones de acceso y seguridad en los edificios. Dichas normas señalan que en los edificios de uso público debe existir la señalización correspondiente a salidas y escaleras de uso normal y de emergencia, además de los aparatos de extinción de incendios, los sistemas o mecanismos de evacuación, la posición de accesos y servicios que tenga el edificio, el debido señalamiento de peldaños en escaleras y señalizaciones para la orientación de las personas en el interior, para cumplir con el artículo cinco de la Resolución 2400 de 1979 (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a).

Entre las principales características que exige la ley colombiana (Congreso de Colombia, 1979; Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a) para asegurar un ambiente laboral cómodo y seguro para ambientes de oficinas, entre los cuales se enmarcan los *call centers*, se detallan las siguientes:

- Las edificaciones permanentes o temporales que se utilicen como lugares de trabajo, cumplirán con las disposiciones sobre localización y construcción establecidas en esta Ley, sus reglamentaciones y con las normas de zonificación urbana que establezcan las autoridades competentes.
- Los establecimientos industriales deberán tener una adecuada distribución de sus dependencias, con zonas específicas para los distintos usos y actividades, claramente separadas, delimitadas o demarcadas y, cuando la actividad así lo exija, tendrán espacios independientes para depósitos de materias primas, elaboración, procesos especiales, depósitos de productos terminados y demás secciones requeridas para una operación higiénica y segura.
- Los pisos de los locales de trabajo y de los patios deberán ser en general, impermeables, sólidos y antideslizantes; deberán mantenerse en buenas condiciones y en lo posible, secos. Cuando se utilicen procesos húmedos deberán proveerse de la inclinación y canalización suficientes para el completo escurrimiento de los líquidos; de ser necesario, se instalarán plataformas o falsos pisos que permitan áreas de trabajo secas y que no presenten en sí mismos riesgos para la seguridad de los trabajadores.

- Las áreas de circulación deberán estar claramente demarcadas, tener la amplitud suficiente para el tránsito seguro de las personas y estar provistas de la señalización adecuada y demás medidas necesarias para evitar accidentes.
- Todas las aberturas de paredes y pisos, foros, escaleras, montacargas, plataformas, terrazas y demás zonas elevadas donde pueda existir riesgo de caídas, deberán tener la señalización, protección y demás características necesarias para prevenir accidentes.
- En las edificaciones de varios niveles existirán escaleras fijas o rampas con las especificaciones técnicas adecuadas y las normas de seguridad que señale la reglamentación de la presente Ley.
- Todos los locales de trabajo tendrán puertas de salida en número suficiente y de características apropiadas para facilitar la evacuación del personal en caso de emergencia o desastre, las cuales no podrán mantenerse obstruidas o con seguro durante las jornadas de trabajo. Las vías de acceso a las salidas de emergencia estarán claramente señalizadas.
- Las empresas dedicadas a actividades extractivas, agropecuarias, de transporte y aquellas que por su naturaleza requieran sitios de trabajo distintos a edificaciones, deberán someterse a los requisitos que al respecto establezca la reglamentación de la presente Ley.
- La superficie de pavimento por trabajador no será menor de dos (2) metros cuadrados, con un volumen de aire suficiente para 11,5 metros cúbicos sin tener en cuenta la superficie y el volumen ocupados por los aparatos, equipos, máquinas, materiales, instalaciones, etc.

- No se permitirá el trabajo en los locales cuya altura del techo sea menor de tres (3) metros, cualquiera que sea el sistema de cubierta.
- Los corredores que sirvan de unión entre los locales, escaleras, etc., y los pasillos interiores de los locales de trabajo que conduzcan a las puertas de salida, deberán tener la anchura precisa teniendo en cuenta el número de trabajadores que deben circular por ellos, y de acuerdo a las necesidades propias de la industria o establecimiento de trabajo. La anchura mínima de los pasillos interiores de los locales de trabajo será de 1,20 metros.
- La distancia entre máquinas, aparatos, equipos, etc., será la necesaria para que el trabajador pueda realizar su labor sin dificultad o incomodidad, evitando los posibles accidentes por falta de espacio, no será menor en ningún caso, de 0,80 metros.
- Cuando las máquinas, aparatos, equipos, posean órganos móviles, las distancias se contarán a partir del punto más saliente del recorrido de dichos órganos. Alrededor de los hogares, hornos, calderas o cualquier otro equipo que sea un foco radiante de energía térmica (calor), se dejará un espacio libre de 1,50 metros.
- Todos los locales de trabajo deberán tener una cantidad suficiente de puertas y escaleras, de acuerdo con las necesidades de la industria. Las escaleras que sirvan de comunicación entre las distintas plantas del edificio ofrecerán las debidas condiciones de solidez, estabilidad y seguridad.

Se procurará que sean de materiales incombustibles, espaciosas y seguras, y deberán estar provistas de pasamanos a una altura de 0,90 metros y de barandilla, que evite posibles caídas.

- Los locales de trabajo contarán con un número suficiente de puertas de salida, libres de todo obstáculo, amplias, bien ubicadas y en buenas condiciones de funcionamiento, para facilitar el tránsito en caso de emergencia. Tanto las puertas de salida, como las de emergencia deberán estar construidas para que se abran hacia el exterior, y estarán provistas de cerraduras interiores de fácil operación. No se deberán instalar puertas giratorias; las puertas de emergencia no deberán ser de corredera, ni de enrollamiento vertical.

Por otro lado, se debe velar por la seguridad de las personas que transitan en dichos espacios ya sea que pertenezcan o trabajen en dicho espacio o esté de tránsito por el lugar, entre dichas medidas se debe tener en cuenta los pasillos y la cantidad de accesos que tenga el lugar siempre velando por la seguridad y comodidad de tránsito o acceso a trabajadores y/o visitantes como lo muestra la norma en el artículo seis (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a).

Por otro lado, existe una norma internacional la cual reglamenta de forma más precisa todo lo que tiene que ver con las características que deben tener los sitios de trabajo. Esta norma es el Código de seguridad humana realizado por *National Fire Protection Association* (NFPA), mediante la cual se establecen un conjunto de normas altamente detalladas para todos los aspectos que deben tener las locaciones en las cuales interactúen seres humanos (National Fire Protection Association, 2000)

El código de seguridad humana reglamenta de forma minuciosa todos los aspectos en cuanto a la seguridad de los espacios en los cuales puede habitar el hombre independientemente la función que éste realice en dichos espacios y tiene en cuenta las dimensiones de cada lugar, los

materiales con que deben ser construidos dichos espacios, capacidad del espacio en cuanto a cantidad de personas entre otros.

Para los *call center* que son espacios de oficinas establece los lineamientos de capacidad, dimensiones, y demás características propias de dicho espacio, se alinea a la norma colombiana en éstos aspectos, cabe anotar que dicha norma tiene en cuenta principalmente los eventos de incendio.

3.3 Comportamiento humano

Aunque existen autores que afirman que comportamiento humano y conducta humana son conceptos diferentes, son más los autores que toman aseveran que dichos términos son sinónimos, por lo que para el presente trabajo se tomará el término comportamiento humano como único concepto (Alles, 2015; Bleger, 1969)

El comportamiento de las personas se define como la forma de actuar frente a una determinada situación, y se esperaría que dicho comportamiento dependa de la formación académica del individuo, experiencias vividas, entorno en el cual se desempeña entre muchos otros factores que aportan cualidades a dicho comportamiento (Candamil & Grajales S., 1998).

Es importante establecer el papel que juega en el ser humano la conducta o comportamiento humano, es propia de cada ser humano y que en cierta forma se debe a las experiencias que tiene el hombre en su vida, tal como refiere Candamil (1998) en su definición de conducta dice que es la respuesta de un organismo al medio ambiente, una reacción a estímulos externos.

La respuesta de un animal ante un estímulo se limita por factores físicos y el grado de desarrollo de su sistema nervioso, por lo que está regida por procesos evolutivos que ha formado

la especie a la que pertenece. Por otra parte, el hombre es adaptable y puede variar sus respuestas para entrar en relación con una variedad de estímulos mayor (Candamil & Grajales S., 1998), lo que hace que en situaciones de emergencia las personas puedan reaccionar de diversas formas haciendo impredecible el resultado de las consecuencias que se puedan originar por dicha reacción.

Aunque el hombre actúa de acuerdo con las experiencias y conocimiento adquirido, cabe decir también que hay situaciones en la que cada ser humano actúa de forma no determinada, es decir, presenta actuaciones anormales al diario vivir, debido a situaciones que son extraordinarias muy poco usuales a su cotidianidad. El instinto es el que juega un papel muy importante en dicho tipo de situaciones, y es posible que sea complejo poder determinar el comportamiento de las personas cuando actúan por instinto, el cual se define como *“una disposición natural, interior, determinada y automática, común a todos los individuos de una misma especie, independientemente de la educación, de la reflexión y de la imitación”* (Candamil & Grajales S., 1998, p. 23).

El comportamiento instintivo no debe nada a la experiencia, aunque a veces en alguna medida puede modificarse por el aprendizaje. El comportamiento instintivo es innato, ya está presente al nacer el individuo. En muchos aspectos, el instinto es la característica más sobresaliente de la conducta animal, y es importante tener en cuenta este factor que en cierta forma es aleatorio, debido a lo impredecible que se torna en situaciones de riesgo, esta es una de las razones por las cuales las situaciones de emergencia son de naturaleza estocástica (Abreu et al., 2011) lo que hace que exista alta complejidad para reproducirlas en modelos.

El interés desde la ciencia por caracterizar el comportamiento de las personas en situaciones de emergencia data desde la década de 1950 hasta la actualidad (Fry & Binner, 2015; F. Huo, Song, Chen, Liu, & Liew, 2016; F. Z. Huo, Song, Liu, Jiang, & Liew, 2014; Joo et al., 2013;

Lovreglio, Fonzone, dell'Olio, & Borri, 2016; Pan, Han, Dauber, & Law, 2007). La investigación de desastres ha avanzado a través del tiempo, a tal punto que el hombre ha llegado a utilizar la investigación más sofisticada posible y a realizar diseños y técnicas de análisis a través de la utilización de múltiples etapas, cada vez más especializados y complejos incluyendo modelos multivariados para determinar los procesos clave de la humana la respuesta en casos de desastre (Kuligowski & Mileti, 2009).

Diversos estudios hacen referencia al comportamiento de las personas en el transcurso de un evento de emergencia que se puede presentar en diversos escenarios (Jeon, Kim, Hong, & Augenbroe, 2011; Koo et al., 2012; Nishino, Tanaka, & Hokugo, 2012; Pérez Arribas et al., 2005; Ronchi, Kuligowski, Peacock, & Reneke, 2014; Shields & Boyce, 2000; Zarbonis & Marmaras, 2007). Otros lo hacen después de dicho evento, porque consideran importante el movimiento de las personas inmediatamente después del suceso, todo basado en el análisis de videos de eventos reales (Bernardini, D'Orazio, Quagliarini, & Spalazzi, 2014; Wagner & Agrawal, 2014).

El uso de organismos modelo como sustitutos para los seres humanos es un lugar común en la investigación médica, pero no en la ingeniería, aun así se reporta en la literatura intentos de comparación del movimiento de las personas con el de algunos animales como las hormigas (Shiwakoti, Sarvi, & Burd, 2014), con el fin de probar si las multitudes en pánico muestran rasgos genéricos independientemente de la especie.

En la búsqueda bibliográfica realizada para el presente trabajo, no se encontraron estudios documentados en los cuales se modele el comportamiento de las personas en situaciones de emergencia en Colombia, en cambio solo se encuentran a nivel mundial algunos intentos por modelar dicho comportamiento (Bernardini et al., 2014; G. Chen et al., 2015; Cruddas, 2013; Groner, 2016; Joo et al., 2013; Kuligowski & Mileti, 2009; C. Li, Li, Hu, & Hou, 2014; Lovreglio,

Fonzone, dell'Olio, & Borri, 2016; Oven & Cakici, 2009; Pires, 2005; Tan et al., 2015; Wagner & Agrawal, 2014; Wang et al., 2015).

3.4 Simulación

La simulación es una de las herramientas de la ciencia que ha realizado diversos aportes porque permite replicar situaciones del mundo real con el fin de estudiar diversos fenómenos y en diferentes áreas de la ciencia, tanto así, que de acuerdo a la naturaleza del fenómeno que se esté estudiando, la simulación también ha evolucionado sus herramientas para adecuarse dicho fenómeno (N. Gilbert, 2004; N Gilbert, 1994; Koo et al., 2012; C. Li et al., 2014; Pan et al., 2007; Pérez Arribas et al., 2005; Peter Thompson, Nilsson, Boyce, & McGrath, 2015; Wagner & Agrawal, 2014; Wang et al., 2015; Wei, 2012; Zhang, Li, & Hadjisophocleous, 2014).

Como se observa en la Figura 1, algunos de los tipos de problemas que se estudian requieren un determinado nivel de abstracción, lo que hace que la simulación se adapte a ellos, permitiendo tener una aproximación en el área computacional de los fenómenos que se presentan en la realidad.

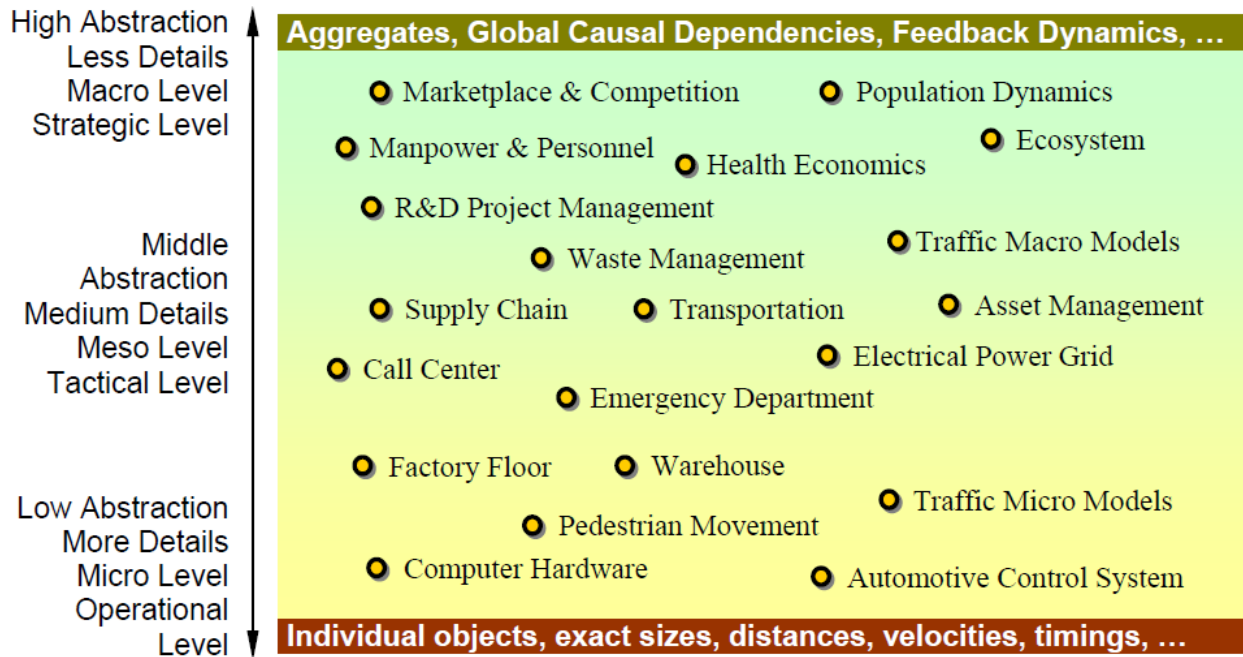


Figura 1 Tipos de problemas Fuente: (Borshchev & Filippov, 2004)

Para poder comprender lo que sucede en situaciones de pánico, es necesario usar herramientas que permitan replicar de manera aproximada la situación que es de objeto de estudio, porque bajo la replicación de una determinada situación puede estar la solución a un determinado problema (Pérez Arribas et al., 2005), una de las herramienta que permite hacerlo es modelación, la cual permite abstraer de la realidad determinados eventos los cuales se deben analizar y comprender su naturaleza y propiedades, una vez que se ya se tenga el modelo, se le da paso a la simulación. Desde la simulación es posible representar la realidad de acuerdo a ciertas características de la misma, por tanto, se cree apropiado implementar un modelo en el cual se esboce de la forma más detallada posible las características de las personas cuando se presentan situaciones de emergencia que se desencadenan en pánico.

Hay diversas definiciones de modelo, como por ejemplo “*se encuentra aquel que asocia el concepto a una representación o un esquema; aquello que se toma como referencia para tratar de producir algo igual. En este sentido, el modelo es un arquetipo*” (Ariño, 2013, p. 1), donde se

aprecia que el modelo es una parte fundamental para comprender y representar una determinada realidad y de esta forma poder analizarla y si es posible, poder intervenir sobre ella para conseguir resultados con los cambios que se planteen.

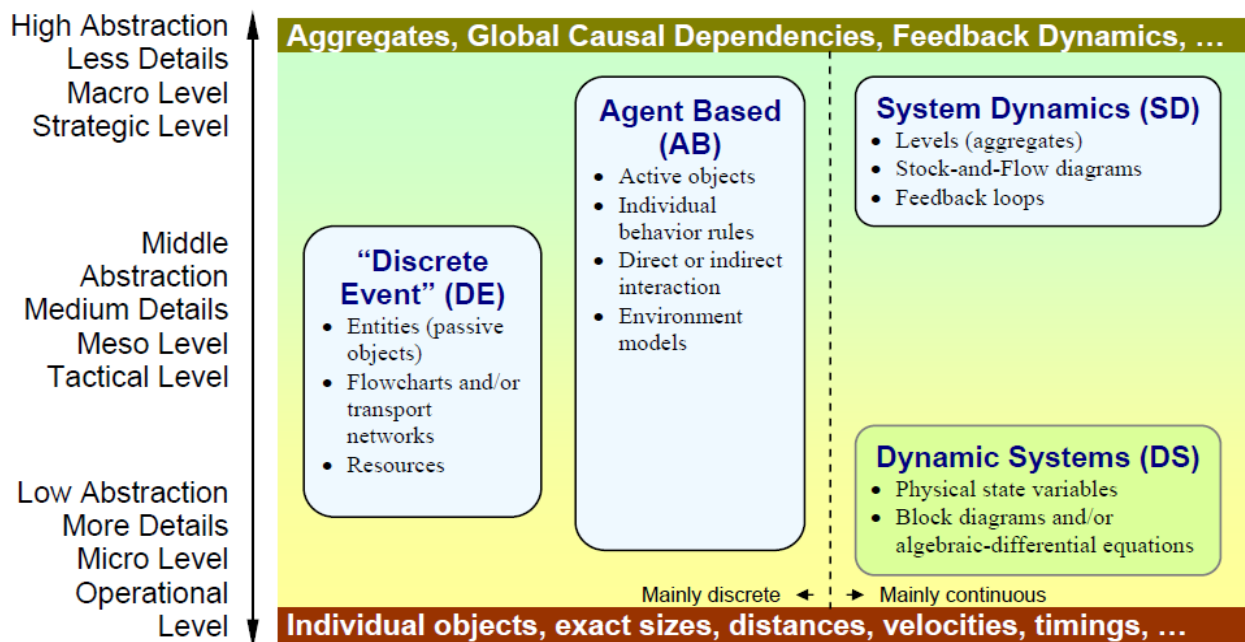


Figura 2 Tipos de Simulación Fuente: (Borshchev & Filippov, 2004)

En la Figura 2 ya se observa que dentro de la simulación existen diferentes formas de representar la realidad, dando paso a los diferentes enfoques como la simulación basada en agentes y la dinámica de sistemas donde cada una de ellas estudia los eventos discretos y continuos respectivamente.

Hay tres partes claves a validar: los supuestos, los valores de los parámetros de entrada y las distribuciones y los valores de salida y conclusiones. Para validarlos hay diferentes metodologías, entre las cuales están: la intuición de expertos, las mediciones en el sistema real y los resultados teóricos, comparando contra un modelo previamente validado. Por medio de los

expertos es práctico y sencillo validar resultados, los puntos importantes son discutidos y aclarados, se recomienda validar durante el desarrollo del proyecto y no esperar al final.

Por otro lado, hacer comparaciones con el sistema real es también preferible para validar el modelo, aunque no siempre es posible, y la estadística también puede hacer aportes en este aspecto. Algunas veces es posible modelar analíticamente el sistema utilizando supuestos, donde los resultados que se tienen de a teoría se pueden comparar con los que arroja el modelo (H. R. Hoeger, 2010).

Para verificar un modelo se usan diferentes técnicas, de entre las cuales se destacan:

- Diseño modular de arriba abajo: El modelo debe ser estructurado en módulos denominados subrutinas, funciones o procedimientos donde los cuales se comunican por interfaces definidas (variables de entrada y salida). Cuando se define la interface y la función del módulo, este puede ser desarrollado, depurado y mantenido independientemente.
- La depuración es otra técnica la cual consiste en adicionar chequeos y salidas adicionales para detectar errores o comportamientos no esperados.
- Explicación de los módulos: Consiste en explicar el código a los demás integrantes del grupo.
- Otra forma de verificación es correr casos simplificados, correr casos sencillos donde sea fácil su verificación. Entre otras técnicas se pueden mencionar las gráficas de líneas, pruebas de continuidad consistencia y degeneración y la independencia de las semillas.
- Valores extremos, en la cual se prueba el modelo programado con los máximos y mínimos valores que puedan tomar las variables del modelo, esto con el fin de corroborar

el comportamiento de dicho modelo con los valores mencionados, permitiendo realizar comparaciones para corregir el funcionamiento del modelo si fuera a lugar.

La simulación se define como un tipo particular de modelado, construir un modelo es la forma de reconocer el mundo, es una simplificación (más pequeña, menos detallada, menos compleja) de una estructura o sistema, más relevante para las ciencias sociales son los modelos estadísticos que se utilizan para predecir los valores de las variables dependientes (Nigel Gilbert & Troitzsch, 1999).

Existen distintos tipos de simulación los cuales se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1. Síntesis de los tipos de Simulación

| Tipo | Definición |
|----------------------------------|---|
| Monte Carlo | Simulación estática o sin eje de tiempo. Usada para modelar fenómenos probabilísticos independientes del tiempo o para evaluar expresiones no-probabilísticas con métodos probabilísticos. |
| Simulación por trazas | Una traza es un registro de eventos ordenados por tiempo de un sistema real. Usadas para analizar diferentes alternativas. Las trazas deben ser independientes del sistema bajo estudio |
| Simulación por eventos discretos | Es el tipo de simulación que usa un modelo de estado discreto, en donde el estado cambia solo en momentos específicos de tiempo, es decir, cuando sucede un evento determinado. Este tipo de simulación tiene: un manejador de eventos que es el que mantiene los eventos que están por suceder, un reloj de simulación y un mecanismo de avance de tiempo, variables de estado del sistema, rutinas de eventos, rutinas de entrada, generador de reportes entre otros. |
| Simulación continua | Las variables de estado son continuas, descritos por medio de ecuaciones diferenciales y algebraicas. Estas variables de estado generalmente cambian en forma continua mientras la simulación avanza. |

Fuente: Construcción propia con base a Hoeger (2008).

Al igual que los modelos estadísticos, las simulaciones tienen *insumos* o *entradas* que se introducen por el investigador y *salida* que se observan como las corridas de simulación, que representan las variables de estudio o lo que el investigador está interesado en conocer, dependiendo del comportamiento que se observa en dichas variables de salida.

Uno de los propósitos de la simulación es comprender mejor el mundo social, o sea la forma en cómo se comportan las personas cuando están en una determinada situación, por lo general interactuando con otras, o elementos específicos del entorno. Otro uso de la simulación es para la predicción. Si se puede desarrollar un modelo que reproduce fielmente la dinámica de algunos comportamientos, entonces es posible simular el paso del tiempo y por lo tanto utilizar el modelo para *mirar hacia el futuro*, como por ejemplo en el mundo de los negocios (G. Gilbert & Troitzsch, 2005).

Por otra parte, se usa la simulación para desarrollar herramientas con el fin de reemplazar las capacidades humanas ya sea para disminuir costos de mano de obra o para salvaguardar la vida del trabajador, también es usada para entrenar (simuladores de vuelo, aprendizaje de conducción, etc.), también sirve de entretenimiento donde los juegos han ocupado un lugar importante en el mundo social.

Como se observa en la Figura 3, la metodología que se sigue en un estudio de simulación es la secuencia de una serie de pasos con las cuales se busca cuando se realiza un estudio de simulación, lo que da a entender que el proceso que se sigue en la simulación es riguroso, dándole credibilidad a los estudios basados en la misma.



Figura 3 Pasos en un estudio de simulación Adaptado de (Banks, Carson, & Nelson, 2000)

La razón principal de los científicos sociales cada vez más interesados en la simulación por ordenador es su potencial para ayudar en el descubrimiento y la formalización de nuevas ideas e hipótesis.

La simulación hace que sea posible representar situaciones de pánico y experimentar en dichas representaciones para poder obtener información del comportamiento de las personas, es necesario contar con un modelo con el cual se pueda determinar un punto de partida para la simulación de eventos. Una vez establecido un modelo, el siguiente paso es la verificación de la validez del mismo mediante la experimentación, donde por medio de la simulación se realizan diversas pruebas para tal fin. Una vez validado, el modelo permitirá identificar los factores que influyen en el comportamiento de las personas.

En muchos ámbitos de la ciencia es necesario replicar determinados eventos para poder estudiar y analizar resultados (Montgomery, 2004). Para determinar el comportamiento de las personas en eventos de emergencia es necesario obtener replicar o tener una aproximación de

dichos eventos, ya que es necesario experimentar validando los pequeños cambios que se realicen en las variables que hacen parte del escenario (Bernardini et al., 2014; Purser & Bensilum, 2001).

Se ha encontrado en la simulación un método útil que permite representar situaciones hipotéticas mediante aproximaciones a la realidad (Abreu et al., 2011; Drury et al., 2009; Gwynne, Galea, Owen, Lawrence, & Filippidis, 1999; H. Hoeger, 2008; Hughes, Newstead, Anund, Shu, & Falkmer, 2014; Joo et al., 2013; Koo, Kim, Kim, & Christensen, 2013; Liu et al., 2014; Pérez Arribas et al., 2005; Tan et al., 2015; Wagner & Agrawal, 2014)., lo que permitiría realizar un estudio en el comportamiento de las personas en situación de emergencia en Colombia.

Han surgido varios modelos para describir el comportamiento del pánico de las personas en situaciones de emergencia (AlBattat & MatSom, 2014; Cruddas, 2013; Larsson & Enander, 1997) hecho que demuestra el interés de la comunidad científica en el tema de manejo de emergencias en diversas áreas del conocimiento.

Algunos científicos modelaron la dinámica de propagación de pánico en las personas en una emergencia real mediante la aplicación del método de la función de Lyapunov y la propiedad de Poincarè-Bendixson y los resultados obtenidos en dicho estudio se validan numéricamente. La importancia del estudio radica en que es posible vislumbrar de forma numérica el comportamiento de los fenómenos que son objetos de estudio, lo que permite tomar medidas para disminuir las consecuencias negativas que puedan surgir en situaciones de emergencia (G. Chen et al., 2015).

Según Pérez Arribas et al. (2005) crear un modelo es un proceso complejo no solamente por la modelización matemática sino también por la parte psicológica que influye en cada persona que se encuentre en situación de peligro y que deben tenerse en cuenta para el modelo, y aun así se han logrado avances importantes encaminados a determinar comportamientos de las personas en situaciones de peligro. El estudio que se cita fue enfocado para emergencias en buques, en otros

escenarios es posible que ocurran eventos similares. Por otro lado, en este estudio también tienen en cuenta la diversa gama de personas que pueden estar en un escenario de emergencia y con respecto a dichas actitudes se desarrollarán.

Diversos escenarios se han estudiado para poder establecer en ellos estrategias de evacuación efectivas, (Alvear et al., 2014) tratan en su estudio el caso de la evacuación de trenes, en el cual se establece la necesidad de estudiar los diversos factores para el modelado estocástico o determinístico con el fin de analizar el evento de estudio.

La predicción del comportamiento humano en eventos complejos y de cierta forma inciertos como lo es una situación de emergencia es difícil, por lo tanto así como se usan simulaciones basadas en modelos numéricos como el estudio anterior, también se ha tratado de realizar esa misma tarea usando autómatas finitos, como por ejemplo un estudio donde se usan dichos autómatas para simular eventos de emergencia como los incendios (Joo et al., 2013).

Dependiendo de la intensidad del evento de emergencia, puede que en la situación de emergencia se puedan presentar casos de competición vs cooperación (Drury et al., 2009), donde usan técnicas basadas en juego de roles combinados con grafismos computacionales para incluir a participantes en escenarios de emergencia, todo en juego de ordenador donde todas las variables pudieron ser manipuladas y medidas, y se observa que dependiendo de la magnitud de la emergencia, es posible que se presente competencia o cooperación.

(Kontovourkis, 2012) presenta un modelo informático que simula el comportamiento humano mediante simples reglas de interacción entre partículas. El estudio trata del diseño de escenarios físicos en el campo de la arquitectura denominado *fuera virtual*, ya que la interacción entre las partículas y el modelado del comportamiento de movimiento humano se obtienen con el uso de diferentes fuerzas que actúan sobre cada partícula, donde cualquier cambio en las reglas de

interacción influyen sensiblemente arrojando diferentes resultados, permitiendo a los investigadores investigar diversas posibilidades de diseño y generar diversos casos de estudio.

Una vez se elabore la teoría del comportamiento de forma robusta y que esté validada con la rigurosidad que implica este tipo de estudios, al incorporarla a los modelos de evacuación, es posible que estas herramientas empiecen a predecir el comportamiento en los inicios de la simulación, avanzando de forma significativa en el objetivo de prevenir y mitigar desastres (Kuligowski & Mileti, 2009). Para lograr una teoría de predicción adecuada del comportamiento de las personas en casos de emergencias, es necesario que se incluya la búsqueda de información, procesamiento de datos, preparación de evacuación e información de dicho plan, darlo a conocer. En dicho estudio se describen factores que influyen en las personas para tomar acciones durante la evacuación y se proponen investigaciones futuras para mejorar el modelo de predicción.

Un factor que incide de forma directa en las situaciones de emergencia es la fatiga, ya que dicha fatiga en cualquier individuo hace que no responda de forma adecuada (obedeciendo las normas de evacuación) en casos de emergencia (Koo, Kim, & Kim, 2014). También se han realizado estudios donde se mide la velocidad de evacuación de diferentes espacios con personas con y sin fatiga en los cuales, estadísticamente se observan resultados con diferencias significativas, especialmente si la ruta de evacuación es más larga y compleja con obstáculos.

El pánico generado por las emergencias o por el rumor de alguna emergencia se estudia desde diversos puntos de vista (L. Huo, Huang, & Fang, 2011), se presenta un modelo el cual describe de manera sencilla la interacción entre el rumor y las acciones de las autoridades en situación de emergencia, donde por medio del uso de ecuaciones, se estableció que es posible minimizar el efecto social negativo del esparcimiento de rumor en el control de la situación.

4 Estado del Arte

4.1 Síntesis: revisión crítica de la literatura

Para realizar el análisis de los artículos encontrados para el presente estado del arte, se realizó una tabla con el fin de facilitar dicha tarea. En el análisis se tuvieron seis campos con el fin de clasificar la información encontrada como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación de la Bibliografía encontrada

| Año | Autores | Tipo de evento de emergencia | Entorno | Tipo de análisis | Tipo de comportamiento | Tema |
|------------|---|-------------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1995 | Thompson & Marchant | No específica | Edificios de oficinas | Optimización | Racionalidad | Simulación |
| 1995 | Guylene Proulx | Incendio | Edificios | Heurística | Diversos comportamientos | Simulación |
| 1999 | Gwynne, Galea, Owen, Lawrence, Filippidis | Diversos tipos de eventos | Edificios | Revisión de literatura | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2000 | Shields & Boyce | No específica | Tiendas menores | Múltiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Comportamiento humano |
| 2001 | Olsson & Regan | Incendio | Universidades | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2001 | Wilson & Oyola-Yemaiel | Diversos tipos de eventos | No específica | Múltiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Emergencia, comportamiento humano |
| 2001 | Purser & Bensilum | Incendio | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2002 | Allehaux & Tessier | Diversos tipos de eventos | Edificios de oficinas | Estadístico | N/A | Simulación |
| 2003 | Drabek & McEntire | No específica | No específica | Revisión de literatura | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2006 | Pan, Han, Dauber, Law | Diversos tipos de eventos | Edificios | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2007 | Zarboutis & Marmaras | Accidente | Estación, tren | Metaheurística | Cooperación (cognitivo) | Simulación |

| Año | Autores | Tipo de evento de emergencia | Entorno | Tipo de análisis | Tipo de comportamiento | Tema |
|------------|--|-------------------------------------|-------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 2009 | Kuligowski & Dennis | Terrorismo | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Emergencia, comportamiento humano |
| 2009 | Oven & Cakici | Incendio | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2009 | Po-Han Chen FengFeng | No especifica | Edificios de oficinas | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2009 | Hoogendoorn, Jonker, Treur Verhaegh | No especifica | No especifica | Metaheurística | N/A | Simulación |
| 2010 | Kobes Helsloot, deVries Post | Incendio | Edificios de oficinas | Revisión de literatura | N/A | Comportamiento humano |
| 2010 | Tavares R. M | Incendio | Edificios | Heurística | Racionalidad | Simulación |
| 2010 | Vorst H. C. M | Diversos tipos de eventos | Diversos escenarios | Psicológico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2011 | Gyu-Yeob Jeon, Ju-Young Kim, Won-Hwa Hong, Godfried Augenbroe | Incendio | Instalación subterránea | Heurística | N/A | Comportamiento humano |
| 2011 | Sagun, Bouchlaghem Anumba | Incendio | Edificios | Heurística | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2012 | Chia-Hao Wu, Liang-Chien Chen | Incendio | Edificios de oficinas | Metaheurística | Racionalidad | Simulación |
| 2012 | Tomoaki Nishino Takeyoshi Tanaka .Akihiko Hokugo | Terremoto | Diversos escenarios | Estadístico | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2012 | Zheng Wei | Incendio | Edificios | Optimización | Asociado al software (caja negra) | Simulación |
| 2012 | Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim | Diversos tipos de eventos | Edificios | Revisión de literatura | N/A | Simulación |
| 2013 | Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, Keith M. Christensen | No especifica | Edificios de oficinas | Heurística | Racionalidad | Simulación |
| 2013 | Xin Zhan, Lizhong Yanga, Kongjin Zhua, Xiaoming Kongb, Ping Raoa, Taolin Zhanga | No especifica | Escuela | Estadístico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |

| Año | Autores | Tipo de evento de emergencia | Entorno | Tipo de análisis | Tipo de comportamiento | Tema |
|------------|--|-------------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------|
| 2013 | Nikolai W. F. Bode, Edward A. Codling | Diversos tipos de eventos | No especifica | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2014 | Xia Zhang n, Xiao Li, George Hadjisophocleous | Incendio | Edificios de oficinas | Estadístico análisis de riesgo | N/A | Simulación |
| 2014 | Ruggiero Lovreglio , Dino Borri , Luigi dell'Olio , Angel Ibeas | Incendio | No especifica | Estadístico | Caso de estudio | Simulación |
| 2014 | Marco D'Orazio, Luca Spalazzi, Enrico Quagliarini, Gabriele Bernardini | Terremoto | Areas publicas | Estadístico | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2014 | Hisamoto Hiyoshi Atsuyuki Okabe | Terremoto | Universidades | Múltiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Comportamiento humano |
| 2014 | Ning Ding, Hui Zhanga, Tao Chena, Peter B. Luh | Incendio | Edificios | Heurística | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2014 | F. Z. Huoa,b, W. G. Songa, X. D. Liua, Z. G. Jiangc, K. M. Liewb | Incendio | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2014 | Gabriele Bernardini Marco D'Orazio, Enrico Quagliarini, Luca Spalazzi | Terremoto | Diversos escenarios | Múltiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Simulación |
| 2014 | Neal Wagner, Vikas Agrawal | Incendio | Diversos escenarios | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2014 | Enrico Ronchi a, Erica D.Kuligowski , Richard D.Peacock, PaulA.Reneke | No especifica | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2014 | Lei Houa, Jian-Guo Liu, Xue Pana, Bing-Hong Wanga,b | Diversos tipos de eventos | No especifica | Múltiples acercamientos o aproximaciones | Racionalidad | Comportamiento humano |
| 2014 | Nirajan Shiwakoti, Majid Sarvi, Martin Burd | No especifica | No especifica | Múltiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Comportamiento humano |

| Año | Autores | Tipo de evento de emergencia | Entorno | Tipo de análisis | Tipo de comportamiento | Tema |
|------------|---|-------------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------|
| 2015 | Peter Thompson, Daniel Nilsson, Karen Boyce, Denise McGrath | No especifica | No especifica | Multiples acercamientos o aproximaciones | N/A | Simulación |
| 2015 | Lu Tan, Mingyuan Hu, Hui Lin | Incendio | Edificios de oficinas | Heuristica | Diversos comportamientos | Simulación |
| 2015 | Jinhuan Wang,, Lei Zhangb, Qiongyu Shib, Peng Yangb, Xiaoming Huc | Diversos tipos de eventos | Areas publicas | Multiples acercamientos o aproximaciones | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2016 | Norman E.Groner | Incendio | Edificios de oficinas | Modelo de decision | Racional + cooperativo | Simulación |
| 2016 | Manuela Tancogne-Dejean, PatrickLaclémence | Incendio | Edificios de oficinas | Psicológico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |
| 2016 | Hendrik Vermuyten, Jeroen Beliën, Liesje De Boeck, Genserik Reniers, Tony Wauters | No especifica | Edificios de oficinas | Revisión de literatura | N/A | Simulación |
| 2016 | Ruggiero Lovreglio, Achille Fonzone, Luigi dell'Olio, Dino Borri | Diversos tipos de eventos | No especifica | Optimizacion estadistico | Racionalidad | Comportamiento humano |
| 2016 | Juan-juan Chena, Xiao-gang Wangb, Zheng Fanga | Incendio | Edificios | Metaheuristica | Racionalidad | Comportamiento humano |
| 2016 | John Fry, Jane M .Binner | Diversos tipos de eventos | No especifica | Analisis matemático | Diversos comportamientos | No es claro |
| 2016 | Feizhou Huo, Weiguo Song, Lei Chen , Chi Liu, K.M. Liew | Diversos tipos de eventos | Edificios | Estadístico | Diversos comportamientos | Comportamiento humano |

Con el objetivo de brindar un esquema que permita sintetizar los resultados encontrados en la búsqueda de la literatura, se presenta la Figura 4. Como se observa, en la síntesis se tuvo en

cuenta los siguientes campos: tipo de análisis, tipo de emergencia, entorno y tipos de comportamiento.

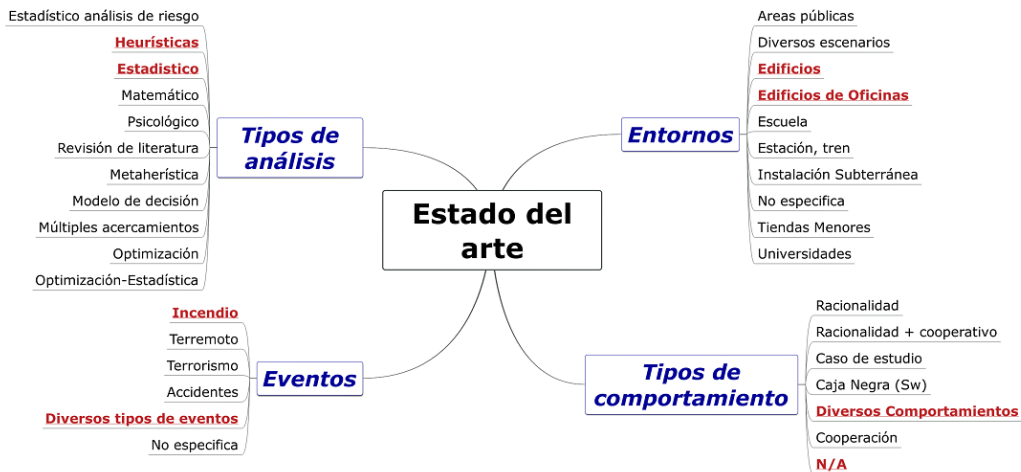


Figura 4 Temas estado del arte. Fuente: (construcción propia)

En la Figura 4, se observan los temas principales en los cuales se encasillan los estudios encontrados que conforman el presente estado del arte clasificado de acuerdo con el énfasis de los estudios: tipo de análisis, eventos, entornos, tipos de comportamiento. En la misma figura también se destacan los dos subtemas que se encontraron en cada énfasis. Los estudios por lo general realizan análisis estadísticos acerca de los eventos de emergencia enfocándose, principalmente en incendios, en entornos que por lo general son edificios donde se analizan diversos comportamientos.

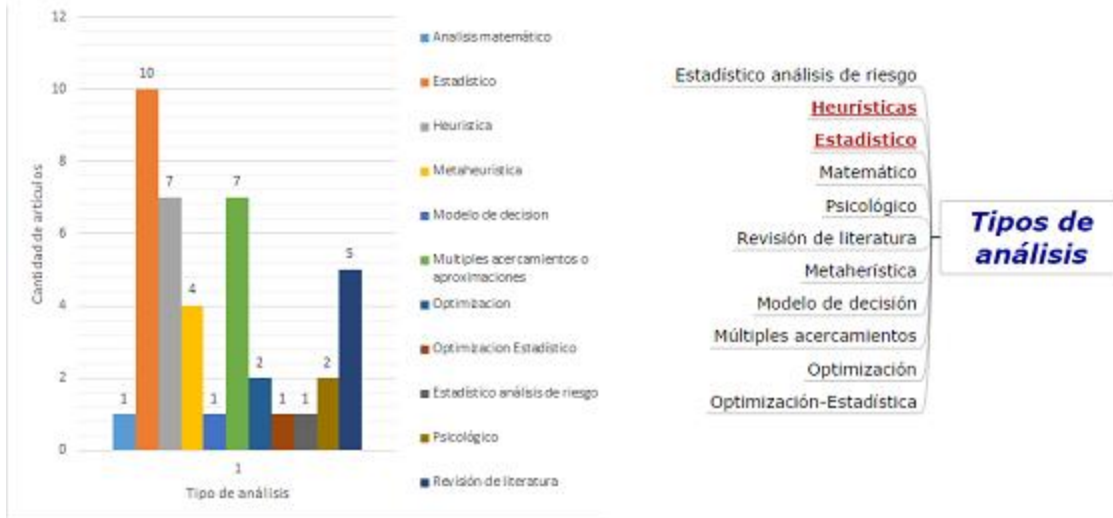


Figura 5 Tipos de análisis del estado del arte. Fuente: (construcción propia)

En la figura 5 se muestran los diferentes tópicos en los cuales se dividen los tipos de análisis encontrados en el estado del arte. Como se observa, los principales análisis de los estudios encontrados son de tipo estadístico, heurístico y de múltiples acercamientos o aproximaciones (Drabek & McEntire, 2003; Hughes et al., 2014).



Figura 6 Tipos de eventos del estado del arte. Fuente: (Construcción propia)

Los tipos de eventos encontrados en la realización del estado del arte están resumidos en la Figura 6, donde se ve claramente que el mayor enfoque que han tenido los diferentes autores

son los incendios (Kuligowski, 2009; Nishino et al., 2012; Tan et al., 2015; Wu & Chen, 2012). También se encontraron estudios donde se realizan análisis de diferentes tipos de eventos en un mismo estudio. Por otro lado, también se encuentran análisis enfocados al terrorismo y otros a desastres naturales como los terremotos.

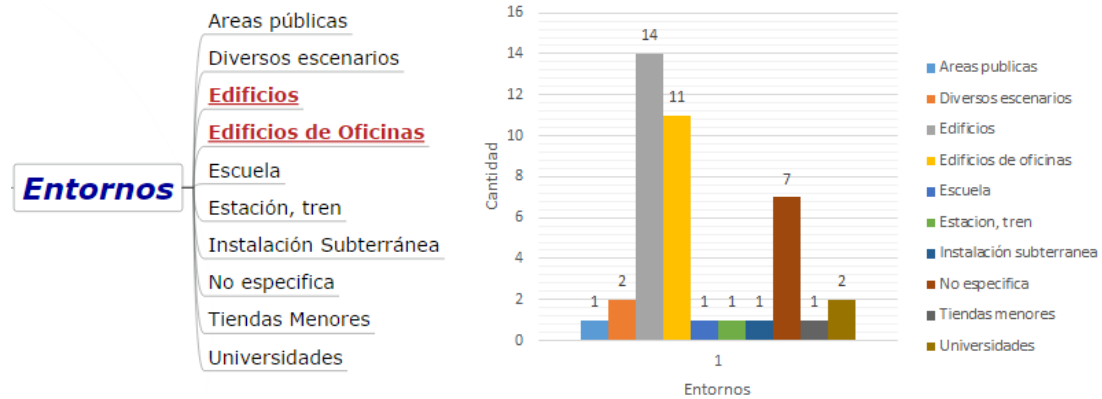


Figura 7 Tipos de entornos del estado del arte. Fuente: (construcción propia)

Los entornos que se encontraron en los artículos que componen el estado del arte son diversos, donde se cuentan áreas públicas, edificios en general (Tan et al., 2015; Rodrigo Machado Tavares, 2010), edificios de oficinas, escuelas entre otros como se observa en la Figura 7. En cantidad los estudios se enfocan a los edificios y edificios de oficinas, donde se miran los eventos de emergencias en dichos entornos, en otros de los estudios no se especifica o no es claro el entorno al cual se está enfocando el estudio, algunos de los estudios miran diversos escenarios en los cuales se observan las teorías que se están estudiando en el momento de acuerdo al autor que está encargado del respectivo trabajo de investigación.



Figura 8 Tipos de comportamiento del estado del arte. Fuente: (construcción propia).

Los tipos de comportamiento en los cuales se enfocan los estudios consultados para el presente trabajo investigativo se enfocan en general en diversos comportamientos, es decir, se observa que los autores mencionan comportamientos varios posibles que realizan las personas en situaciones de emergencia (ver Figura 8). Otros de los estudios se enfocan en la racionalidad, es decir, donde las personas usan su raciocinio para enfrentar situaciones que representen peligro para sus vidas. En algunos de los estudios se observa además que algunas personas además de reaccionar de forma racional, ayudan a otros a enfrentar eventos de emergencia, y muchos de los estudios consultados llegan a la conclusión de que el comportamiento humano es complejo de representar o simular (Kuligowski & Mileti, 2009; Smith & McCarty, 2009; Tan et al., 2015).

Por otro lado, la seguridad de las personas es un factor de importancia en los asuntos de cualquier organización, y este concepto ha ido evolucionando a través del tiempo, por lo que este tema ha trascendido y es tomado en cuenta en diversos tratados y organismos internacionales (Muñoz, 2006; Organización Mundial de la Salud, 2010), y de donde se extrae el siguiente fragmento:

Las condiciones bajo las que se trabaja deben ser seguras, es decir, no deben suponer una amenaza o una posibilidad significativa de sufrir un daño de cierta entidad,

que pueda incapacitar aunque sea parcial y temporalmente, por parte de los trabajadores en relación con el trabajo (Muñoz, 2006, p. 131)

La OMS ha trabajado respecto al tema donde se propone un plan de acción mundial con el fin de garantizar el bienestar de los trabajadores (Organización Mundial de la Salud, 2007). Es el recurso humano uno de los valores más importante para cualquier organización, por lo que dicho asunto es estrictamente laboral, con lo que son los empleados de las empresas quienes deben estar protegidos para que la posibilidad de sufrir un daño a causa del trabajo sea mínima. Los trabajadores desarrollan tareas bajo la dirección de un jefe, bajo las condiciones que ésta persona imparte, por tanto, él debe garantizar que las tareas se desarrollen con el menor riesgo posible.

El tema de la seguridad de los trabajadores ha sido discutido por diferentes entes y organizaciones a nivel mundial, diferentes áreas de estudio hacen énfasis principalmente en el bienestar y seguridad del trabajador desde diferentes puntos de vista en donde la idea en común es que los trabajadores realicen sus labores bajo unas condiciones de seguridad con el fin de que se prevengan daños que tengan consecuencias significativas para el trabajador en un espacio laboral apto para desempeñar las actividades para la cual fue contratado, en este aspecto. La definición de la OMS de ambiente de trabajo es la siguiente:

Un entorno de trabajo saludable es aquel en el que los trabajadores y jefes colaboran en un proceso de mejora continua para promover y proteger la salud, seguridad y bienestar de los trabajadores y la sustentabilidad del ambiente de trabajo en base a los siguientes indicadores: la salud y la seguridad concernientes al ambiente físico de trabajo. La salud, la seguridad y el bienestar concernientes al medio psicosocial del trabajo incluyendo la organización del mismo y la cultura del espacio de trabajo. Los recursos de salud personales en el ambiente de trabajo, y las formas en que la comunidad busca mejorar la salud de los

trabajadores, sus familias y de otros miembros de la comunidad (Organización Mundial de la Salud, 2010, p. 15).

Se puede apreciar que el recurso humano es uno de los factores más importantes con el cual cuenta cada empresa para poder funcionar correctamente, por tanto, se debe prevenir y prever las acciones a tomar para eventos de emergencia, contar con elementos necesarios que permitan ejecutar acciones enfocadas al buen desempeño de evacuación del lugar de trabajo en el menor tiempo posible salvaguardando la vida y el bienestar de los trabajadores.

En Colombia se han creado las debidas normas para reglamentar diferentes aspectos que hacen parte integral de los quehaceres de los trabajadores, también por disposición de la Organización Internacional del Trabajo se establecen las normas de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (SISO), que reglamentan la Salud Ocupacional en Colombia y que son competencia de las empresas. Las normas que se han creado establecen la obligatoriedad que tienen las empresas de organizarse y establecer planes de emergencia. Cada una de estas normas reglamentan un aspecto en específico de la parte laboral en Colombia. Entre estas normas está la Ley 9 de 1979 (Congreso de Colombia, 1979), Resoluciones 2400 y 2413 de 1979 y 1016 de 1989 (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a, 1979a, 1979b, 1989), Decreto 1295 de 1994 (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994).

5 Modelo de Simulación Basada en Agentes

En el área de la ciencia, la simulación juega un papel importante a la hora de representar la realidad con el fin de realizar experimentos para implementar estudios en diversas áreas, y la simulación que es una forma de modelar la realidad (Nigel Gilbert & Troitzsch, 1999), cuenta con diferentes tipos con los cuales se realizan aproximaciones a la realidad, entre ellas la simulación basada en agentes. La simulación basada en agentes es uno de los tipos de simulación especializado en representar sistemas complejos, enfocado especialmente en los sistemas sociales (Nigel Gilbert & Troitzsch, 1999; Izquierdo, Galán Ordax, . Santos, & Del Olmo Martínez, 2008), que es el área en el cual se centra el presente estudio.

Al modelo de simulación del problema planteado, se le aplicará el protocolo ODD (*Overview, Design concepts and Details*) que es la metodología que explica detalladamente el proceso de simulación basada en agentes, la cual genera una plantilla de acciones a seguir para obtener resultados afines al evento simulado. En este protocolo se detalla una serie de pasos con los cuales, al seguirlos de forma precisa, se logra obtener una simulación que fiel a la realidad (Barcelona, 2014; Grimm et al., 2010; Müller et al., 2013; Sr & Cid, 2012).

La metodología, que es implementada en diversos estudios y publicaciones de problemas sociales en los cuales se encuentra el presente problema de investigación, se aplica tomando como referencia el *call center* de una IPS de la ciudad de Medellín.(Barcelona, 2014; Grimm et al., 2010; Heath, Kass, Beck, & Glickman, 2001; Müller et al., 2013).

Uno de los trabajos que ha aplicado de forma más exhaustiva el protocolo ODD en un caso particular usando Simulación Basada en Agentes es el que se trata en el documento formulación de un modelo multi-agente para el análisis de la generación de energía eléctrica a base de biomasa forestal, en una comunidad rural de la Región de los Ríos, Chile de Sr. P & Cid, F. (2012), donde

se detalla cada paso del protocolo, para completar cada una de las siguientes fases del protocolo de acuerdo a la Figura 9.

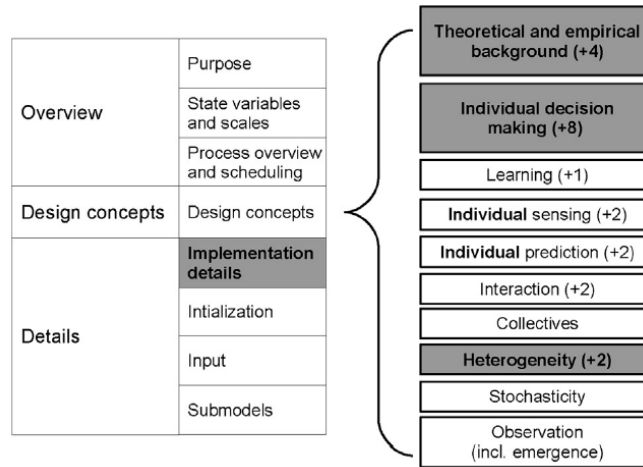


Figura 9 Partes del Protocolo ODD Fuente: (Müller et al., 2013)

En la Figura 9 se muestra los elementos del protocolo ODD, ahora se aplicará dicha metodología al problema que se quiere resolver, mostrando todos y cada uno de los elementos del protocolo.

5.1 Protocolo ODD: Fase de Revisión

Esta fase de revisión comprende los siguientes elementos: Propósito; Entidades, variables de estado y escalas; Descripción general del proceso y programación. A continuación, se describe cada elemento.

a) Propósito

Se sigue el protocolo ODD aplicado al presente trabajo con el fin de diseñar un modelo de simulación del comportamiento humano en situaciones de emergencia bajo las políticas establecidas en el marco legal colombiano.

b) Entidades, variables de estado y escalas

Con el fin de definir el funcionamiento del modelo, se establece el escenario base como se observa Figura 10, donde se muestra la interfaz de la simulación basada en agentes que se implementó en Netlogo®, se muestra el escenario del *call center* con su respectiva distribución de puestos y cantidad de personas que trabajan en él.



Figura 10 Interfaz modelo de simulación en Netlogo® Fuente: (Elaboración propia)

Para el modelo que se desea implementar se definen las siguientes variables que interactúan en el modelo:

- **Número de personas (trabajadores):** en el espacio en el cual se diseña para la simulación y el experimento que se plantea, esta cantidad es variable porque en algún día determinado se puede no contar con todas las personas en dicho espacio. Esta cantidad de personas es la totalidad de personas en dicho espacio (las que saben y no saben el rumor).

- **Número de personas que no saben del evento (emergencia):** es la cantidad de personas que en el tiempo cero (0) de la simulación no saben del rumor, variable que debe oscilar entre el total de personas que están en el edificio en el instante que se presenta el evento de emergencia y un valor menor a ésta, esta cantidad se ve afectada por diversos factores que inciden en el evento como el tipo de emergencia entre otros
- **Número de personas que saben del evento (emergencia):** es la cantidad de personas que en el tiempo 0 de la simulación saben de la emergencia, variable que resulta de restar el número de personas que están en el recinto menos el número de personas que no saben del evento en el instante cero (0).
- **Cantidad de puestos de trabajo:** es una constante, ya que esta cantidad la determina el espacio y la distribución del mismo, corresponde a la cantidad máxima de personas que pueden caber en un espacio determinado.
- **Cantidad de salidas:** se define como constante la cantidad de salidas que tiene un espacio determinado. Para el escenario base, el modelo cuenta con dos salidas por las cuales las personas podrán salir del edificio.
- **Cantidad de personas evacuadas:** Esa cantidad representa el número de personas que logran salir del recinto, en ella se puede observar el efecto de las políticas del marco legal que tienen las leyes colombianas.
- **Velocidad de evacuación:** este valor hace referencia a la cantidad de personas que salen del recinto por unidad de tiempo, al igual que la cantidad de personas evacuadas es una variable respuesta en la cual repercuten las variables de entrada.

En el presente modelo no se tiene en cuenta la participación de los líderes de evacuación por políticas de la empresa que se explican más adelante en el documento.

c) Descripción general del proceso y programación

El proceso de un evento de emergencia en el *call center* del presente caso de estudio se define de la siguiente forma:

Una vez establecida el área y sus características, en la cual van a interactuar las personas que estarán sometidas a un evento de emergencia, se debe establecer las características físicas de la oficina, es decir, el tamaño, la distribución de puestos de trabajo, la cantidad de salidas y demás factores que juegan algún papel en el desempeño de evento de evacuación.

Después de delimitar el área se procede a definir la cantidad de personas que laboran en el *call center* a simular, que debe ser igual o cercano a la cantidad de puestos disponibles para laboral en el *call center*, esta cantidad debe ser validada por los datos suministrados por empresas que se dedican al negocio de los *call center* en la ciudad de Medellín.

Una vez determinados los aspectos anteriores, se debe definir el tipo de evento que ocasiona la emergencia, el cual puede ser un incendio, un terremoto, entre otros. La definición del evento es importante porque según los estudios consultados (Bernardini et al., 2014; D’Orazio, Spalazzi, Quagliarini, & Bernardini, 2014; Groner, 2016; Lovreglio et al., 2016; Oven & Cakici, 2009; Tan et al., 2015; Wu & Chen, 2012) debido a la naturaleza de cada evento, las personas reaccionan de diferente forma a éste.

La cantidad de personas afectadas por el evento de emergencia son parte importante del modelado, por tal razón se debe definir la forma mediante la cual se van a afectar dichas personas teniendo en cuenta de la cantidad de afectados, el comportamiento de dicha cantidad

(crece o se mantiene constante), las características de las mismas para ver si éstas son altruistas o egoístas etc. con el fin de establecer el papel a desempeñar en el modelado de dicho evento.

Por otro lado, es importante determinar la forma en que las personas van a interactuar entre sí, ya que es posible que de tal interacción dependan muchos factores del evento y de las consecuencias de la emergencia, como por ejemplo el número de afectados por el evento de emergencia (Vermuyten, 2016; Wang et al., 2015).

En una emergencia hay personas que conocen su situación y reaccionan a ésta de acuerdo a su posible conocimiento previo y a sus instintos, influenciando a otros sujetos que estén a su alrededor, por lo que es necesario distinguir en el modelo las personas que conocen el evento de emergencia en primera instancia de las otras personas que están en el recinto de trabajo (D’Orazio et al., 2014; Tan et al., 2015).

Existen estudios en los cuales se afirma que el comportamiento de las personas en situaciones de emergencia se asemeja al comportamiento de rumor (Cazau, 2008; C. Li et al., 2014; Miyabe, Nadamoto, & Aramaki, 2014), donde se establece que en un tiempo cero ($t=0$) existe una cantidad inicial de individuos que conoce un determinado rumor y que en el transcurso del tiempo los demás sabrán del rumor y reaccionarán con respecto a dicho conocimiento.

Teniendo en cuenta el comportamiento de la propagación de la emergencia y su similitud con la propagación de un rumor, en algunos estudios se evidencia que muchas de las consecuencias de los eventos de emergencia se debe a la reacción de las personas más que al mismo evento (D’Orazio et al., 2014; Paul, 2012), por lo que es un factor fundamental

determinar la forma en la cual reaccionan las personas que depende a su vez a la reacción de terceros.

En el modelo desarrollado, el comportamiento de cada individuo altruista representa el comportamiento de rumor, debido a que éste transmitirá la noticia de que existe una emergencia al compañero de trabajo que esté en un rango de área de $0,25m^2$. Este comportamiento se conserva para todas las personas aún estén en movimiento, permitiendo aumentar la cantidad de personas que sean evacuadas del lugar.

5.2 Protocolo ODD: Conceptos de Diseño

En los elementos de diseño se encuentran las partes relevantes del modelo en sí que son fundamentales para su construcción ilustrados en la Figura 9, y estos elementos se detallan así:

a) Principios básicos

Teniendo en cuenta que las personas reaccionan de diferentes formas ante una situación de emergencia, debido a su formación, conocimientos previos y a su instinto por preservar su vida, es de vital importancia tener una aproximación de éstas reacciones con el fin de prevenir o minimizar los impactos negativos que producen las situaciones de emergencia (Kontovourkis, 2012; Lovreglio et al., 2016).

Las empresas deben velar por el bienestar de los trabajadores que laboran en las mismas, por lo que cada una de éstas elabora planes de evacuación en los cuales se proponen diferentes actividades que se deben poner en práctica en el momento que se presenta una situación de emergencia, estos planes deben estar alineados con la legislación del territorio en el cual se implementen, en este caso las leyes de Colombia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 1994; Congreso de Colombia, 1979).

Son diversos los escenarios en los cuales se han estudiado las situaciones de emergencia (L. Huo et al., 2011; Shi et al., 2009; Shiwakoti et al., 2014), escenarios donde se han implementado modelos desde diversas áreas de estudio como la psicología, la estadística, matemáticas entre otras, donde cada una de ellas ha aportado conceptos que ayudan a entender el fenómeno de estudio, en este caso la influencia del factor humano en el desempeño de situaciones de emergencia (L. Huo et al., 2011; Pérez Arribas et al., 2005; Vorst, 2010).

El comportamiento de las personas es diverso ante situaciones de emergencia, y desde el lado de la simulación se han hecho diferentes intentos para representar tal diversidad en diferentes escenarios (Drury et al., 2009; Hoogendoorn, Jonker, Treur, & Verhaegh, 2009; Kobes et al., 2010; Vorst, 2010), donde se miden y tienen en cuenta diversas variables como la velocidad de evacuación del recinto en el cual se represente la emergencia entre otros aspectos con el fin de mirar el comportamiento de este tipo de aspectos y optimizarlos para este tipo de eventos en la vida real.

b) Emergencia

De acuerdo a la literatura encontrada, una de la forma en la cual se clasifican las personas es de acuerdo a la forma en la cual reaccionan ante el evento de emergencia, es decir, de forma altruista o egoísta dependiendo de si ayudan a sus compañeros a evacuar el recinto en emergencia o si solamente velan por salvarse a sí mismas (Larsson & Enander, 1997; Pan et al., 2007).

Se espera que los resultados de los experimentos dependan directamente de la cantidad de personas que sean altruistas o egoístas, de forma que el tiempo de evacuación de un *call*

center sea menor si entre las personas que están en el evento de emergencia sea altruista, y este tiempo tienda a ser mayor si la mayoría de las personas sean egoístas.

La cantidad de personas que en el instante inicial se enteran y reaccionan ante el evento de emergencia es importante, ya que se espera que dicha cantidad influya directamente en el resultado de los experimentos. Se espera que esta cantidad tienda a disminuir el tiempo de evacuación del recinto laboral cuando sea mayor y en caso contrario, tienda a disminuir dicho tiempo.

Por otro lado, la cantidad de personas que se afectan o no evacúan durante el evento de emergencia tiende a ser mayor si estas son egoístas, y tiende a descender si son altruistas. Según lo expuesto, en general se espera que estos factores influyan directamente en el resultado de los experimentos que se planteen en este estudio.

Es posible que la cantidad de personas tienda a influir en los resultados, donde se espera que el tiempo de evacuación y los afectados durante la emergencia sean mayores si la cantidad de personas es mayor, es decir, que entre más personas estén en el escenario simulado, mayor tiempo es necesario para evacuarlas.

La cantidad de entradas que tenga el escenario es un factor que tiene gran impacto en el desempeño del evento de evacuación, donde se espera que los tiempos de esta sean menores cuando hay más salidas, y la cantidad de personas afectadas también se afecte de igual manera, es decir, habrá menos personas afectadas

En menor escala, pero de igual forma se espera que factores como la distribución de las personas en el espacio que ocupan, las dimensiones de los puestos de trabajo, el tamaño de los

pasillos entre otros, tengan un impacto en los resultados del trabajo, por lo que se debe controlar de forma rigurosa con el fin de analizar dicha influencia en los resultados del modelo.

c) Adaptación

Las personas que reaccionen ante un evento de emergencia deben responder ante los eventos de reacción de terceros dentro del escenario donde se presente el evento (Larsson & Enander, 1997; Vorst, 2010). Se espera que el tipo de evento influya en la forma de reacción de cada individuo ante dicho evento.

Es factible que la cantidad de personas que ocupe un área determinada influya en la reacción de cada persona en un evento de emergencia, ya que deberá decidir el camino más corto y con menos obstáculos para dirigirse a la salida de emergencia para evacuar el recinto (Joo et al., 2013; Smith & McCarty, 2009).

Uno de los factores que influye en la toma de decisiones a la hora de encontrar una salida para evacuar un recinto determinado es la distribución de los puestos de trabajo, ya que todos los elementos que hacen parte de dicha distribución pasan a ser obstáculos en el momento de evacuar el recinto que esté en un evento de emergencia. Por lo que se espera que cada individuo reaccione ante tales obstáculos buscando evitarlos y en lo posible sean la menor cantidad posible en dicho evento (Joo et al., 2013; Shi et al., 2009; Smith & McCarty, 2009; Vorst, 2010; Wagner & Agrawal, 2014).

La cantidad de salidas que hacen parte de un recinto influyen en el tiempo de evacuación de dicho recinto en un evento de emergencia, ya que entre más cantidad de salidas habrá más oportunidad de salir del recinto para cada persona, por lo que el individuo deberá

optar por escoger la opción que menos dificultad le presente para evacuar el recinto (Bode & Codling, 2013; R. Machado Tavares & Galea, 2009).

d) Objetivos

Caracterizar a las personas de acuerdo a la forma en cual reaccionan ante determinados ejemplos, es uno de los objetivos que se pretende alcanzar mediante la implementación del presente trabajo. Para lograrlo se necesita reconocer la forma en la cual reacciona cada persona ante posibles eventos de emergencia, porque cada tipo de evento tiene características propias que conllevan a cada individuo a reaccionar de diferente forma a pesar de que están inmersos en dicho evento (G. Chen et al., 2015; Lovreglio et al., 2016; Shi et al., 2009).

Algunos de los factores que podrían determinar la reacción de las personas en los eventos de emergencia son los que influyen en el desempeño de la evacuación de las mismas, como por ejemplo los obstáculos, la cantidad de salidas del recinto, la cantidad de personas que estén en dicho recinto durante el evento de emergencia etc.(Smith & McCarty, 2009).

La construcción de un modelo mediante el cual se pueda representar diferentes situaciones de emergencia teniendo en cuenta la normatividad colombiana, depende de la caracterización de las personas de acuerdo a su reacción, ya que el escenario debe contar con los elementos de aleatorización, para que la realidad se vea plasmada en la representación computacional de dichos eventos.

Se busca evaluar diferentes políticas por medio de la construcción de diferentes escenarios, con el fin de impactar las consecuencias negativas que se puedan generar en los eventos de emergencia ya que, mediante dicha evaluación, es posible que se puedan tomar

medidas con fin de mitigar los impactos y consecuencias negativas que se pueden presentar en eventos reales.

e) Aprendizaje

Las experiencias que una persona pueda tener es posible que incidan en la forma que reaccione en el evento de emergencia ya que estos conocimientos es posible que condicionen dicha reacción (Candamil & Grajales S., 1998; Kobes et al., 2010) es posible que incidan directamente en los resultados y consecuencias que se observen durante este tipo de eventos.

A su vez, los eventos externos que se presenten durante el proceso de evacuación, es posible que afecten las decisiones que dicha persona pueda tener en el desempeño de la misma, haciendo que reaccione de forma diferente a lo que se esperaba, porque en este caso los instintos son los que determinen las acciones de la persona (Candamil & Grajales S., 1998; Joo et al., 2013; Purser & Bensilum, 2001).

Durante el proceso de evacuación del recinto, es posible que un determinado individuo deba superar múltiples obstáculos, lo que hace que en este proceso el sujeto pueda de cierta forma, adquirir experiencia en la toma de decisiones en el momento de superarlos, es decir, vaya aprendiendo a sortearlos mejorando la velocidad de superarlos o evitarlos que, dependiendo del entorno, es otra forma de superarlos de mejor forma.

Por otro lado, la reacción que un individuo tenga frente a la reacción de otro en un evento de emergencia, podría formar parte también de un aprendizaje en el sentido de que las decisiones que se tomen en el instante del evento, dependen o no de la dicha reacción del afectado.

De forma general podría decirse que el cambio de conducta que presente cada individuo en el momento de enfrentarse a cada obstáculo, es decir, cada obstáculo hace que el individuo aprenda a enfrentarlos de acuerdo a las condiciones que éstos le presenten afectando en el desempeño, es decir, afectando el tiempo que cada individuo se toma en el proceso de evacuación durante un evento de emergencia (Alonso, Abreu, Cuesta, & Alvear, 2014; Candamil & Grajales S., 1998; Drury et al., 2009).

f) Predicción

Para el presente trabajo, se espera que algunas de las variables que inciden en el desempeño del modelo planteado se comporten de la siguiente forma:

El tiempo de evacuación del recinto, en este caso un *call center*, depende directamente de la cantidad de personas que esté en el mismo, es decir, que entre más personas esté albergando dicho *call center*, más tiempo les tomará evacuarlo, por lo que dicho tiempo es posible que dependa proporcionalmente a la cantidad de individuos que lo ocupan.

De igual forma se espera que durante un evento de emergencia, la cantidad de personas que estén en el *call center* incida directamente en la cantidad de individuos evacuados de dicho lugar, y a su vez, entre más personas salgan del lugar, habrá menos individuos dentro del recinto.

Por otro lado, es posible que la cantidad de salidas que tenga el *call center* incida directamente en el tiempo de evacuación, de forma que entre más salidas tenga dicho *call center*, menor será el tiempo de evacuación. De la cantidad de salidas también se espera que incidan directamente en la cantidad de personas que son evacuadas durante el evento de

emergencia, es decir, entre más salidas, mayor número de individuos evacuados y menor tiempo de evacuación.

Un resultado que se espera que suceda en el proceso de evacuación, tiene que ver con la cantidad de personas que saben o son afectados en primera instancia por el evento de emergencia, si en este primer instante de tiempo, la cantidad de individuos que se afectan es significativa, se espera que el tiempo de reacción de todos estos se vea comprometido de forma que disminuya.

La distribución y la cantidad de puestos de trabajo es un factor que puede incidir de forma directa durante el proceso de evacuación del *call center*, ya que éstos puestos son obstáculos que la persona debe sortear en el momento de evacuación, por lo que la forma en la cual se distribuyan dichos puestos tienda a hacer que el tiempo sea mayor cuando dicha cantidad de puestos sea considerable y la forma en la cual se distribuyan en dicho espacio no sea apropiada para el mismo.

g) Sensibilidad

El tiempo de evacuación es uno de los factores que se ve afectado por diversas variables, entre ellas la cantidad de personas que están en el *call center*, la cantidad de salidas que tiene el *call center* entre otras, haciendo que dicho tiempo sea sensible al cambio de las variables mencionadas.

Cada individuo debe tomar diversas decisiones en un evento de emergencia, entre ellas el camino a seguir, elegir la salida más conveniente (no necesariamente la más cercana) entre otros, por lo que la probabilidad de salir del recinto es sensible a diversos factores influyentes en dicho proceso.

La cantidad de personas que evacúan es una variable que depende también del número de individuos que ocupan el *call center*, además de la cantidad de salidas que tenga dicho recinto, y es posible que tenga alguna incidencia la distribución de los puestos de trabajo porque serían, en cierta forma, obstáculos que debe superar cada individuo para llegar a la salida más cercana.

h) Interacción

Los agentes, en este caso, las personas que están en el *call center*, interactúan entre ellos al reaccionar ante el evento de emergencia, es decir en el momento en que las personas reaccionan ante, a su vez, la reacción de otra persona cercana, presentándose en este caso una reacción en cadena frente a un evento de emergencia que se presenta en el *call center*.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los agentes también interactúan con el entorno, es decir, cada agente debe sortear los obstáculos que se le presenten para poder evacuar el sitio, tomando decisiones en base a evitar un obstáculo o tener que sortearlo de otra forma como pasando por encima de él (dependiendo del tipo de obstáculo).

La elección del camino a recorrer de acuerdo a la distancia o facilidad de recorrer dicho camino es otra forma de interactuar con el entorno, debido a que cada agente deberá decidir el camino hacia la salida más cercana o el camino que presente la menor dificultad hacia cualquiera de las salidas, de hecho, podría presentarse la situación en la cual se deba elegir un camino entre varios posibles hacia la misma salida, que no necesariamente sea el camino más corto.

i) Estocasticidad

La ubicación inicial de las personas en el momento inicial es aleatorio debido a que cada individuo puede estar o no en su puesto de trabajo. El caso de que no esté en su puesto de trabajo se da por diferentes causas, por lo que la ubicación de tal persona es un factor que se comporta de forma aleatoria haciendo que dicha persona deba reaccionar ante un evento de emergencia desde donde se encuentre en dicho momento.

La condición de cada persona de altruismo o egoísmo se debe comportar también de forma aleatoria porque no se conoce con antelación quien se comportará de una forma u otra. Se estima además que dependiendo de la intensidad del evento de emergencia que se esté presentando una persona pueda reaccionar de forma altruista cuando la intensidad sea leve y de forma egoísta cuando dicha intensidad sea fuerte (Candamil & Grajales S., 1998; Drury et al., 2009; Smith & McCarty, 2009; Sr & Cid, 2012).

La cantidad de personas que reaccionan en primer instante ante un evento de emergencia es una variable que es aleatoria, ya que cada persona reacciona o no ante tal evento dependiendo a muchos factores como por ejemplo si la persona siente o sabe que se está presentando un evento de emergencia y si sus condiciones le permiten hacerlo (Pires, 2005; Tan et al., 2015).

La cantidad de personas que logran evacuar el *call center* depende de diversos factores, por lo que es posible que presente un comportamiento aleatorio, ya que son diversos factores que intervienen en el proceso de evacuación como el tipo de desastre, la reacción o no de cada persona ante dicho evento entre otros (D’Orazio et al., 2014; Heath et al., 2001; Kobes et al., 2010).

j) Colectivos

El *call center* es un sitio en el cual se encuentran diversas personas dedicadas cada una de ellas a su propia labor, es una comunidad de trabajo en la cual se dedican a atender a clientes y usuarios internos y externos ya que son el punto de contacto en común para ellos. Esta comunidad la forman diversos agentes con una necesidad en común (Osiatis, 2014; Periódico El tiempo, 2001), aunque en un determinado instante de tiempo en dicha comunidad esté presente algún agente externo que pueda estar de visita o simplemente esté de paso por alguna razón que lo obligue a transitar por el *call center*.

k) Observación

Los datos del presente trabajo vienen del *call center* de una IPS de la ciudad de Medellín, en donde se ha verificado que se han tomado datos de forma detallada y de forma periódica, siguiendo un protocolo propio de la IPS, el cual no se puede detallar por cuestiones de confidencialidad concertada con dicha institución.

Por otro lado, se toman datos acerca de los números de personas que trabajan en un *call center*, de los históricos de las planillas de asistencia de las empresas que permitan hacer este tipo de tareas para el estudio, para la toma de datos se usan conteos, medición de tiempo, observación de distribución de puestos de trabajo, mediciones de distancias para dicha distribución, usando instrumentos de medición debidamente calibrados para el objetivo para el cual se usan.

Otra toma de datos que se usa son planos suministrados por un ente gubernamental el cual debe tenerlos para su uso y que pueden ser accedidos por cualquier persona o entidad que necesite conocerlos. Dichos planos complementan la información de distribución de espacios que se tienen en algunas de las edificaciones de la ciudad, datos a usar con fines académicos.

5.3 Protocolo ODD: Fase de Detalles

En esta fase del protocolo, se presentan los detalles como se ilustra en la Figura 9.

a) Implementación

Netlogo® es el software con el cual se trabajará el modelo donde se representa el espacio del *call center* teniendo en cuenta el plano de la Figura 13. Dicho software permite trabajar con el plano y sobre éste es donde se representan las personas en su sitio de trabajo, en donde se observa la distribución de puestos y las salidas del recinto que son las partes esenciales de un proceso de evacuación.

Sobre el plano del *call center*, cada agente se representa en su puesto de trabajo, realizando sus respectivas actividades. Un aspecto que se debe tener en cuenta es la distancia que cada agente tiene con respecto a cada salida ya que en una actividad de evacuación cada persona tiende a buscar la salida más cercana.

En el modelo tiene en cuenta mediante colores una característica importante que incide en el comportamiento de cada agente en la evacuación dependiendo si sabe o no del evento de emergencia, es decir si es egoísta (negro) o altruista (rojo) (Figura 11). Además, las personas con color verde son las que no saben del rumor.

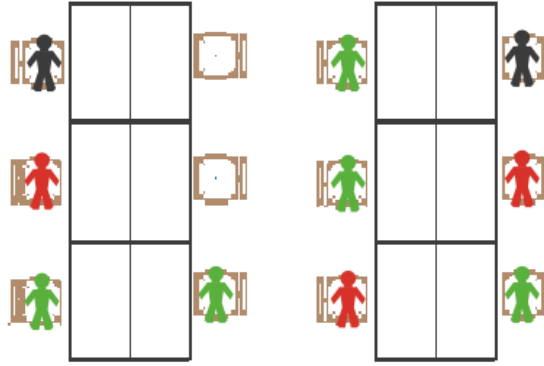


Figura 11 Representación de las personas según comportamiento Fuente: (Construcción propia)

Cabe decir que en el modelo se representan todos los elementos siguiendo la normativa colombiana en cuanto a distancias entre puestos, cantidad de personas máxima por recinto, cantidad de salidas, etc (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979a) como se detalla en la fase sección de inicialización. Asimismo también se siguen la norma del código de seguridad humana para la estructura de los edificios de oficinas (National Fire Protection Association, 2000).

b) Inicialización

El espacio de la IPS en el cual se ha establecido el *call center* de dicha institución, cuenta con unas dimensiones de 15,6 mt x 9,3 mt donde se distribuyen 50 puestos de trabajo en los cuales están dedicados a la tarea de atender un promedio de 5700 llamadas entrantes diarias de las ciudades de Medellín y Barranquilla en horario de oficina (08:00 AM – 06:00 PM), y 2000 llamadas de salida en el mismo horario.

Las salidas en el modelo se representan mediante color amarillo como se observa en la Figura 12. En el modelo, cuando cada agente llegue a dichas salidas, se entenderá que ha evacuado las instalaciones del *call center*, es decir, se ha salvado de las posibles consecuencias del evento

que originó la evacuación del recinto, de ahí la importancia de que cada agente conozca el camino hacia la salida más cercana.

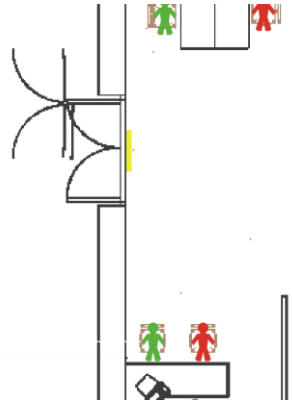


Figura 12 Representación de una salida en el escenario simulado Fuente: (Construcción propia)

Las características de cada una de las personas que trabaja en el *call center* serán:

Movimiento: cada persona en durante el evento de emergencia, evacuará el recinto, es decir, buscará la salida más cercana y se dirigirá hacia ella, evadiendo los posibles obstáculos que estén en el escenario (Puestos de trabajo, paredes, etc.), cada paso (movimiento del agente) se moverá 1,4 m/s (D’Orazio et al., 2014).

Comportamiento (Altruista, egoísta): cada persona al dirigirse hacia la salida puede comunicarle que existe una situación de emergencia y que se debe evacuar el recinto a las personas más próximas que se encuentre en el camino, es decir, que tiene un comportamiento altruista. Por el contrario, también puede solamente dirigirse hacia la salida sin contarle a nadie del evento del evento de emergencia, es decir, tendría un comportamiento egoísta.

Cada parche (porción de espacio que se representa en el escenario en Netlogo®) representa 5,22 cm² del espacio real, para que se pueda observar el *call center* con una eficiente resolución, además cada tick representa 1,4 segundos de tiempo real.

Los datos que se usarán en el presente trabajo se harán en base a los datos de tamaño de las oficinas (*call center*) que se encuentra en las instalaciones de la IPS (Figura 13), la cual se especializa en prestar diversos servicios de salud para sus afiliados y la comunidad en general (servicios a particulares).

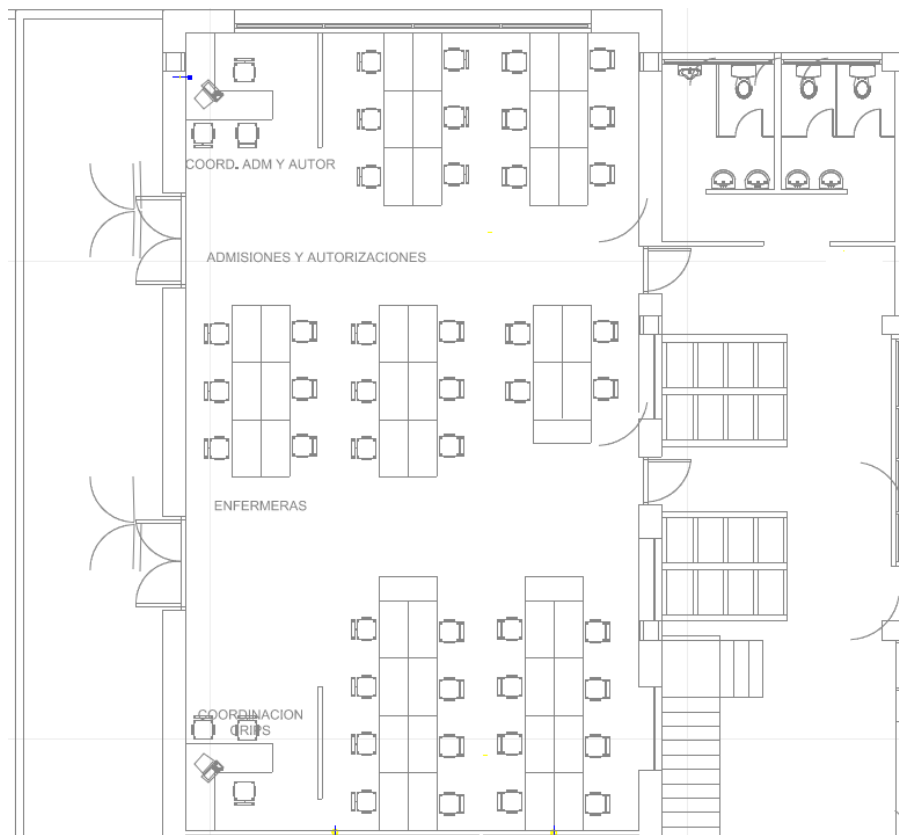


Figura 13 Plano *call center* IPS Fuente: IPS Medellín

Teniendo en cuenta los planos suministrados por dicha institución, dichas oficinas ocupan un espacio de 16,8m por 9,7m, espacio en el cual se distribuyen 50 puestos de trabajo de acuerdo

a la disposición de la empresa para atender el volumen de llamadas que la organización atiende diariamente.

Número de personas (trabajadores): Este valor varía teniendo en cuenta diversos factores como por ejemplo la cantidad máxima de trabajadores en dicho espacio, las posibles faltas que puedan existir por factores como incapacidades, los visitantes que puedan estar en ese momento en el recinto y demás situaciones exógenas al problema presentado (Entre 35 y 45), cabe anotar que por política de la empresa no se trabaja con la asignación total de puestos (50) si no con 45 puestos para eventos de contingencia.

Número de personas que saben del evento (emergencia): dependiendo del tipo de evento y la intensidad de este valor se debe definir entre el máximo de personas que esté en el recinto y un valor menor que éste. Esto depende de la intensidad del evento de emergencia, de la capacidad o sensibilidad de cada persona ante este tipo de eventos entre otros, entre 0 y 50.

Número de personas que no saben del evento (emergencia): este valor depende de la resta entre la cantidad total de personas que están en el recinto, menos la cantidad de individuos que saben del evento de emergencia en primera instancia

Cantidad de puestos de trabajo: cantidad que representa la cantidad máxima (total) de trabajadores en el *call center*, se trabajará con una distribución en planta de 50 puestos de trabajo.

Cantidad de salidas: Mínimo dos, máximo cuatro, dependiendo de los modelos de *call centers* que se encuentren en la bibliografía y datos suministrados.

c) Datos de entrada

En el modelo intervienen los siguientes datos de entrada:

- Número de personas (Trabajadores)

- Cantidad de salidas
- Personas que se enteran del evento en primera instancia (egoístas y altruístas)
- Cantidad de personas que saben del evento (egoístas)

Mediante la interacción entre los datos que se listan se establece el comportamiento del modelo en la situación que se desea representar y analizar, por lo que estas variables y su variación son datos de entrada que inciden en los resultados del modelo que se representan en los datos de salida: Número de personas evacuadas y velocidad de evacuación.

d) Sub modelos

Para determinar el comportamiento de las personas que se encuentren en un evento de emergencia en un centro de servicio, se replica el evento en un entorno diseñado y modelado de tal forma que satisfaga la autenticidad y fidelidad del mismo que podría suceder en un entorno real. Razón por la que el protocolo ODD cobra importancia ya que, por medio de dicha metodología, se puede duplicar computacionalmente un centro de servicio, que es donde se pretende estudiar el comportamiento de las personas en eventos de emergencia.

Para el modelo planteado, es importante soportar la creación de los elementos que intervienen en él, por lo que se establece el submodelo que se muestra en la Figura 14, el cual representa la interacción de las variables y características del modelo de acuerdo a las relaciones entre los agentes en el escenario de interacción establecido.

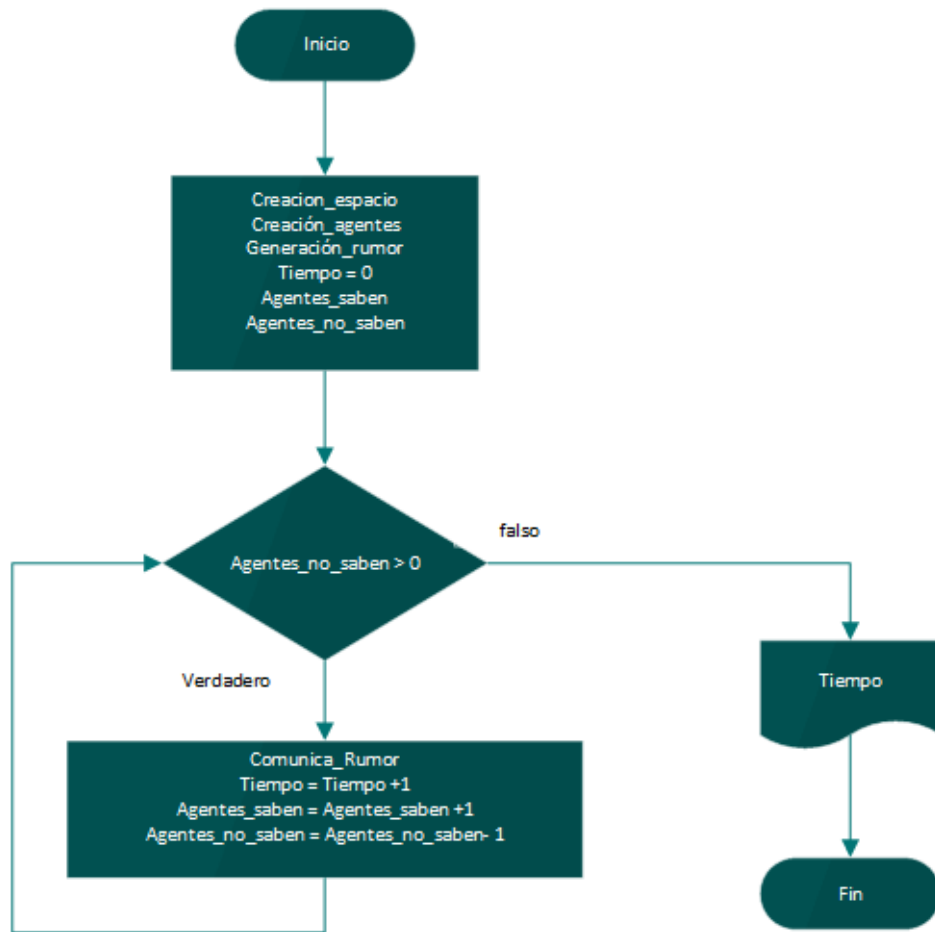


Figura 14 Submodelo interacción entre los agentes

En dicho submodelo, se establece la forma en la cual se crea el escenario, los agentes que intervienen en el modelo la generación del evento de emergencia y los agentes que interactuarán en el modelo, para luego hacer interactuar a los agentes mientras éstos estén en el espacio y sepan que existe una emergencia en el escenario en el cual están ubicados.

5.4 Verificación del Modelo

Una vez se han definido los elementos de la fase de revisión, se construye el modelo teniendo en cuenta todos los elementos definidos en dicha fase; como el propósito del modelo, los valores de las variables del mismo, y la programación de reglas mediante las cuales los agentes interactuarán.

En Netlogo® se representó cada escenario teniendo como base las medidas de los planos del recinto donde funciona el *call center*, respetando las escalas de los mismos y teniendo en cuenta las restricciones que se deben seguir de la norma colombiana para la distribución de espacio y medidas de los elementos que están en el recinto.

Por otro lado, mediante la lógica de programación el software permitió representar cada escenario de emergencia donde se modelan los diferentes comportamientos que podrían tener las personas; egoísta, altruista, posibilitando así analizar los agentes que interactúan en dichos escenarios.

El movimiento de los agentes estuvo condicionado por los obstáculos que tiene cada uno de ellos a la hora de reaccionar al evento de emergencia, es decir, cada agente deberá buscar la salida más cercana (representada en color amarillo), y sortear los obstáculos que se le presentan, en este caso los bordes representados en color negro que muestran la delimitación de los muebles de los puestos de trabajo.

Después de realizar las corridas de la simulación para el presente trabajo se analizan las variables: cantidad de personas evacuadas y tiempo de evacuación, éstas son importantes para el estudio porque permiten analizar los efectos de las personas que interactúan en el proceso de evacuación de un call center de una IPS de la ciudad de Medellín.

Realizando una verificación previa del funcionamiento del modelo, se ejecutan unas pruebas con valores extremos, es decir, se observa el comportamiento del modelo cuando las variables tienen el máximo o el mínimo valor posible. Las variables verificadas fueron: Número de personas que saben del evento (altruistas) y Número de personas que saben del evento (egoístas).

En la Figura 15 se observa la forma en que la cantidad de personas evacuadas egoístas desalojan el escenario planteado, cabe señalar que existe un pequeño lapso de reacción de las personas ante el evento de emergencia, una vez las personas se enteran de dicho evento, la cantidad de evacuados va en aumento conforme pasa el tiempo.

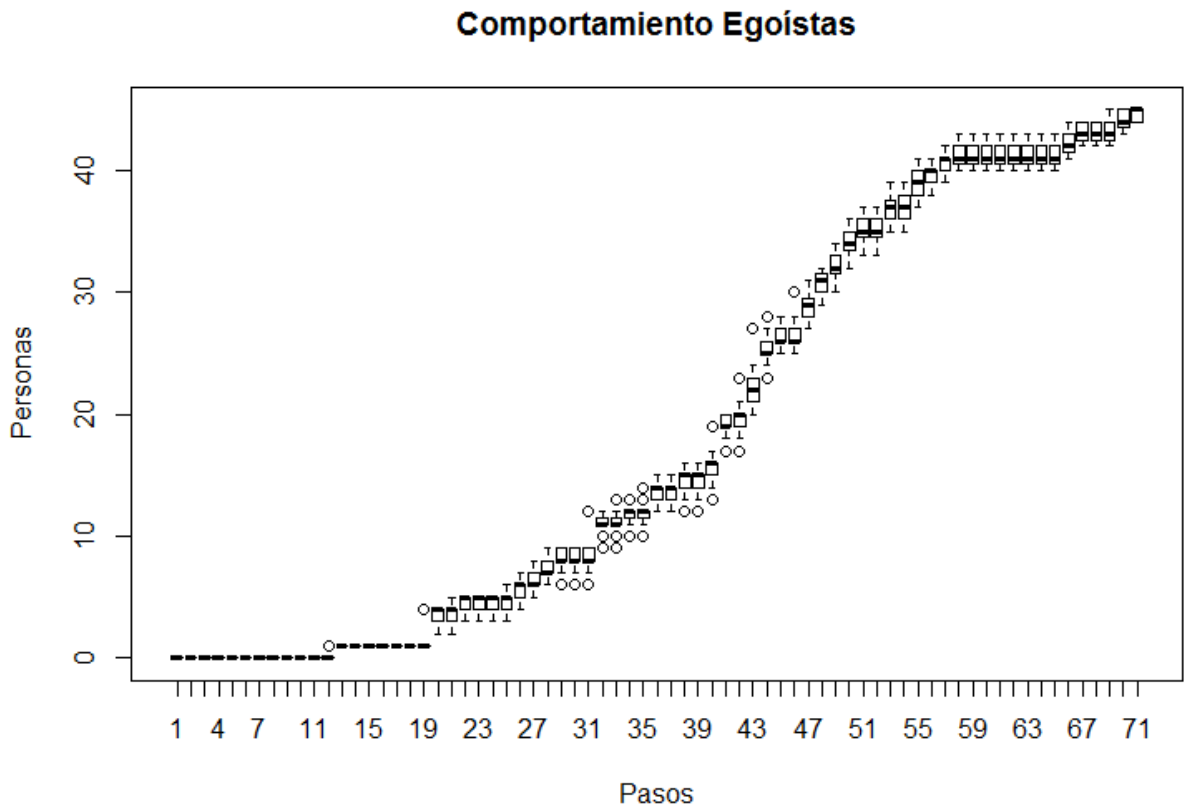


Figura 15 Comportamiento valores extremos Egoístas. Fuente: Construcción propia

En la Figura 16, se observa un comportamiento similar en las pruebas de valores extremos de modelos con respecto al comportamiento de los datos obtenidos en las pruebas con las personas altruistas desalojando lentamente al inicio del evento de emergencia y en un rápido aumento en cuanto a la cantidad de personas evacuadas.

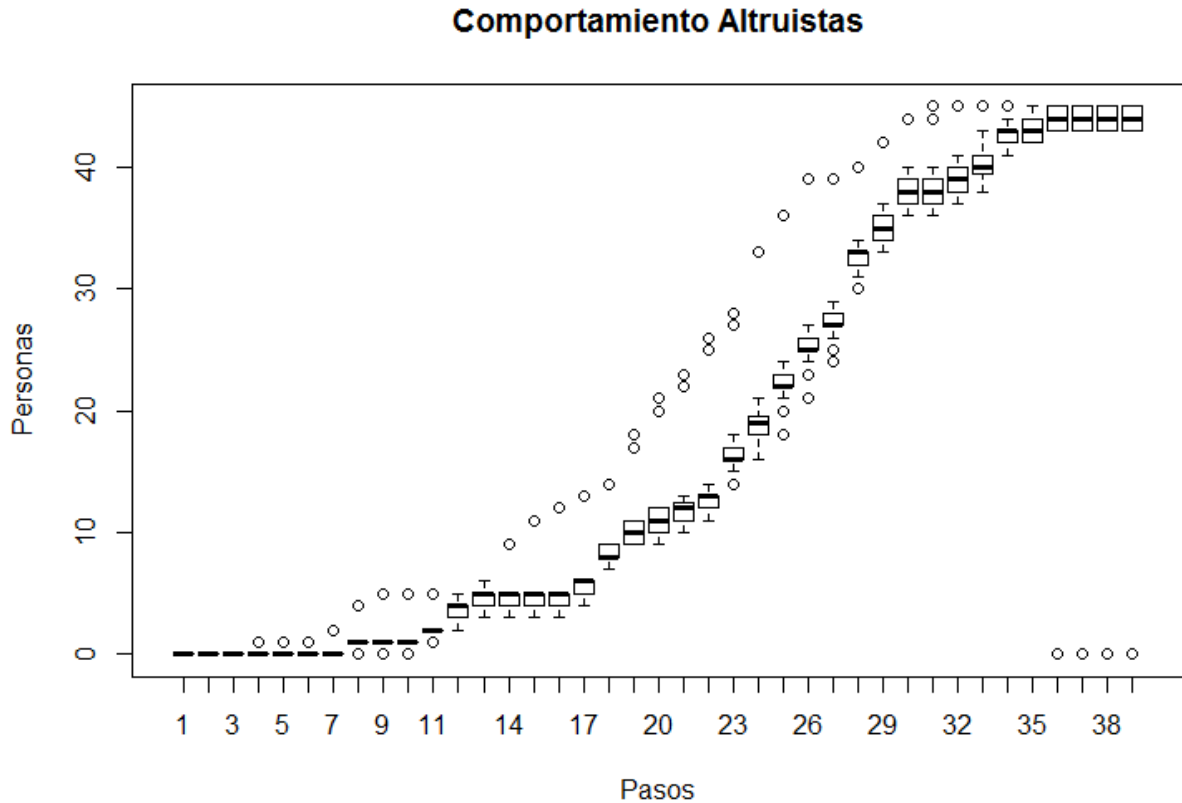


Figura 16 Comportamiento valores extremos Altruistas. Fuente: Construcción propia

En las figuras analizadas, se observa una baja variabilidad en los datos, es decir, las personas reaccionaron de forma lenta similar a lo que ocurre en una curva de aprendizaje tanto en las personas altruistas como las egoístas, terminando el proceso de evacuación en un tiempo diferente en cada escenario.

Además, en dichas figuras se observa igual distribución en las personas vs. tiempo que demoran en evacuar, tomando más tiempo el grupo egoísta que el grupo altruista, además se presenta una notoria diferencia en los casos extremos para cada escenario, donde algunas personas egoístas demoran más tiempo en desalojar que las personas altruistas

5.5 Validación del modelo

Validación con expertos

La forma de validar el modelo que se escogió fue la consulta con un experto, para realizar dicha validación se le consultó al Jefe de la brigada de emergencias de la IPS de Medellín, quien se encarga de coordinar los líderes de dicha brigada, gestionar las capacitaciones y demás funciones propias del cargo.

Una vez el Jefe de dicha brigada observó y analizó los resultados encontrados en el modelo, opinó sobre los siguientes aspectos:

El escenario que se muestra en la Figura 10, corresponde al del *call center* de la IPS, y si representa la distribución que tiene dicho *call center*, escenario en el cual pueden estar laborando hasta 50 personas, los espacios entre los puestos que muestra el plano si corresponden a los del escenario que tiene dispuesto la IPS para tal fin.

El modelo arroja resultados de personas que no tienen mayor capacitación en eventos de emergencia, es decir, evacúan siguiendo sus instintos, en el tiempo que a cada persona le toma encontrar la salida más cercana y dirigirse hacia ella con el fin de evacuar el recinto buscando salvaguardar su vida.

La velocidad en la cual las personas evacúan el recinto de trabajo depende de la cantidad de entradas que se habiliten, de acuerdo con la opinión del experto, la cantidad de personas que evacúan el recinto y la velocidad de evacuación arrojada por la simulación son bastante similares a los tiempos que arrojan los simulacros de evacuación.

En cuanto al lapso de espera que tiene las personas en un evento de emergencia, el experto opina que esto sucede debido a que instintivamente la mayoría de las personas se toman un tiempo para verificar si el evento que se presenta es real, con el fin de no reaccionar innecesariamente ante una falsa alarma.

Las dimensiones que se tienen de la distribución de espacios siguen la norma colombiana, en dichos espacios se han realizado diversos simulacros y capacitaciones de evacuaciones, y en la gran mayoría de los simulacros se ha logrado el objetivo de evacuar cada escenario, se ha podido notar que el tiempo de respuesta es mejora (menor) con respecto a espacios que no cumplen dicha normatividad.

Las condiciones que originan cada evento de emergencia son únicas, por lo tanto, su manejo debe ser diferente y adecuado a cada caso. En la simulación se representan eventos de sismos y de evacuación por riesgo de escapes de gas o sustancias químicas principalmente.

6 Análisis de Escenarios

Para lograr alcanzar uno de los objetivos específicos del presente trabajo que es construir un modelo de simulación para representar situaciones de emergencia en centros de servicio siguiendo las norma colombiana, se determinan tres escenarios los cuales tienen que ver con la forma en la cual el *call center* de la IPS funciona actualmente y modificando la cantidad de entradas que tiene disponible dicho escenario.

Para lograr alcanzar uno de los objetivos específicos del presente trabajo que es construir un modelo de simulación para representar situaciones de emergencia en centros de servicio siguiendo la norma colombiana, se realizó un análisis de escenarios con el objetivo de estudiar el grado de influencia del comportamiento humano en situaciones de emergencia en centros de servicio.

Para cada uno de los escenarios se realizó un conjunto de corridas, variando los valores de las principales variables del modelo. Las variables analizadas fueron: número de personas que hay en el recinto; número de personas egoístas en el recinto y número de entradas, para observar el efecto de éstas variables en la cantidad de personas evacuadas y la velocidad de evacuación en cada escenario.

De este modo se analizaron tres escenarios que se representan en la Tabla 3 . En el primero que es el escenario base, se tienen las variables principales interactuando en el recinto que tiene habilitadas solamente dos entradas que es como funciona regularmente la IPS, en el segundo en los demás escenarios se modifican la cantidad de entradas pasando a tres y cuatro entradas que son las que dicho espacio tiene disponibles el recinto para tener habilitadas.

Tabla 3 Escenarios del modelo

| Escenarios | Variable | Valor |
|-------------------------------|---|----------------|
| Escenario base | Número de personas (trabajadores) | 35 40 42 44 45 |
| | Personas que se enteran del evento en primera instancia (egoístas y altruistas) | 6 7 9 10 |
| | Cantidad de personas que saben del evento y son egoístas | 3 4 5 6 |
| Escenario con tres entradas | Número de personas (trabajadores) | 35 40 42 44 45 |
| | Personas que se enteran del evento en primera instancia (egoístas y altruistas) | 6 7 9 10 |
| | Cantidad de personas que saben del evento y son egoístas | 3 4 5 6 |
| Escenario con cuatro entradas | Número de personas (trabajadores) | 35 40 42 44 45 |
| | Personas que se enteran del evento en primera instancia (egoístas y altruistas) | 6 7 9 10 |
| | Cantidad de personas que saben del evento y son egoístas | 3 4 5 6 |

La interacción de las variables que se muestran en la Tabla 3 se reflejan en las variables resultado cantidad de personas evacuadas y velocidad de evacuación las cuales determinarán la consecución del objetivo del presente trabajo que tiene que ver con estudiar la influencia del comportamiento de las personas en situaciones de emergencia en centros de servicio.

6.1 Escenario base

En este escenario el cual se representa en la Figura 10, se muestra la forma en la cual funciona el *call center*, con las variables que se observan en el literal b (Entidades, variables de estado y escalas) del capítulo 5.1 y que son con las cuales se realizan las corridas para dicho escenario.

En la Tabla 4 se muestran los valores con los que se inicializa el modelo, se debe tener en cuenta que los valores que puede tomar la variable Número de personas que no saben del evento (emergencia) depende la otra variable Número de personas que saben del evento (emergencia) ya que la suma de estas dos variables da como total el Número de personas (trabajadores) que están en el recinto en el momento del evento de emergencia.

El rango de valores se tiene en cuenta a que en el escenario puede estar vacío en horas no laborales y hasta el máximo de personas que se pueden encontrar en el recinto laboral (45 personas). Además, las personas que pueden saber acerca del evento de emergencia tienen ese mismo rango de valores debido a que nadie puede saber de dicho evento o, varios pueden saber o todos pueden enterarse del mismo, la variabilidad obedece a diferentes eventos como capacitaciones, faltas de asistencia entre otras.

Tabla 4 Rangos de inicialización variables del Modelo

| Variable | Valor |
|--|-------|
| Número de personas (trabajadores) | 0-45 |
| Número de personas que saben del evento (emergencia) | 0-45 |

| | |
|---|------|
| Número de personas que no saben del evento (emergencia) | 0-45 |
|---|------|

Tabla 5 Valores iniciales simulación

| Variable | Valor |
|---|----------------|
| Número de personas (trabajadores) | 35 40 42 44 45 |
| Personas que se enteran del evento en primera instancia (egoístas y altruistas) | 6 7 9 10 |
| Cantidad de personas que saben del evento y son egoístas | 3 4 5 6 |

En la Tabla 5, se muestran los valores iniciales con los cuales se realizaron las corridas en el modelo, los valores del Número de personas se escogen con base en los históricos de las planillas de asistencia que tiene el personal de la IPS, teniendo como mínimo 35 personas hasta su máximo 45 personas que están en dicho recinto.

Los valores de las variables (personas que se enteran del evento en primera instancia y la cantidad de personas egoístas), obedecen a una consulta con el experto en emergencias de la IPS, quien relata que por lo general los diferentes eventos que se presentan son en su mayoría sismos de magnitud leve, (menor o igual a cuatro) y por tal razón, una minoría de las personas son los que los sienten y reaccionan a este tipo de eventos de emergencia.

Por otro lado, cada escenario se programa de acuerdo a la cantidad de entradas que se tendrán disponibles (dos, tres y cuatro entradas), el escenario base tiene programadas dos entradas debido a que este es el número de entradas que tiene habilitadas el *call center* de la IPS, cabe decir

que se realizan pruebas en escenarios que tengan habilitadas desde dos entradas porque la norma dicta que debe haber en un recinto al menos dos entradas donde estén laborando 50 personas o menos, debido a la combinatoria de los valores de las variables se realizarán 288 corridas.

6.2 Escenario con tres entradas

Este escenario que está representado en la Figura 10 se programa con los datos de la Tabla 5 pero con tres entradas disponibles para el proceso de evacuación.

6.3 Escenario con cuatro entradas

Este escenario que está representado en la Figura 10 se programa con los datos de la Tabla 5 ,pero con cuatro entradas disponibles para el proceso de evacuación.

7 Resultados

Teniendo en cuenta los objetivos del presente trabajo se observan los siguientes resultados:

Al realizar una revisión de literatura en la cual se logra caracterizar los comportamientos de las personas, donde se observa que dichos comportamientos son diversos y dependen del tipo y la intensidad del evento de emergencia, además se clasifican los artículos encontrados de acuerdo al tipo de evento, entornos analizados y análisis realizado en los artículos.

Posteriormente se construye un modelo de simulación basado en agentes siguiendo el protocolo ODD, en Netlogo® basado en los planos que suministra la IPS de Medellín del *call center*, donde se logra evidenciar que dicho espacio cumple con lo que indica la norma colombiana para la construcción de escenarios este tipo de actividades.

Una vez construido dicho modelo, se establecen tres posibles escenarios con los cuales se pretende analizar la influencia del comportamiento humano en situaciones de emergencia en *call centers*, la construcción de dichos escenarios se detalla en el capítulo seis del presente trabajo, donde se observan las principales características de cada escenario como las variables que intervienen en ellos, las medidas, cantidad de puestos entre otras.

Una vez construidos los diferentes escenarios, se realizan 288 corridas en Netlogo® para cada uno de ellos y los resultados que se encontraron se muestran en la siguiente sección del documento:

7.1 Resultados Análisis de Escenarios

Una vez se corre el modelo con dos, tres y cuatro entradas se observan los siguientes resultados en la Tabla 6 en cuanto promedio de evacuados y promedio en ticks:

Tabla 6 Resultados según cantidad entradas

| Cantidad Entradas | Evacuados | Ticks |
|--------------------------|------------------|--------------|
| 2 | 13,75 | 82,975 |
| 3 | 13,125 | 62,325 |
| 4 | 11,95 | 45,391 |

Un resultado que se logra evidenciar en los resultados que presenta la Tabla 6 es que la cantidad de personas que evacúan el recinto es muy similar independientemente de la cantidad de entradas que estén disponibles, por lo que se evidencia que la cantidad de personas evacuadas depende de la cantidad de personas altruistas que comunican el mensaje de evacuación en el recinto, mas no por la cantidad de salidas que tenga habilitadas el recinto.

Además, se evidencia que la cantidad de entradas influye significativamente en el tiempo de evacuación mas no en la cantidad de personas que evacúan el recinto, variable que depende de la cantidad de personas que se enteran del evento de emergencia en primera instancia y la cantidad de personas que saben de dicho evento y son altruistas.

Teniendo en cuenta la cantidad de personas con las que inicia cada corrida, se observa que, en porcentaje, la cantidad de personas que son evacuadas es aproximadamente el 30% en promedio, es decir, una de cada tres personas que estaban en el recinto reacciona ante el evento de emergencia y decide evacuar este porcentaje se mantuvo casi invariante al modificar el número de egoístas en cada corrida de la simulación.

Por otro lado, en la Figura 17, se observa el comportamiento que tuvo la cantidad de personas evacuadas, este valor se compone de personas altruistas y egoístas que logran salir del recinto, donde en comparación, de la cantidad de personas iniciales que saben del evento, las personas

evacuadas son más, pero no con una gran diferencia, por lo que se deduce que las personas altruistas tuvieron poca comunicación con las personas que no supieron del evento.

Además, en dicha figura se observa un tiempo de reacción en los primeros instantes, al igual que en los escenarios en los cuales se hicieron pruebas por separado para las personas altruistas y egoístas y después cada persona empieza a evacuar en los siguientes instantes el recinto, es decir, este tiempo de reacción es común en todos los escenarios.

Igualmente se observa que la cantidad personas que evacúan es mayor que la cantidad de personas que saben del evento en instantes iniciales, pero no con una gran diferencia, por lo que se deduce que las personas altruistas tuvieron poca comunicación con las personas que no supieron del evento.

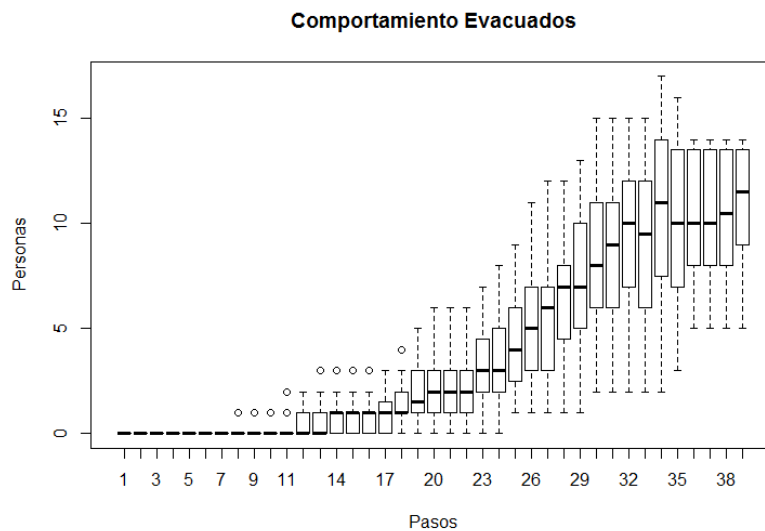


Figura 17 Comportamiento Evacuados Modelo mixto (altruistas y egoístas). Fuente:

Construcción propia

Asimismo, se evidencia que la comunicación que tienen las personas altruistas con las personas que no saben del evento de emergencia, depende la distancia que hay entre personas, es decir, una persona altruista se comunica con alguien que no sabe del evento si éste alguien está en un rango de distancia en el cual se pueda establecer una comunicación.

Por otro lado, la cantidad de personas altruistas influye proporcionalmente en la cantidad de personas que evacúan el recinto, es decir, entre más personas altruistas hay, mayor es la cantidad de personas que evacuan dicho recinto laboral, debido a que habrá más personas comunicando el evento de emergencia.

Como se observa en Figura 18, el aumento en el número de salidas afecta directamente en la velocidad de evacuación, mas no en la cantidad de personas evacuadas, ya que dicha velocidad aumenta si se incrementa el número de salidas al recinto.

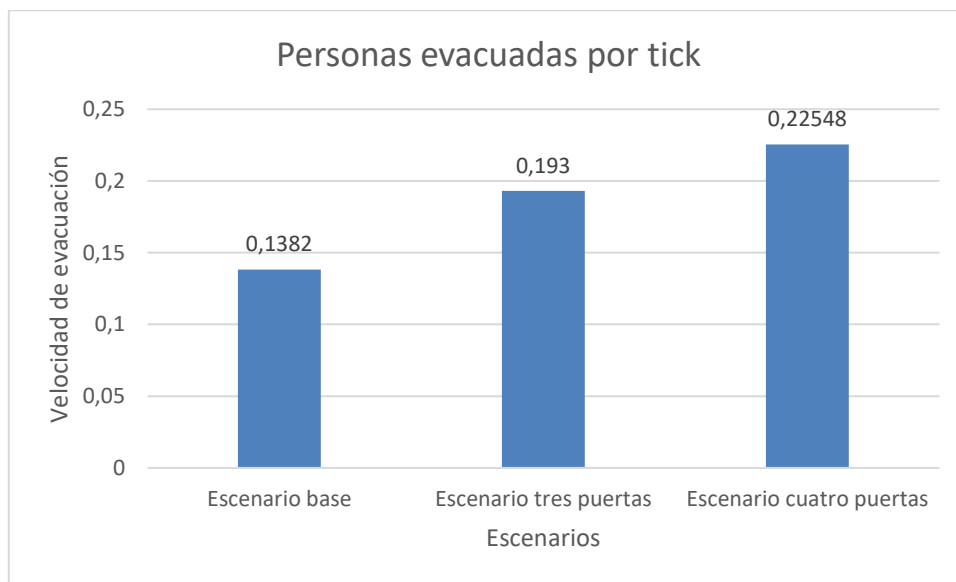


Figura 18 Velocidad de evacuación por escenarios

Por otro lado, observando la Figura 14, Figura 15 y la Figura 17, se observa una baja variabilidad en el comportamiento de la evacuación de personas altruistas, egoístas y mixta, lo que permite establecer de que el modelo es robusto, es decir, no cambian significativamente los resultados ante el cambio de las variables del mismo.

En la Tabla 7, se observan los resultados de velocidades de evacuación de cada escenario, donde se puede observar en primera instancia que entre más entgradas estén disponibles, más velocidad de evacuación se tiene en personas por instante de tiempo.

Tabla 7 Resultados velocidad de evacuación.

| Cantidad Salidas | Personas | Personas por tick |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 2 | 35 | 0.1111 |
| | 40 | 0.12 |
| | 42 | 0.1560 |
| | 44 | 0.1335 |
| | 45 | 0.1704 |
| 3 | 35 | 0.1770 |
| | 40 | 0.1906 |
| | 42 | 0.1991 |
| | 44 | 0.2004 |
| | 45 | 0.1979 |
| 4 | 35 | 0.2107 |
| | 40 | 0.2209 |
| | 42 | 0.2296 |
| | 44 | 0.2264 |
| | 45 | 0.2398 |

Además, se puede observar en la tabla, la cantidad de personas que está en el recinto del *call center* incide directamente en el tiempo de evacuación del mismo, de forma proporcional, según se esperaba entre más personas estén en el recinto, sin importar el número de salidas disponibles, siempre el tiempo de evacuación tiende a aumentar cuando hay más personas en el recinto.

Otro aspecto que se observa en la Tabla 7 tiene que ver con la velocidad de evacuación depende notoriamente de la cantidad de personas que reaccionan en los primeros instantes ante el evento de emergencia, es decir, entre más personas reaccionan, menor es el tiempo de evacuación del recinto, y dentro de esta cantidad de personas que reaccionan en los primeros instantes también influye la cantidad de personas altruistas que colaboran en dicho proceso de evacuación.

En cada escenario se evacuaron las personas teniendo cada elemento del escenario base, es decir, la misma distribución, sin cambios de puestos u obstáculos, y en todos los escenarios se logró evacuar las personas que se enteraron del evento de emergencia por su cuenta o porque algún compañero de trabajo que sabía de dicho le avisó oportunamente, evidenciando que las dimensiones y la cantidad de personas en el recinto no inciden significativamente en el tiempo de evacuación ni en la cantidad de personas evacuadas.

Teniendo en cuenta que lo que se busca es evacuar las personas que reaccionan en el recinto, se tiene que este objetivo se cumple desde el escenario base, es decir, teniendo dos salidas habilitadas para evacuar, con la diferencia que en los demás escenarios también se cumple dicho objetivo con mayor velocidad de evacuación.

Las dimensiones de los elementos que intervienen en el modelo de simulación y que la norma reglamenta, permiten evacuar las personas que reaccionan ante el evento de emergencia en

el recinto, ratificando la eficacia de dicha norma a la hora de realizar procesos de evacuación en escenarios en los cuales funcione un *call center*.

La superficie que se tiene designada a cada trabajador y las distancias entre los puestos de trabajo permiten realizar actividades de evacuación en eventos de emergencia, porque la distribución de los puestos de trabajo posibilita el tránsito de las personas para que puedan dirigirse a la salida más cercana sin causar daño entre las personas ni retrasos en el tiempo de evacuación, además de que el número de personas evacuadas en las diferentes corridas fue similar en los diferentes escenarios como se observa en los resultados que se presentan en la Tabla 7.

7.2 Conclusiones y trabajo futuro.

De forma general el trabajo alcanzó el objetivo general:

- Estudiar el grado de influencia del comportamiento humano en situaciones de emergencia en centros de servicio con el fin evaluar el efecto de políticas de mitigación en el marco de la normatividad colombiana.

El objetivo mencionado se alcanza debido a la consecución de los objetivos específicos de la siguiente forma:

- Caracterizar los posibles comportamientos que tienen las personas en situaciones de emergencia en un centro de servicio.

Este objetivo se alcanza debido a que se establece mediante la revisión de literatura, donde se observa que, aunque el comportamiento de las personas en situaciones de emergencia se debe al instinto, las personas reaccionan de forma racional dependiendo de la intensidad del evento, las

experiencias de la persona, el instinto, entre otros y pueden tener diversos comportamientos a la hora de reaccionar ante una emergencia.

Además, en los resultados también se evidencia que las personas reaccionan de forma racional cooperativamente, o sea, dicha reacción puede permitir además actuar de forma altruista o egoísta dependiendo del grado o intensidad del evento de emergencia que se esté presentando y otros factores como la experiencia del individuo. En la Figura 8, se observa los tipos de comportamiento encontrados en la revisión de literatura presentada en este trabajo.

- Construir un modelo de simulación que permita representar situaciones de emergencia en centros de servicio, ajustado a la normatividad vigente en Colombia.

Para alcanzar este objetivo, se construyó un modelo de simulación basada en agentes en el cual se representa un *call center* de una IPS en Medellín, en cual están ubicadas 50 personas de acuerdo a la distribución que se muestra en Figura 13, donde también se representan la cantidad de personas que reaccionan de forma egoísta, altruista, la cantidad de personas que reaccionan en los primeros instantes de una emergencia y la cantidad de salidas que tiene dicho espacio para evacuar el recinto.

Para alcanzar este objetivo, se construyó un modelo de simulación basada en agentes en el cual se representa un *call center* de una IPS en Medellín, siguiendo la metodología ODD que estandariza la forma en que se debe construir modelos de simulación basada en agentes, en el software Netlogo® versión 6.0.

El dicho modelo se construyeron tres escenarios, el escenario base que es el que representa la forma en la que funciona el *call center* de la IPS que tiene habilitadas dos de las cuatro entradas que posee, el segundo escenario en el cual se habilita una tercera entrada adicional y el tercer

escenario en el cual se habilitan las cuatro entradas, para cada escenario se realizaron 288 corridas que se deben a la combinatoria de los valores de las variables del modelo.

Por otro lado, se tuvo en cuenta en la distribución de espacios, la representación de la norma colombiana en cuanto a la reglamentación que se debe seguir a la hora de construir dicho espacio de trabajo para el *call center*, como las dimensiones, la cantidad de personas en el espacio, entre otros que se muestran en dicha norma.

- Evaluar las diferentes políticas mediante la construcción de escenarios que mitiguen los impactos negativos existentes situaciones de emergencias.

Para la consecución de este objetivo se realizaron diversas corridas en el modelo de simulación construido, donde se tuvo en cuenta las variables de número de personas en el recinto, cantidad de personas que reaccionan en los primeros instantes de la emergencia, cantidad de dichas personas que son altruistas o egoístas y la influencia de cada una de esas variables en las variables respuesta o de salida del modelo las cuales son la cantidad de personas evacuadas y la velocidad de evacuación del recinto.

En los resultados que se obtuvieron se observa que en los escenarios analizados, el seguimiento a la norma colombiana es importante para obtener mayor cantidad de personas evacuadas en una emergencia, debido a que las dimensiones de espacios, la capacidad del recinto en cuanto a personas en el recinto y demás detalles que exige dicha norma, pueden influir en el resultado exitoso del proceso de evacuación y la velocidad en la cual desalojan las personas.

Asimismo, se observa que en cada escenario se logra evacuar que reacciona ante el evento de emergencia, por tal motivo se recomienda seguir estrictamente los lineamientos que la norma dicta

en cuanto a las dimensiones de los espacios, capacidad del recinto y cantidad de salidas, y si se desea mejorar la velocidad de evacuación, se debe aumentar la cantidad de salidas.

Como trabajo futuro se propone estudiar el efecto que pueda tener variación de la distribución física de puestos en la cantidad de personas evacuadas y en el tiempo de evacuación, además de la posición de las posibles entradas que puedan tener los recintos es posible que tengan una repercusión importante en los resultados.

Además, es deseable para una mejora futura se agregue un comportamiento en el cual se refleje interacción con los demás agentes del entorno, con el fin de mejorar las características de aprendizaje de cada agente basado en las posibles reacciones que se presenten con otros agentes o con elementos del entorno del *call center*.

Un aspecto para trabajo futuro es incorporar al modelo el comportamiento de las personas cuando se entrenan para reaccionar ante un evento de emergencia (orden de evacuación, tiempo de espera a reaccionar, comportamiento egoísta), con el fin de realizar una comparación de los resultados en las variables de respuesta del modelo (cantidad de personas evacuadas y tiempo de evacuación).

Para trabajo futuro también se recomienda tener en cuenta espacios en los cuales el personal no sea de alta rotación ni de servicios tercerizados, con el fin de incluir agentes que tengan roles de líderes de evacuación, con el propósito de analizar el comportamiento que puedan tener las variables resultado con la inclusión de dichos agentes.

Referencias

- Abreu, O. V., Alvear, D., Cuesta, A., Alonso, V., Gidai, G., & Investigación, I. (2011). Enfoque estocástico en el modelado y simulación computacional de la evacuación, (1).
- Albacete., C. H. U. de. (2014). Plan de emergencias. Recuperado el 30 de abril de 2016, a partir de http://www.chospab.es/plan_emergencias/tipos.htm
- AlBattat, A. R., & MatSom, A. P. (2014). Emergency Planning and Disaster Recovery in Malaysian Hospitality Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 144, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.272>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1994). Decreto 1295 de 1994, 1994(41).
- Allehaux, D., & Tessier, P. (2002). Evaluation of the functional obsolescence of building services in European office buildings. *Energy and Buildings*, 34(2), 127–133. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00104-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00104-9)
- Alles, M. (2015). *Diccionario de comportamientos. La trilogía*. (E. Granica, Ed.) (Segunda Ed). Buenos Aires: Ediciones Granica.
- Alonso, V., Abreu, O., Cuesta, A., & Alvear, D. (2014). An Evacuation model for risk analysis in Spanish Road Tunnels. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162(Panam), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.201>
- Alvear, D., Abreu, O., Cuesta, a., & Alonso, V. (2014). A new method for assessing the application of deterministic or stochastic modelling approach in evacuation scenarios. *Fire*

Safety Journal, 65, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.02.005>

Ariño, M. L. (2013). ¿QUÉ ES UN MODELO CIENTÍFICO? Introducción al MODELO T.

Recuperado el 1 de septiembre de 2015, a partir de <http://www.editorialbruno.com.pe/MarinoLaTorre/?p=297>

Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. L. (2000). *DM Nicol, Discrete-Event System Simulation*. Prentice hall Englewood Cliffs, NJ, USA.

Barcelona, U. A. de. (2014). Protocolo ODD. Recuperado el 23 de noviembre de 2015, a partir de <http://sct.uab.cat/llds/es/content/protocolo-odd>

Bernardini, G., D’Orazio, M., Quagliarini, E., & Spalazzi, L. (2014). An agent-based model for earthquake pedestrians’ evacuation simulation in Urban scenarios. *Transportation Research Procedia*, 2, 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.050>

Bleger, J. (1969). *Psicología De La Conducta (Vol.5)*. Centro Editor de America Latina., 1–181.

Bode, N. W. F., & Codling, E. A. (2013). Human exit route choice in virtual crowd evacuations. *Animal Behaviour*, 86(2), 347–358. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.05.025>

Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics to Agent Based Modeling. *Simulation*, 66(11), 25–29.

Candamil, E. M., & Grajales S., G. (1998, marzo). Curso Comportamiento humano, 488.

Cazau, P. (2008). Teoría de los rumores. Recuperado el 9 de marzo de 2015, a partir de <http://ethosvirtual.blogspot.com/2008/06/teoria-de-los-rumores.html>

- Chen, G., Shen, H., Chen, G., Ye, T., Tang, X., & Kerr, N. (2015). A new kinetic model to discuss the control of panic spreading in emergency. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *417*, 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.09.055>
- Chen, J., Wang, X., & Fang, Z. (2016). Collaborative Evacuation Strategy of Ultra-tall Towers among Stairs and Elevators. *Procedia Engineering*, *135*, 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.102>
- Chen, P. H., & Feng, F. (2009). A fast flow control algorithm for real-time emergency evacuation in large indoor areas. *Fire Safety Journal*, *44*(5), 732–740. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.02.005>
- Congreso de Colombia. (1979). Ley 9 de 1979. *Igarss 2014*, 84.
- Cruddas, S. (2013). An introduction to structural equation modelling for emergency services and disaster research. *International Journal of Emergency Services*, *2*(2), 131–140. <https://doi.org/10.1108/IJES-07-2012-0031>
- D’Orazio, M., Spalazzi, L., Quagliarini, E., & Bernardini, G. (2014). Agent-based model for earthquake pedestrians’ evacuation in urban outdoor scenarios: Behavioural patterns definition and evacuation paths choice. *Safety Science*, *62*, 450–465. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.09.014>
- Ding, N., Zhang, H., Chen, T., & Luh, P. B. (2014). Evacuees’ behaviors of using elevators during evacuation based on experiments. *Transportation Research Procedia*, *2*, 594–602. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.100>

- Drabek, T. E., & McEntire, D. A. (2003). Emergent phenomena and the sociology of disaster: lessons, trends and opportunities from the research literature. *Disaster Prevention and Management*, 12(2), 97–112. <https://doi.org/10.1108/09653560310474214>
- Drury, J., Cocking, C., Reicher, S., Burton, A., Schofield, D., Hardwick, A., ... Langston, P. (2009). Cooperation versus competition in a mass emergency evacuation: a new laboratory simulation and a new theoretical model. *Behavior research methods*, 41(3), 957–970. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.3.957>
- Fry, J., & Binner, J. M. (2015). Elementary modelling and behavioural analysis for emergency evacuations using social media. *European Journal of Operational Research*, 249(3), 1014–1023. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.049>
- Gilbert, G., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*.
- Gilbert, N. (1994). Simulating Social Dynamics. *Advances in statistical software*, 153–160.
- Gilbert, N. (2004). Agent-based social simulation: dealing with complexity. *The Complex Systems Network of Excellence*.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (1999). *Simulation for the Social Scientist*.
- Gonzalez Vanegas, A. M. (2014). *Análisis de las estrategias usadas por los servicios de tercerización de procesos de negocios (call center) en Colombia de frente a la fidelización de los clientes*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760–2768.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019>

Groner, N. E. (2016). A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies. *Fire Safety Journal*, 80, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.11.002>

Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment*, 34(6), 741–749. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00057-2)

Heath, S. E., Kass, P. H., Beck, A. M., & Glickman, L. T. (2001). Human and pet-related risk factors for household evacuation failure during a natural disaster. *American Journal of Epidemiology*, 153(7), 659–665. <https://doi.org/10.1093/aje/153.7.659>

Hiyoshi, H., & Okabe, A. (2014). Evacuation plan assessment system for universities. *Transportation Research Procedia*, 2, 681–684. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.074>

Hoeger, H. (2008). Introducción a la simulación, 1–18.

Hoeger, H. R. (2010). Pasos En Un Estudio De Simulación. *Introducción a la Computación Paralela*, 20.

Holguín-Veras, J., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., Pérez, N., & Wachtendorf, T. (2012). On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30(7–8), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.08.003>

Hoogendoorn, M., Jonker, C. M., Treur, J., & Verhaegh, M. (2009). Agent-based analysis and support for incident management. *Safety Science*, 47(8), 1163–1174.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.002>

Hou, L., Liu, J. G., Pan, X., & Wang, B. H. (2014). A social force evacuation model with the leadership effect. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 400, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.049>

Hughes, B. P., Newstead, S., Anund, a., Shu, C. C., & Falkmer, T. (2014). A review of models relevant to road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 74, 250–270. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.003>

Huo, F., Song, W., Chen, L., Liu, C., & Liew, K. M. (2016). Experimental study on characteristics of pedestrian evacuation on stairs in a high-rise building. *Safety Science*, 86, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.025>

Huo, F. Z., Song, W. G., Liu, X. D., Jiang, Z. G., & Liew, K. M. (2014). Investigation of human behavior in emergent evacuation from an underground retail store. *Procedia Engineering*, 71, 350–356. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.050>

Huo, L., Huang, P., & Fang, X. (2011). An interplay model for authorities' actions and rumor spreading in emergency event. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(20), 3267–3274. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.05.008>

Izquierdo, L. R., Galán Ordax, J. M., . Santos, J. I., & Del Olmo Martínez, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (16), 85. <https://doi.org/10.5944/empiria.16.2008.1391>

- Jeon, G. Y., Kim, J. Y., Hong, W. H., & Augenbroe, G. (2011). Evacuation performance of individuals in different visibility conditions. *Building and Environment*, 46(5), 1094–1103. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.010>
- Joo, J., Kim, N., Wysk, R. a., Rothrock, L., Son, Y. J., Oh, Y. G., & Lee, S. (2013). Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 32, 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.12.007>
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Kontovourkis, O. (2012). Design of circulation diagrams in macro-scale level based on human movement behavior modeling. *Automation in Construction*, 22, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.10.002>
- Koo, J., Kim, B. I., & Kim, Y. S. (2014). Estimating the effects of mental disorientation and physical fatigue in a semi-panic evacuation. *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2379–2390. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.09.036>
- Koo, J., Kim, Y. S., & Kim, B. I. (2012). Estimating the impact of residents with disabilities on the evacuation in a high-rise building: A simulation study. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 24, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.02.003>
- Koo, J., Kim, Y. S., Kim, B. I., & Christensen, K. M. (2013). A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.017>

- Kuligowski, E. D. (2009). The Process of Human Behavior in Fires. *Technology*, 1632, NIST Technical Note.
- Kuligowski, E. D., & Mileti, D. S. (2009). Modeling pre-evacuation delay by occupants in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001. *Fire Safety Journal*, 44(4), 487–496. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.10.001>
- Larsson, G., & Enander, A. (1997). Preparing for disaster: public attitudes and actions. *Disaster Prevention and Management*, 6(1), 11–21. <https://doi.org/10.1108/09653569710162415>
- Li, C., Li, J., Hu, L., & Hou, D. (2014). Visualization and simulation model of underground mine fire disaster based on Cellular Automata. *Applied Mathematical Modelling*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.12.051>
- Li, J., Chen, Z., & Qin, T. (2013). Using Cellular Automata To Model.
- Liu, Y., Wang, W., Huang, H. Z., Li, Y., & Yang, Y. (2014). A new simulation model for assessing aircraft emergency evacuation considering passenger physical characteristics. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.09.001>
- Lovreglio, R., Borri, D., Dell’Olio, L., & Ibeas, A. (2014). A discrete choice model based on random utilities for exit choice in emergency evacuations. *Safety Science*, 62, 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.004>
- Lovreglio, R., Fonzone, A., dell’Olio, L., & Borri, D. (2016). A study of herding behaviour in exit choice during emergencies based on random utility theory. *Safety Science*, 82, 421–431. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.015>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979a). Resolución 2400 de 1979, 1979(mayo 22), 1–134.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979b). RESOLUCIÓN NUMERO 02413 de 1979 (Mayo 22). Recuperado a partir de <http://fondoriesgoslaborales.gov.co/documents/Normatividad/Resoluciones/Res-2413-1979.pdf>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1989). Resolución 1016 de Marzo 31 de 1989, 1–6.

Miyabe, M., Nadamoto, A., & Aramaki, E. (2014). How do rumors spread during a crisis? *International Journal of Web Information Systems*, 10, 394–412. <https://doi.org/10.1108/IJWIS-04-2014-0015>

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño de Experimentos*.

Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., ... Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models – ODD + D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.003>

Muñoz, A. (2006). *La Seguridad Industrial Fundamentos y Aplicaciones*. (Ministerio de industria y energía, Ed.). Madrid.

National Fire Protection Association. (2000). *NFPA 101 de Seguridad Humana Edición 2000* (2000a ed.). Nueva Orleans.

Nishino, T., Tanaka, T., & Hokugo, A. (2012). An evaluation method for the urban post-

- earthquake fire risk considering multiple scenarios of fire spread and evacuation. *Fire Safety Journal*, 54, 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.002>
- OIT. (2016). Seguridad y salud en el trabajo. Recuperado el 2 de mayo de 2016, a partir de <http://www.ilo.org/safework/lang--es/index.htm>
- Olsson, P. Å., & Regan, M. A. (2001). A comparison between actual and predicted evacuation times. *Safety Science*, 38(2), 139–145. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00064-3)
- Organización Mundial de la Salud. (2007, agosto). Salud de los trabajadores: plan de acción mundial 2008 - 2017, 12.
- Organización Mundial de la Salud. (2010). Entornos Laborales Saludables : Fundamentos y Modelo de la OMS. Contextualización, prácticas y literatura de apoyo., 144.
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Protección de la salud de los trabajadores. Recuperado el 2 de mayo de 2016, a partir de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs389/es/>
- Osiatis. (2014). Centro de servicios (Service Desk). Recuperado el 15 de junio de 2015, a partir de http://itil.osiatis.es/Curso_ITIL/Gestion_Servicios_TI/service_desk/vision_general_service_desk/vision_general_service_desk.php
- Oven, V. A., & Cakici, N. (2009). Modelling the evacuation of a high-rise office building in Istanbul. *Fire Safety Journal*, 44(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.02.005>
- Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., & Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *AI and Society*, 22(2), 113–132. <https://doi.org/10.1007/s00146-007-0126-1>

- Paul, B. K. (2012). Factors Affecting Evacuation Behavior: The Case of 2007 Cyclone Sidr, Bangladesh. *The Professional Geographer*, 64(3), 401–414. <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.609780>
- Pérez Arribas, F., Piñeiro, A. L., Cosma, E. P., & Donoso Morillo, R. (2005). Simulación del movimiento de personas. Aplicación a la evacuación de buques. *Iberoamericana, Revista Industrial, Informatica*, (March), 78–88. <https://doi.org/10.4995/riai.v2i4.10452>
- Periódico El tiempo. (2001, mayo 17). LOS CALL-CENTER EN COLOMBIA. *Periódico El tiempo*, p. 1. Medellín.
- Pires, T. T. (2005). An approach for modeling human cognitive behavior in evacuation models. *Fire Safety Journal*, 40(2), 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2004.10.004>
- Portafolio. (2013, julio). Mercado de “call center” ya mueve \$2 billones.
- Proulx, G. (1995). Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire Safety Journal*, 24(3), 229–246. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(95\)00023-M](https://doi.org/10.1016/0379-7112(95)00023-M)
- Purser, D. A., & Bensilum, M. (2001). Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Safety Science*, 38(2), 157–182. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00066-7)
- Revista Dinero. (2014, septiembre). Colombia ¿la próxima India de Contac Centers y BPO?
- Revista Dinero. (2015, diciembre). ¿Por qué Colombia es un país atractivo para los call center?
- Ronchi, E., Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., & Reneke, P. A. (2014). A probabilistic approach for the analysis of evacuation movement data. *Fire Safety Journal*, 63, 69–78.

<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.11.012>

Sagun, A., Bouchlaghem, D., & Anumba, C. J. (2011). Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(3), 1007–1019. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.12.001>

Sánchez Patrón, J. M. (2014). El inicio de la vida humana y el alcance de su protección jurídica en la jurisprudencia europea e internacional. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, 14, 435–483. [https://doi.org/10.1016/S1870-4654\(14\)70012-1](https://doi.org/10.1016/S1870-4654(14)70012-1)

Sharp, D. E., & Sharp, D. E. (2003). 1 – Introduction to call centers. En *Call Center Operation* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.1016/B978-155558277-7/50001-2>

Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., Chen, L., Zhou, Y., & Zhang, R. (2009). Developing a database for emergency evacuation model. *Building and Environment*, 44(8), 1724–1729. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.008>

Shields, T. J., & Boyce, K. E. (2000). Study of evacuation from large retail stores. *Fire Safety Journal*, 35(1), 25–49. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(00\)00013-8](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(00)00013-8)

Shiwakoti, N., Sarvi, M., & Burd, M. (2014). Using non-human biological entities to understand pedestrian crowd behaviour under emergency conditions. *Safety Science*, 66, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.01.010>

Smith, S. K., & McCarty, C. (2009). Fleeing the storm(s): an examination of evacuation behavior during Florida's 2004 hurricane season. *Demography*, 46(1), 127–145.

<https://doi.org/10.1353/dem.0.0048>

Sr, P., & Cid, F. (2012). Formulación de un modelo Multi-agente para el análisis de la generación de energía eléctrica a base de biomasa forestal , en una comunidad rural de la Región de los Ríos , Chile .

Tan, L., Hu, M., & Lin, H. (2015). Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency. *Information Sciences*, 295, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.09.029>

Tancogne-Dejean, M., & Laclémence, P. (2016). Fire risk perception and building evacuation by vulnerable persons: Points of view of laypersons, fire victims and experts. *Fire Safety Journal*, 80, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.11.009>

Tavares, R. M. (2010). Design for horizontal escape in buildings: The use of the relative distance between exits as an alternative approach to the maximum travel distance. *Safety Science*, 48(10), 1242–1247. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.03.009>

Tavares, R. M., & Galea, E. R. (2009). Evacuation modelling analysis within the operational research context: A combined approach for improving enclosure designs. *Building and Environment*, 44(5), 1005–1016. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.019>

Thompson, P. a, & Marchant, E. W. (1995). Computer and Fluid Modeling of Evacuation. *Safety Science*, 18(4), 277–289. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00036-3](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00036-3)

Thompson, P., Nilsson, D., Boyce, K., & McGrath, D. (2015). Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 78, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.004>

- Tse, A. C. B., So, S., & Sin, L. (2006). Crisis management and recovery: how restaurants in Hong Kong responded to SARS. *International Journal of Hospitality Management*, 25(1), 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2004.12.001>
- United Nations Department of Humanitarian Affairs. (1992). Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. *United Nations*, (December 1992), 81.
- Vermuyten, H. (2016). A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems. *SAFETY SCIENCE*, 87, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.001>
- Vorst, H. C. M. (2010). Evacuation models and disaster psychology. *Procedia Engineering*, 3, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.004>
- Wagner, N., & Agrawal, V. (2014). An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2807–2815. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.013>
- Wang, J., Zhang, L., Shi, Q., Yang, P., & Hu, X. (2015). Modeling and simulating for congestion pedestrian evacuation with panic. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 428, 396–409. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.01.057>
- Wei, Z. (2012). Application of computer simulation technology [CST] in buildings' performance-based fire protection design. *Procedia Engineering*, 37(Cems), 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.196>
- Wilson, J., & Oyola-Yemaiel, A. (2001). The evolution of emergency management and the advancement towards a profession in the United States and Florida. *Safety Science*, 39(1–2),

117–131. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(01\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(01)00031-5)

Wu, C. H., & Chen, L. C. (2012). 3D spatial information for fire-fighting search and rescue route analysis within buildings. *Fire Safety Journal*, 48, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.12.006>

Zarboutis, N., & Marmaras, N. (2007). Design of formative evacuation plans using agent-based simulation. *Safety Science*, 45(9), 920–940. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.029>

Zhan, X., Yang, L., Zhu, K., Kong, X., Rao, P., & Zhang, T. (2013). Experimental study of the impact of personality traits on occupant exit choice during building evacuation. *Procedia Engineering*, 62(1), 548–553. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.099>

Zhang, X., Li, X., & Hadjisophocleous, G. (2014). A probabilistic occupant response model for fire emergencies. *Fire Safety Journal*, 68, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.017>