



## Modelación y simulación de comportamientos humanos en situaciones de emergencia en un *call center*: una revisión crítica de literatura

### *Modeling and simulation of human behaviors in emergencies in call centers: a critical literature review*

Ronald Akerman Ortiz García  
Universidad de Antioquia  
ronald.ortiz@udea.edu.co

Yony Fernando Ceballos  
Universidad de Antioquia  
yony.cebillos@udea.edu.co

Elena Valentina Gutiérrez  
Universidad de Antioquia  
elena.gutierrez@udea.edu.co

(Tipo de Artículo: Revisión. Recibido: 05/12/2017. Aprobado: 13/01/2018)

**Resumen.** En este trabajo se presenta una revisión de literatura de la modelación y simulación de comportamientos humanos en situaciones de emergencia en un *call center*. Para la búsqueda se consultaron bases de datos bibliográficas como *Scopus*, *Scencedirect*, y *Emerald* entre otras, en las que, tras realizar un proceso estructurado de revisión bibliográfica, se encontraron más de 50 artículos. La clasificación de los artículos encontrados se hizo en cuatro categorías: (1) tipo de análisis, (2) tipo de emergencia, (3) tipo de entorno y (4) tipo de comportamiento. En los tipos de análisis de los artículos se encontró que la mayoría se enfocan en estudios estadísticos y heurísticos; los entornos analizados se enfocan principalmente en edificios de oficinas y de otros tipos como vivienda, y locales comerciales; el evento más analizado es el incendio; y en cuanto al tipo de comportamiento se encuentra que son diversas las formas en las cuales las personas reaccionan ante eventos de emergencia. Se encuentra en la literatura consultada la caracterización de los posibles comportamientos de las personas que pueden tener en un evento de emergencia, esto con el fin de tener una aproximación de tales comportamientos dentro de la simulación de eventos de emergencia.

**Abstract.** This paper presents a literature review of the modeling and simulation of human behaviors in emergency situations in a call center. For the search, bibliographic databases such as *Scopus*, *Scencedirect*, and *Emerald* were consulted, among others, in which, after carrying out a structured bibliographic review process, more than 50 articles were found. The classification of the articles found was done in four categories: (1) type of analysis, (2) type of emergency, (3) type of environment and (4) type of behavior. In the types of analysis of the articles it was found that most focus on statistical and heuristic studies; the analyzed environments focus mainly on office and other buildings such as housing, and commercial premises; the most analyzed event is the fire; and as for the type of behavior, it is found that the ways in which people react to emergency events are diverse. It is found in the literature consulted the characterization of the possible behaviors of people that may have in an emergency event, this to have an approximation of such behaviors within the simulation of emergency events.

**Palabras clave.** Modelación, Simulación, Comportamientos Humanos, Emergencias, *Call Centers*

**Keywords.** Modeling, Simulation, Human Behaviors, Emergencies, *Call Centers*

**DOI.** 10.21500/20275846.3329

### 1. Introducción

En la declaración de los derechos humanos se establece que toda persona tiene derecho a la vida [1], 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 [2]–[5]. En este orden, los aspectos regulados por las leyes colombianas son: salud puestos de trabajo, exposición a tóxicos, accidentes de trabajo y prevención de desastres [6], [7]. 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 [8].

Cada empresa tiene dentro de sus instalaciones personas trabajando en diversas labores. A cada puesto de trabajo se le asigna una persona la cual fue previamente seleccionada por sus aptitudes técnicas, físicas y comportamentales entre otras. Esas aptitudes, además del pánico generado por los eventos de emergencia, influyen en la reacción de cada individuo ante una situación de emergencia [5], [9]–[11].

Así, poder comprender, modelar y simular el comportamiento de las personas en diferentes situaciones de emergencia, constituye un problema de investigación pertinente, de modo que permita orientar y

definir la mejor forma de representar dicha situación, y brinde una herramienta de apoyo para orientar los esfuerzos en miras a salvaguardar la seguridad de las personas en entornos laborales.

El objetivo de este artículo es presentar una revisión de literatura que permita describir el problema planteado, donde se muestren los conceptos que intervienen en dicha problemática y que además se vislumbren los trabajos que hacen parte del estado del arte, donde diversos autores trabajan problemas similares con diferentes metodologías de acuerdo con los diferentes puntos de vista de estos.

Un centro de servicio se define como el punto de contacto de la organización (área de Tecnología de Información, TI) con clientes y usuarios [12] dentro del cual están enmarcados los *call centers*. Desde la infraestructura es importante que dicho centro sea fácilmente accesible y se haya diseñado con las respectivas normas de seguridad para mitigar las consecuencias de las posibles situaciones de emergencia que se puedan presentar. Otra característica de los centros de servicio es que generalmente las actividades de soporte deben ser prestadas generalmente en horario 24/7, por tanto, las locaciones donde se prestan este tipo de actividades deben estar acondicionadas para ser desalojadas o manejar situaciones de pánico. Un *call center* es un tipo de centro de servicio mediante el cual se gestionan las llamadas de entrada y salida de la organización.

Los diferentes tipos de simulación permiten comprender la forma en la cual los grupos humanos involucrados en el proceso de evacuación actúan, y cuál es su reacción a la implementación de políticas asociadas al entrenamiento y perfil del individuo [13], [14]. De este modo, en este trabajo se hace una revisión de los diferentes tipos de simulación, con el objetivo de identificar cuál es el que mejor se ajusta para modelar el objeto del problema de investigación.

El artículo está organizado de la siguiente forma. Primero, se presenta la revisión de la literatura, detallando el método de construcción, y la clasificación utilizada. Luego, se presenta una revisión crítica de la literatura, haciendo un análisis de los hallazgos, e identificando caminos de acción para el problema de investigación. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

## 2. Revisión de Literatura

El objetivo de la revisión de la literatura es establecer las bases de los conceptos para la modelación y simulación del comportamiento humano en situaciones de emergencia en *call centers*. De igual forma se busca identificar el grado de avance del conocimiento en el campo y las brechas de investigación existentes.

Existen diversas formas para realizar una revisión de bibliografía [15], sin embargo, para este artículo se escogieron los principales términos del objeto de investigación, luego se realizaron diversas búsquedas

en bases de datos bibliográficas de cada uno de los términos. Posteriormente se clasificaron los artículos encontrados de acuerdo con las líneas temáticas de cada artículo y se analizaron los resultados encontrados

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:

- 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 52 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.

### 2.1 Sistemas de Emergencias

Una emergencia, debido a su naturaleza, puede suceder en cualquier momento ya que es un evento imprevisto que necesita atención inmediata [16]. Las emergencias se clasifican según su gravedad en: conato de emergencia, emergencia parcial y emergencia general [17]. Las emergencias además se estudian según el tiempo de acuerdo al momento en el cual transcurre el evento que está generando la emergencia (antes, durante y después). De esta forma, en la etapa previa a la situación de emergencia (el antes) se estudian las posibles acciones que se planean para emprender en un evento de emergencia, en el durante se analizan 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 [18].

Los eventos que generan situaciones de emergencia son diversos y pueden suceder en cualquier sitio [2], [19]–[23]. Asimismo los eventos que generan situaciones de emergencia son diversos y pueden suceder en cualquier momento y lugar, estos eventos, según la UNDRP (*United Nations Disaster Relief Organization*), se denominan desastres [16]. Entre el conjunto de desastres se cuentan los incendios,

terremotos, erupción de volcán, entre otros. Las consecuencias de dichos eventos pueden afectar diversos entornos entre ellos el entorno laboral.

Por otro lado, la UNDRP hace énfasis en que los términos desastre y *Catastrophe* (del idioma francés) son lo mismo, mientras que 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 [18]. Adicionalmente, un desastre puede presentarse en áreas de trabajo o zonas industriales, por lo que 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 [24].

Así como la OMS se ha pronunciado con respecto al tema de seguridad y salud en el trabajo, por su parte 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 desempeña cada labor [25].

Teniendo en cuenta lo dicho hasta el momento y sabiendo que durante eventos de emergencia en entornos laborales es complejo determinar cuál será la reacción o de qué forma se comportarán las personas [26], cobra importancia contar con espacios que cumplan las normas de seguridad y bienestar para evacuarlos eficientemente, y dichas normas deben estar alineadas a la normatividad vigente en Colombia [6], [7].

Los incendios son eventos ampliamente estudiados, de hecho, es el evento del cual se encuentra más referencias en el campo de la ciencia. Estos esfuerzos provienen de diversas áreas de la ciencia debido a las consecuencias en términos de vidas humanas y pérdidas materiales que pueden llegar a ocasionar [2], [3], [5], [10], [22], [27]–[41].

## 2.2 Call Centers

Como se ha dicho, los centros de servicio son el punto de contacto que tiene una organización con clientes y usuarios. Dichos centros de servicio, dependiendo de la amplitud y profundidad de los servicios que ofrece la organización pueden ser:

- *Call centers*: Su objetivo es gestionar un alto volumen de llamadas las cuales pueden ser de entrada y también de salida.
- Centro de soporte: Primera línea de soporte técnico, atienden en primera instancia las solicitudes de soporte que no requieren la ayuda de un agente especializado.
- *Service desk*: Es la interfaz para clientes y usuarios de todos los servicios de TI ofrecidos por la organización [42].

Los denominados *call center* existen 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 que prestan sus servicios en las diferentes ciudades del país y que se posicionan en el mercado de los *call center* [43]–[46].

Por otra parte, teniendo en cuenta la diversidad de personas que trabajan en un *call center*, y la incertidumbre de la situación y la reacción que tiene cada persona ante cualquier emergencia [47], es importante contar con espacios que cumplan las normas de seguridad y bienestar para evacuarlas eficientemente, por lo que dichas normas deben estar alineadas a la normatividad vigente en Colombia [6], [7].

El aspecto más importante de la seguridad de un edificio de oficinas en los cuales funcionan los *call centers* en situación de emergencia es contar con la posibilidad de un escape seguro para ese tipo de situaciones, por lo que en sus instalaciones se deben contar con las condiciones de infraestructura necesarias que permitan reaccionar ante un evento de emergencia.

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 [3].

En una situación de emergencia, sin importar el lugar de dicha emergencia, las personas tienen una alta tendencia a reaccionar de forma diferente, por lo que se hace necesario determinar la forma en la cual se comportarán en tales eventos realizando estudios que arrojen aproximaciones de ello [3], [48], [49]. Igualmente, si se requiere evacuar un escenario tal como edificio de oficinas como en las cuales funcionan los *call center*, puede ser de gran ayuda determinar la forma en la cual se comportarán los ocupantes en este caso los trabajadores de dicho *call center* con el fin de evacuar de forma eficiente el mayor número de personas en el menor tiempo posible, por esta razón se han realizado diversos estudios para contribuir con tal premisa. [19], [23], [36], [50]–[53]

En el mismo sentido, 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 [54], por lo tanto, 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 de oficinas.

Adicionalmente, la norma colombiana señala 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 [54].

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 [55]. 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, por lo que se evidencia que la norma internacional está alineada con la norma colombiana.

### 2.3 Comportamiento Humano

Existen autores que afirman que comportamiento humano y conducta humana son conceptos diferentes, pero se evidencia en la bibliografía consultada que son más los autores que toman aseveran que dichos términos son sinónimos, por lo que para el presente artículo se tomará el término comportamiento humano como único concepto [56], [57]. El comportamiento se define como la forma de actuar de cada persona 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 el cual puede definir la forma de reaccionar de cada ser ante diferentes situaciones que se le presenten. [58].

Adicionalmente se debe establecer el papel que juega en el ser humano su comportamiento, es propio de cada ser y 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 forma en que reacciona un animal ante un estímulo se limita por factores físicos y el grado de desarrollo de su sistema nervioso, por lo que dicha reacción está regida por procesos evolutivos que ha formado la especie a la que pertenece. Por su parte, el hombre es adaptable y puede variar sus respuestas para entrar en relación con una variedad de estímulos mayor [58], 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.

Por otra parte, 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 poco usuales a su cotidianidad. En dichos casos el instinto es el que juega un papel muy importante, 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” [58] (p. 23).

Adicionalmente, el comportamiento instintivo no debe nada a la experiencia, aunque a veces dicho comportamiento puede modificarse mediante 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, por lo que este factor 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 [47] lo que hace que exista alta complejidad para reproducirlas en modelos.

Desde el campo de la investigación, se han realizado diversos intentos de modelar el comportamiento humano en situaciones de emergencia, en intentos que datan desde la década de 1950 [8], [22], [30], [59]–[63]. En dichas investigaciones, se han 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 [64].

A su vez la investigación de desastres ha avanzado a través del tiempo, a tal punto que se ha llegado a implementar investigaciones con tecnología de punta y a realizar diseños y técnicas de análisis a través de la utilización de múltiples etapas, cada vez más especializados y complejos incluyendo diversos modelos estadísticos para intentar determinar los procesos clave de la reacción humana en respuesta para casos de desastre [34], [65].

En este sentido, varios estudios hacen referencia al comportamiento de las personas en el transcurso de un evento de emergencia que se puede presentar en diversos escenarios [19], [64], [66]–[68]. 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 [22].

En otras áreas de la ciencia el uso de organismos modelo como sustitutos para los seres humanos es un lugar común, como lo es 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 [69], con el fin de probar si las multitudes en pánico muestran rasgos genéricos independientemente de la especie.

En la búsqueda bibliográfica realizada para la presente investigación, no se encontraron estudios documentados en los cuales se modele el comportamiento de las personas en situaciones de emergencia en Colombia. Al hacer una revisión de la literatura de los trabajos publicados en diferentes bases de datos bibliográficas 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 [2], [5], [8], [9], [27], [35], [59]–[62], [70]–[73].

## 2.4 Simulación

En muchos ámbitos de la ciencia es necesario replicar determinados eventos para poder estudiar y analizar resultados [74]. 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 [40], [70].

Para comprender lo que sucede en situaciones de pánico, es necesario usar herramientas que permitan replicar la situación que es de objeto de estudio, porque bajo dicha replicación puede estar la solución a un determinado problema [75], una de las herramientas que permiten hacerlo es modelación, que permite abstraer de la realidad eventos en los cuales se deben analizar y comprender su naturaleza, una vez que se ya se construya el modelo, se da paso a la simulación.

A su vez desde la simulación es posible representar la realidad de acuerdo con ciertas características de esta, 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 momentos de pánico.

En un modelo existen 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 se puede hacer mediante 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 debe validar durante el desarrollo del proyecto y no al final.

Por otra parte, hacer comparaciones con el sistema real es preferible para validar el modelo, aunque no siempre es posible. Algunas veces es posible modelar analíticamente el sistema usando supuestos, donde los resultados que se tienen de la teoría se pueden

comparar con los que arroja el modelo. Para verificar el modelo existen diferentes técnicas que permiten realizar dicha tarea entre las cuales están los casos simplificados y los valores extremos [76]

Por su parte, la simulación es 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 [77].

Dentro del campo de la simulación se reconocen los siguientes tipos:

- 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.

La simulación Monte Carlo ha sido aplicada en diversos tipos de problemas dentro de los cuales se puede mencionar una validación hecha mediante esta metodología comparando los valores obtenidos mediante costo de incertidumbre con la fórmula analítica y valor esperado de la simulación de Monte Carlo en un entorno en el cual se realiza una formulación de funciones de costo de incertidumbre en pequeñas centrales hidroeléctricas dentro de una microgrid [78].

Asimismo, se ha encontrado en la simulación un método útil que permite representar situaciones hipotéticas mediante aproximaciones a la realidad [5], [9], [22], [30], [47], [64], [79]–[83]., lo que permitiría realizar un estudio en el comportamiento de las personas en situación de emergencia en Colombia enfocado a *call centers*.

Por este sentido, han surgido varios modelos para describir el comportamiento del pánico de las personas en situaciones de emergencia [8], [30], [59]–[61] hecho que demuestra el interés de la comunidad científica en

el tema de manejo de emergencias en diversas áreas del conocimiento.

Uno de los estudios que encontrados es el de Chen et al. (2015) en el cual los investigadores 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 Poincaré-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.

En este sentido y según [64] 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 como en el estudio que se cita que enfocó en emergencias en buques [64].

Asimismo, 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.

Por otro lado, se encontró que se usan simulaciones basadas en modelos numéricos, y 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 [9], además se hacen diversas aproximaciones desde diferentes áreas para estudiar este tipo de eventos [2], [3], [27]–[32]

Asimismo, es posible que en la situación de emergencia se puedan presentar casos de competición vs cooperación [79], 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.

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 [75], una de las herramientas 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.

Una vez se tiene el modelo, desde la simulación es posible representar la realidad de acuerdo con ciertas características de la misma, es decir, una aproximación 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 [4], [9].

De este modo se destaca un estudio donde se 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 “fuerza 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 [49].

Asimismo, 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 [27].

Por otra parte, 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). Por ejemplo, Kuligowski describe en su estudio factores que influyen en las personas para tomar acciones durante la evacuación y se proponen investigaciones futuras para mejorar el modelo de predicción [27].

Un factor que incide de forma directa en las situaciones de emergencia es la fatiga, ya que puede hacer que un individuo no responda de forma adecuada (obedeciendo las normas de evacuación) en casos de emergencia [84]. 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).

A su vez, el pánico generado por las emergencias o por el rumor de alguna emergencia se estudia desde diversos puntos de vista, como por ejemplo se puede citar un estudio donde 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 [71].

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 [77], 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 los cuales representan la interacción de las personas en situaciones de emergencia [9], [13], [66], [77], [82], [85]–[90], que es el área en el cual se centra el presente artículo.

Para hacer modelos en simulación basada en agentes existe el protocolo ODD (*Overview, Design concepts and Details*) la cual es la primera y la más usada metodología estructurada para realizar modelos de simulación basada en agentes y 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 [91]–[94].

### 3. Síntesis y revisión crítica del estado del arte

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 dicha tabla se tuvieron seis campos con el fin de clasificar la información encontrada como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1 Clasificación 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
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 específica	Edificios de oficinas	Múltiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Simulación
2009	Hoogendoorn, Jonker,	No específica	No específica	Metaheurística	N/A	Simulación

Año	Autores	Tipo de evento de emergencia	Entorno	Tipo de análisis	Tipo de comportamiento	Tema
	Treur Verhaegh					
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 específica	Edificios de oficinas	Heurística	Racionalidad	Simulación
2013	Xin Zhan, Lizhong Yanga, Kongjin Zhua, Xiaoming Kongb, Ping Raoa, Taolin Zhanga	No específica	Escuela	Estadístico	Diversos comportamientos	Comportamiento humano
2013	Nikolai W. F. Bode, Edward A. Codling	Diversos tipos de eventos	No específica	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 específica	Estadístico	Caso de estudio	Simulación

Año	Autores	Tipo de evento de emergencia	Entorno	Tipo de análisis	Tipo de comportamiento	Tema
2014	Marco D'Orazio, Luca Spalazzi, Enrico Quagliarini, Gabriele Bernardini	Terremoto	Areas publicas	Estadístico	Diversos comportamientos	Simulación
2014	Hisamoto Hiyoshi Atsuyuki Okabe	Terremoto	Universidades	Multiples acercamientos o aproximaciones	N/A	Comportamiento humano
2014	Ning Ding, Hui Zhanga, Tao Chena, Peter B. Luh	Incendio	Edificios	Heuristica	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	Multiples acercamientos o aproximaciones	N/A	Simulación
2014	Neal Wagner, Vikas Agrawal	Incendio	Diversos escenarios	Multiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Simulación
2014	Enrico Ronchi, 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	Multiples acercamientos o aproximaciones	Racionalidad	Comportamiento humano
2014	Nirajan Shiwakoti, Majid Sarvi, Martin Burd	No especifica	No especifica	Multiples acercamientos o aproximaciones	N/A	Comportamiento humano
2014	Isabella von Sivers, Anne Templeton, Gerta Köster, John Drury, Andrew Philippides	Diversos tipos de eventos	Diversos Escenarios	Multiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Comportamiento humano
2015	Peter Thompson, Daniel Nilsson, Karen Boyce,	No especifica	No especifica	Multiples acercamientos o aproximaciones	N/A	Simulación

Año	Autores	Tipo de evento de emergencia	Entorno	Tipo de análisis	Tipo de comportamiento	Tema
	Denise McGrath					
2015	Lu Tan, Mingyuan Hu, Hui Lin	Incendio	Edificios de oficinas	Heurística	Diversos comportamientos	Simulación
2015	Jinhuan Wang, Lei Zhang, Qiongyu Shib, Peng Yang, Xiaoming Huc	Diversos tipos de eventos	Áreas públicas	Múltiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Comportamiento humano
2016	Norman E.Groner	Incendio	Edificios de oficinas	Modelo de decisión	Racional cooperativo	+ Simulación
2016	Manuela Tancogne-Dejean, PatrickLaclemence	Incendio	Edificios de oficinas	Psicológico	Diversos comportamientos	Comportamiento humano
2016	Hendrik Vermuyten, Jeroen Beliën, Liesje De Boeck, Genserik Reniers, Tony Wauters	No específica	Edificios de oficinas	Revisión de literatura	N/A	Simulación
2016	Ruggiero Lovreglio, Achille Fonzone, Luigi dell'Olio, Dino Borri	Diversos tipos de eventos	No específica	Optimización estadística	Racionalidad	Comportamiento humano
2016	Juan-juan Chena, Xiaogang Wang, Zheng Fanga	Incendio	Edificios	Metaheurística	Racionalidad	Comportamiento humano
2016	John Fry, Jane M .Binner	Diversos tipos de eventos	No específica	Análisis 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
2017	Zhengchun Liua, Dolores Rexachsa, Francisco Epeldeb, Emilio Luquea	No específica	No específica	Múltiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Simulación
2017	Adelaida Fanfarová, Ladislav Mariš	Incendio	No específica	Múltiples acercamientos o aproximaciones	Diversos comportamientos	Simulación
2017	Ferney Sadid Molina Sanchez, Sergio Jair	N/A	N/A	Múltiples acercamientos o aproximaciones	N/A	Simulación

Año	Autores	Tipo de evento de emergencia	Entorno	Tipo de análisis	Tipo de comportamiento	Tema
	Pérez Sichacá, Sergio Raul Rivera Rodriguez					

Sintetizando la información encontrada se realizó un diagrama en el cual se clasifican por diferentes temas los artículos que fueron seleccionados para el presente artículo, los temas tenidos en cuenta para dicha clasificación fueron: (1) tipo de análisis, (2) tipo de emergencia, (3) tipo de entorno y (4) tipo de

comportamiento. En la figura 1, se observa los temas principales en los cuales se clasifica los estudios encontrados que conforman el presente estado del arte. En la misma figura también se destacan los dos subtemas que se encontraron en cada énfasis.

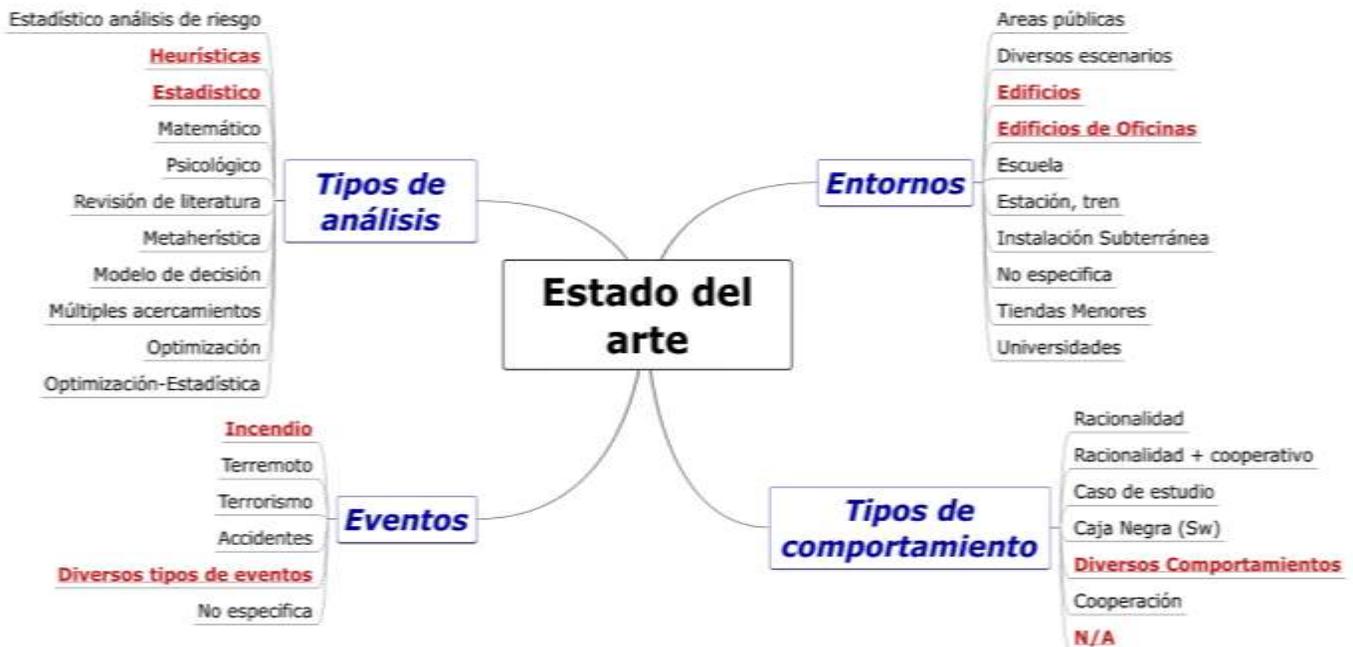


Figura 1. Temas estado del arte Fuente: Elaboración propia, 2016

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. En la figura 2 se muestran los tipos de análisis encontrados en la realización del presente estado del arte, en dicha figura se observa que los principales análisis de los estudios encontrados son de tipo estadístico que representan el 24.99% de los artículos encontrados, seguido de los que hicieron un análisis heurístico (17.07%) y de múltiples acercamientos o aproximaciones (17.07%) [11], [64], [95], [96].

Los tipos de eventos están resumidos en la figura 3, donde se ve que el mayor enfoque de los estudios son los incendios que representan el 43.9% de los artículos encontrados [5], [27], [31], [32]. También se encontraron estudios donde se realizan análisis de diferentes tipos de eventos en un mismo estudio (21.95%). Por otro lado, también se encuentra que en algunos artículos no especifican el tipo de entorno analizado (21.95%).

A su vez, los entornos del estado del arte son diversos, como las áreas públicas, los edificios en general [5], [97] que son el 34.15% de los artículos encontrados, seguido por los edificios de oficinas con un 26.83%, escuelas entre otros como se observa en la figura 4. En cantidad los estudios se enfocan a los edificios y edificios de oficinas principalmente.

Por otra parte, los tipos de comportamiento en los cuales se enfocan los estudios consultados para el presente trabajo investigativo se enfocan en general en diversos comportamientos (48.78% de los artículos encontrados), es decir, se observa que los autores mencionan comportamientos varios posibles que realizan las personas en situaciones de emergencia. 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 [5], [27], [73].

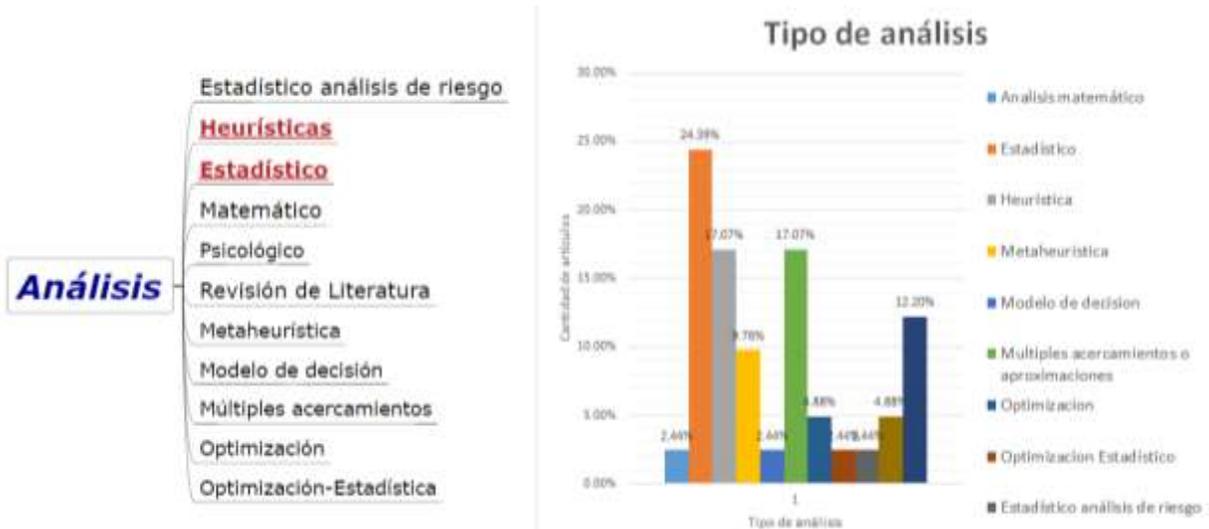


Figura 2. Tipos de análisis del estado del arte. Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 3. Tipos de eventos del estado del arte. Fuente: Elaboración propia, 2016

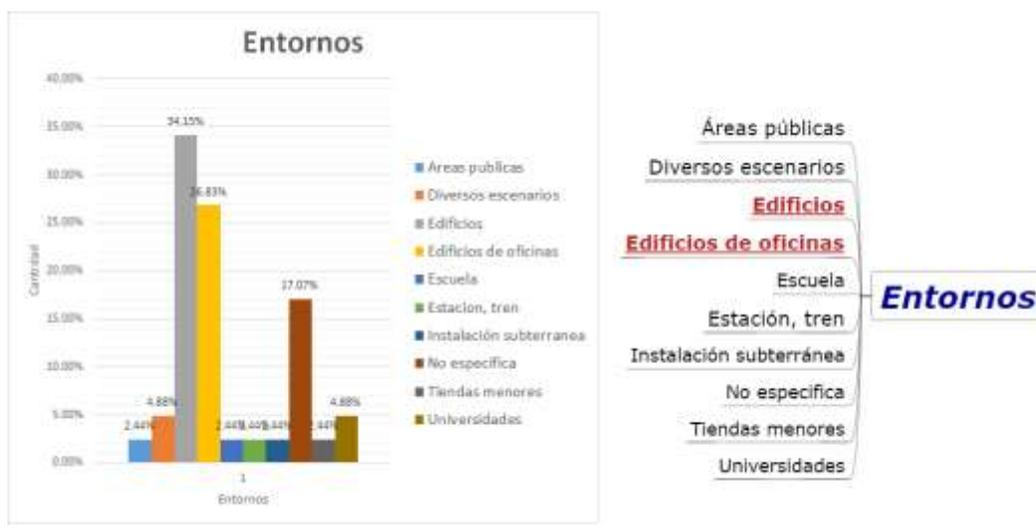


Figura 4. Tipos de entornos del estado del arte. Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 5. Tipos de comportamiento del estado del arte. Fuente: Elaboración propia, 2016

#### 4. Conclusiones

En este artículo se ha presentado una revisión del estado de la literatura de los trabajos que estudian el comportamiento humano en situaciones de emergencia en *call centers*. Para la revisión, se hizo primero una revisión estructurada en la que se identificaron los conceptos asociados a los sistemas de emergencia, los *call centers*, el comportamiento humano, y la simulación. Luego, para identificar de manera crítica el estado del arte, se presenta una síntesis de los aspectos que más inciden en los tipos de análisis, el entorno de ocurrencia de las emergencias, los eventos de emergencia, y los tipos de comportamiento humano.

De la revisión se puede concluir que un evento de emergencia se puede presentar en cualquier escenario, y se estudian en tres instantes de tiempo (antes, durante y después), donde en el antes se estudian actividades de prevención, en el durante se analizan las actividades de reacción inmediata y el después corresponden a actividades de refuerzo a la reacción, lecciones de aprendizaje para que en un próximo evento similar se minimice el impacto de dichos eventos.

Por otro lado, se observa que el evento sobre el cual se han realizado la mayor cantidad de estudios es el incendio, esto se debe a que este tipo de eventos se pueden presentar en diversos escenarios y porque la probabilidad de incidencia es alta independientemente del lugar donde se presente, es decir, es uno de los eventos más comunes que se presentan a diario en cualquier ámbito en el cual se encuentre el hombre y las causas de dichos eventos son diversas de origen natural o antropogénica (causada por el hombre).

Aunque los incendios hacen parte del tipo de evento más estudiado, se estudian otros eventos y se observa que el comportamiento de las personas es diverso ante un mismo tipo de evento, por lo que se estudian diversas formas de reacción en los eventos que se estudian en la comunidad académica. Desde diferentes áreas de la ciencia, se determina que la forma en la cual puedan

reaccionar las personas es diversa ante los eventos de emergencia, esto se debe a que cada persona reacciona de forma instintiva en dichos eventos.

Durante un proceso de evacuación, el comportamiento de las personas puede ser de carácter altruista (que se preocupará por salvarse a sí misma y a alguien más) o egoísta (que se preocupa únicamente por salvarse a sí misma) y los datos apuntan a que su comportamiento en los datos en el campo numérico, es decir, las cantidades de cada variable estudiada en los eventos simulados se comporta de forma similar, presentando la misma tendencia en los mismos lapsos de tiempo.

#### Referencias

- [1] J. M. Sánchez Patrón, "El inicio de la vida humana y el alcance de su protección jurídica en la jurisprudencia europea e internacional", *Anu. Mex. Derecho Int.*, vol. 14, pp. 435–483, 2014.
- [2] N. E. Groner, "A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies", *Fire Saf. J.*, vol. 80, pp. 20–29, 2016.
- [3] M. Kobes, I. Helsloot, B. de Vries, y J. G. Post, "Building safety and human behaviour in fire: A literature review", *Fire Saf. J.*, vol. 45, núm. 1, pp. 1–11, 2010.
- [4] A. Sagun, D. Bouchlaghem, y C. J. Anumba, "Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events", *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 19, núm. 3, pp. 1007–1019, 2011.
- [5] L. Tan, M. Hu, y H. Lin, "Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency", *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 295, pp. 53–66, 2015.
- [6] Alcaldía Mayor de Bogotá, "Decreto 1295 de 1994", vol. 1994, núm. 41, 1994.
- [7] Congreso de Colombia, "Ley 9 de 1979", *Igarss* 2014, p. 84, 1979.
- [8] G. Chen, H. Shen, G. Chen, T. Ye, X. Tang, y N. Kerr, "A new kinetic model to discuss the control of panic spreading in emergency", *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 417, pp. 345–357, ene. 2015.
- [9] J. Joo, N. Kim, R. a. Wysk, L. Rothrock, Y. J. Son, Y. G. Oh, y S. Lee, "Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation", *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 32, pp. 99–115, 2013.
- [10] M. Tancogne-Dejean y P. Laclémence, "Fire risk perception and building evacuation by vulnerable persons: Points of view of laypersons, fire victims and experts", *Fire Saf. J.*, vol. 80, pp. 9–19, 2016.

- [11] H. Vermuyten, "A review of optimisation models for pedestrian evacuation and design problems", *Saf. Sci.*, vol. 87, pp. 167–178, 2016.
- [12] E. Osiatis, "Centro de servicios (Service Desk)", 2015. [En línea]. Disponible en: [http://itil.osiatis.es/Curso\\_ITIL/Gestion\\_Servicios\\_TI/service\\_desk/introduccion\\_objetivos\\_service\\_desk/introduccion\\_objetivos\\_service\\_desk.php](http://itil.osiatis.es/Curso_ITIL/Gestion_Servicios_TI/service_desk/introduccion_objetivos_service_desk/introduccion_objetivos_service_desk.php). [Consultado: 15-sep-2015].
- [13] A. Borschhev y A. Filippov, "From System Dynamics to Agent Based Modeling", *Simulation*, vol. 66, núm. 11, pp. 25–29, 2004.
- [14] J. Aracil y F. Gordillo, *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial Madrid, 1997.
- [15] J. D. Velásquez, "Una Guía Corta para Escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 4", *Dyna*, vol. 82, núm. 189, pp. 9–12, 2015.
- [16] United Nations Department of Humanitarian Affairs, "Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management", United Nations, núm. December 1992, p. 81, 1992.
- [17] C. H. U. de Albacete., "Plan de emergencias", 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.chospab.es/plan\\_emergencias/tipos.htm](http://www.chospab.es/plan_emergencias/tipos.htm). [Consultado: 30-abr-2016].
- [18] J. Holguín-Veras, M. Jaller, L. N. Van Wassenhove, N. Pérez, y T. Wachtendorf, "On the unique features of post-disaster humanitarian logistics", *J. Oper. Manag.*, vol. 30, núm. 7–8, pp. 494–506, 2012.
- [19] J. Koo, Y. S. Kim, y B. I. Kim, "Estimating the impact of residents with disabilities on the evacuation in a high-rise building: A simulation study", *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 24, pp. 71–83, 2012.
- [20] V. A. Oven y N. Kakici, "Modelling the evacuation of a high-rise office building in Istanbul", *Fire Saf. J.*, vol. 44, núm. 1, pp. 1–15, 2009.
- [21] J. Wang, L. Zhang, Q. Shi, P. Yang, y X. Hu, "Modeling and simulating for congestion pedestrian evacuation with panic", *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 428, pp. 396–409, 2015.
- [22] N. Wagner y V. Agrawal, "An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster", *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, núm. 6, pp. 2807–2815, 2014.
- [23] P. a Thompson y E. W. Marchant, "Computer and Fluid Modeling of Evacuation", *Saf. Sci.*, vol. 18, núm. 4, pp. 277–289, 1995.
- [24] Organización Mundial de la Salud, "Protección de la salud de los trabajadores", 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs389/es/>. [Consultado: 02-may-2016].
- [25] OIT, "Seguridad y salud en el trabajo", 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.ilo.org/safework/lang-es/index.htm>. [Consultado: 02-may-2016].
- [26] D. Alvear, O. Abreu, a. Cuesta, y V. Alonso, "A new method for assessing the application of deterministic or stochastic modelling approach in evacuation scenarios", *Fire Saf. J.*, vol. 65, pp. 11–18, 2014.
- [27] E. D. Kuligowski, "The Process of Human Behavior in Fires", *Technology*, vol. 1632, p. NIST Technical Note, 2009.
- [28] Z. Wei, "Application of computer simulation technology [CST] in buildings' performance-based fire protection design", *Procedia Eng.*, vol. 37, núm. Cems, pp. 25–30, 2012.
- [29] U. Wilensky, K. Reisman, P. Taylor, y U. Wilensky, "All use subject to JSTOR Terms and Conditions An Embodied Modeling Approach Through Constructing and Testing Computational Theories? Thinking Like a Wolf, a Sheep, or a Firefly: Learning Biology", vol. 24, núm. 2, pp. 171–209, 2015.
- [30] C. Li, J. Li, L. Hu, y D. Hou, "Visualization and simulation model of underground mine fire disaster based on Cellular Automata", *Appl. Math. Model.*, pp. 1–14, dic. 2014.
- [31] T. Nishino, T. Tanaka, y A. Hokugo, "An evaluation method for the urban post-earthquake fire risk considering multiple scenarios of fire spread and evacuation", *Fire Saf. J.*, vol. 54, pp. 167–180, 2012.
- [32] C. H. Wu y L. C. Chen, "3D spatial information for fire-fighting search and rescue route analysis within buildings", *Fire Saf. J.*, vol. 48, pp. 21–29, 2012.
- [33] X. Zhang, X. Li, y G. Hadjisophocleous, "A probabilistic occupant response model for fire emergencies", *Fire Saf. J.*, vol. 68, pp. 41–51, 2014.
- [34] A. Fanfarová y L. Mariš, "Simulation tool for fire and rescue services", *Procedia Eng.*, vol. 192, pp. 160–165, 2017.
- [35] T. T. Pires, "An approach for modeling human cognitive behavior in evacuation models", *Fire Saf. J.*, vol. 40, núm. 2, pp. 177–189, 2005.
- [36] P. A. Thompson y E. W. Marchant, "A computer model for the evacuation of large building populations", *Fire Saf. J.*, vol. 24, núm. 2, pp. 131–148, 1995.
- [37] P. H. Chen y F. Feng, "A fast flow control algorithm for real-time emergency evacuation in large indoor areas", *Fire Saf. J.*, vol. 44, núm. 5, pp. 732–740, 2009.
- [38] G. Bernardini, E. Quagliarini, y M. D'Orazio, "Towards creating a combined database for earthquake pedestrians' evacuation models", *Saf. Sci.*, vol. 82, pp. 77–94, 2016.
- [39] J. Chen, X. Wang, y Z. Fang, "Collaborative Evacuation Strategy of Ultra-tall Towers among Stairs and Elevators", *Procedia Eng.*, vol. 135, pp. 170–174, 2016.
- [40] D. A. Purser y M. Bensilum, "Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations", *Saf. Sci.*, vol. 38, núm. 2, pp. 157–182, 2001.
- [41] R. M. Tavares y E. R. Galea, "Evacuation modelling analysis within the operational research context: A combined approach for improving enclosure designs", *Build. Environ.*, vol. 44, núm. 5, pp. 1005–1016, 2009.
- [42] Osiatis, "Centro de servicios (Service Desk)", 2014. [En línea]. Disponible en: [http://itil.osiatis.es/Curso\\_ITIL/Gestion\\_Servicios\\_TI/service\\_desk/vision\\_general\\_service\\_desk/vision\\_general\\_service\\_desk.php](http://itil.osiatis.es/Curso_ITIL/Gestion_Servicios_TI/service_desk/vision_general_service_desk/vision_general_service_desk.php). [Consultado: 15-jun-2015].
- [43] Revista Dinero, "Colombia ¿la próxima India de Contac Centers y BPO?", sep-2014.
- [44] Revista Dinero, "¿Por qué Colombia es un país atractivo para los call center?", dic-2015.
- [45] Periódico El tiempo, "LOS CALL-CENTER EN COLOMBIA", Periódico El tiempo, Medellín, p. 1, 17-may-2001.
- [46] Portafolio, "Mercado de 'call center' ya mueve \$2 billones", jul-2013.
- [47] O. V. Abreu, D. Alvear, A. Cuesta, V. Alonso, G. Gidai, y I. Investigación, "Enfoque estocástico en el modelado y simulación computacional de la evacuación", núm. 1, 2011.
- [48] X. Pan, C. S. Han, K. Dauber, y K. H. Law, "A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations", *AI Soc.*, vol. 22, núm. 2, pp. 113–132, 2007.
- [49] O. Kontovourkis, "Design of circulation diagrams in macro-scale level based on human movement behavior modeling", *Autom. Constr.*, vol. 22, pp. 12–23, 2012.
- [50] V. Alonso, O. Abreu, A. Cuesta, y D. Alvear, "An Evacuation model for risk analysis in Spanish Road Tunnels", *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 162, núm. Panam, pp. 208–217, 2014.
- [51] N. Ding, H. Zhang, T. Chen, y P. B. Luh, "Evacuees' behaviors of using elevators during evacuation based on experiments", *Transp. Res. Procedia*, vol. 2, pp. 594–602, 2014.
- [52] J. L. Garc, "IMPORTANCIA PEDAGÓGICA DE LOS EJERCICIOS DE EVACUACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS CENTROS EDUCATIVOS PÚBLICOS", 2011.
- [53] N. Bellomo, D. Clarke, L. Gibelli, P. Townsend, y B. J. Vreugdenhil, "Human behaviours in evacuation crowd dynamics: From modelling to ???big data??? toward crisis management", *Physics of Life Reviews*, vol. 18, 2016.
- [54] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, "RESOLUCIÓN NUMERO 02413 de 1979 (Mayo 22)", 1979. [En línea]. Disponible en: <http://fondoriesgoslaborales.gov.co/documents/Normatividad/Resoluciones/Res-2413-1979.pdf>.
- [55] National Fire Protection Association, NFPA 101 de Seguridad Humana Edición 2000, 2000a ed. Nueva Orleans, 2000.
- [56] M. Alles, *Diccionario de comportamientos*. La trilogía, Segunda Ed. Buenos Aires: Ediciones Granica, 2015.
- [57] J. Bleger, "Psicología De La Conducta (Vol.5)", Cent. Ed. Am. Lat., pp. 1–181, 1969.
- [58] E. M. Candamil y G. Grajales S., "Curso Comportamiento humano", Santiago de Cali, p. 488, mar-1998.
- [59] A. R. AlBattat y A. P. MatSom, "Emergency Planning and Disaster Recovery in Malaysian Hospitality Industry", *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 144, pp. 45–53, ago. 2014.
- [60] S. Cruddas, "An introduction to structural equation modelling for emergency services and disaster research", *Int. J. Emerg. Serv.*, vol. 2, núm. 2, pp. 131–140, 2013.
- [61] G. Larsson y A. Enander, "Preparing for disaster: public attitudes and actions", *Disaster Prev. Manag.*, vol. 6, núm. 1, pp. 11–21, 1997.
- [62] L. Hou, J. G. Liu, X. Pan, y B. H. Wang, "A social force evacuation model with the leadership effect", *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 400, pp. 93–99, 2014.
- [63] N. W. F. Bode y E. A. Codling, "Human exit route choice in virtual crowd evacuations", *Anim. Behav.*, vol. 86, núm. 2, pp. 347–358, 2013.

- [64] F. Pérez, A. López, E. Peter, y R. Donoso, "Simulación Del Movimiento De Personas. Aplicación a La Evacuación De Buques", *Riaii*, 2(4), 78-88., vol. 2, núm. 4, pp. 78-88, 2005.
- [65] E. D. Kuligowski y D. S. Mileti, "Modeling pre-evacuation delay by occupants in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001", *Fire Saf. J.*, vol. 44, núm. 4, pp. 487-496, 2009.
- [66] N. Zaboutis y N. Marmaras, "Design of formative evacuation plans using agent-based simulation", *Saf. Sci.*, vol. 45, núm. 9, pp. 920-940, 2007.
- [67] E. Ronchi, E. D. Kuligowski, R. D. Peacock, y P. A. Reneke, "A probabilistic approach for the analysis of evacuation movement data", *Fire Saf. J.*, vol. 63, pp. 69-78, 2014.
- [68] I. Von Sivers, A. Templeton, G. Köster, J. Drury, y A. Philippides, "Humans do not always act selfishly: Social identity and helping in emergency evacuation simulation", *Transp. Res. Procedia*, vol. 2, pp. 585-593, 2014.
- [69] N. Shiwakoti, M. Sarvi, y M. Burd, "Using non-human biological entities to understand pedestrian crowd behaviour under emergency conditions", *Saf. Sci.*, vol. 66, pp. 1-8, 2014.
- [70] M. D'Orazio, L. Spalazzi, E. Quagliarini, y G. Bernardini, "Agent-based model for earthquake pedestrians' evacuation in urban outdoor scenarios: Behavioural patterns definition and evacuation paths choice", *Saf. Sci.*, vol. 62, pp. 450-465, 2014.
- [71] L. Huo, P. Huang, y X. Fang, "An interplay model for authorities' actions and rumor spreading in emergency event", *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 390, núm. 20, pp. 3267-3274, oct. 2011.
- [72] R. Lovreglio, A. Fonzone, L. dell'Olio, y D. Borri, "A study of herding behaviour in exit choice during emergencies based on random utility theory", *Saf. Sci.*, vol. 82, pp. 421-431, 2016.
- [73] S. K. Smith y C. McCarty, "Fleeing the storm(s): an examination of evacuation behavior during Florida's 2004 hurricane season.", *Demography*, vol. 46, núm. 1, pp. 127-145, 2009.
- [74] D. C. Montgomery, "Diseño de Experimentos", 2004.
- [75] F. Pérez Arribas, A. L. Piñeiro, E. P. Cosma, y R. Donoso Morillo, "Simulación del movimiento de personas. Aplicación a la evacuación de buques.", *Iberoam. Rev. Ind. Inform.*, núm. March, pp. 78-88, 2005.
- [76] H. R. Hoeger, "Pasos En Un Estudio De Simulación.", *Introd. a la Comput. Paralela*, p. 20, 2010.
- [77] N. Gilbert y K. G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*. 1999.
- [78] F. Molina, S. Pérez, y S. Rivera, "Formulación de Funciones de Costo de Incertidumbre en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas dentro de una Microgrid", vol. 8, núm. March, pp. 29-36, 2017.
- [79] J. Drury, C. Cocking, S. Reicher, A. Burton, D. Schofield, A. Hardwick, D. Graham, y P. Langston, "Cooperation versus competition in a mass emergency evacuation: a new laboratory simulation and a new theoretical model.", *Behav. Res. Methods*, vol. 41, núm. 3, pp. 957-970, 2009.
- [80] S. Gwynne, E. R. Galea, M. Owen, P. J. Lawrence, y L. Filippidis, "A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment", *Build. Environ.*, vol. 34, núm. 6, pp. 741-749, 1999.
- [81] H. Hoeger, "Introducción a la simulación", pp. 1-18, 2008.
- [82] J. Koo, Y. S. Kim, B. I. Kim, y K. M. Christensen, "A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation", *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, núm. 2, pp. 408-417, 2013.
- [83] Y. Liu, W. Wang, H. Z. Huang, Y. Li, y Y. Yang, "A new simulation model for assessing aircraft emergency evacuation considering passenger physical characteristics", *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 121, pp. 187-197, 2014.
- [84] J. Koo, B. I. Kim, y Y. S. Kim, "Estimating the effects of mental disorientation and physical fatigue in a semi-panic evacuation", *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, núm. 5, pp. 2379-2390, abr. 2014.
- [85] L. R. Izquierdo, J. M. Galán Ordax, J. I. Santos, y R. Del Olmo Martínez, "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas", *Empiria. Rev. Metodol. ciencias Soc.*, núm. 16, p. 85, 2008.
- [86] Z. Liu, D. Rexachs, F. Epelde, y E. Luque, "An agent-based model for quantitatively analyzing and predicting the complex behavior of emergency departments", *J. Comput. Sci.*, vol. 21, pp. 11-23, 2017.
- [87] G. Bernardini, M. D'Orazio, E. Quagliarini, y L. Spalazzi, "An agent-based model for earthquake pedestrians' evacuation simulation in Urban scenarios", *Transp. Res. Procedia*, vol. 2, pp. 255-263, 2014.
- [88] N. Gilbert, "Computational social science: Agent-based social simulation", *Comput. Soc. Sci. Agent-based Soc. Simul.*, pp. 115-134, 2007.
- [89] I. Del, "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas", *Rev. Metodol. Ciencias Soc.*, vol. 16, núm. 16, pp. 85-112, 2008.
- [90] S. Sharma, "AvatarSim: A multi-agent system for emergency evacuation simulation", *J. Comput. Methods Sci. Eng.*, vol. 9, núm. SUPPL.1, pp. 13-23, 2009.
- [91] U. A. de Barcelona, "Protocolo ODD", 2014. [En línea]. Disponible en: <http://sct.uab.cat/lstds/es/content/protocolo-odd>. [Consultado: 23-nov-2015].
- [92] V. Grimm, U. Berger, D. L. DeAngelis, J. G. Polhill, J. Giske, y S. F. Railsback, "The ODD protocol: A review and first update", *Ecol. Modell.*, vol. 221, núm. 23, pp. 2760-2768, 2010.
- [93] B. Müller, F. Bohn, G. Dreßler, J. Groeneveld, C. Klassert, R. Martin, M. Schlüter, J. Schulze, H. Weise, y N. Schwarz, "Describing human decisions in agent-based models - ODD + D, an extension of the ODD protocol", *Environ. Model. Softw.*, vol. 48, pp. 37-48, 2013.
- [94] P. Sr y F. Cid, "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.", 2012.
- [95] T. E. Drabek y D. A. McEntire, "Emergent phenomena and the sociology of disaster: lessons, trends and opportunities from the research literature", *Disaster Prev. Manag.*, vol. 12, núm. 2, pp. 97-112, 2003.
- [96] B. P. Hughes, S. Newstead, a. Anund, C. C. Shu, y T. Falkmer, "A review of models relevant to road safety", *Accid. Anal. Prev.*, vol. 74, pp. 250-270, 2014.
- [97] R. M. Tavares, "Design for horizontal escape in buildings: The use of the relative distance between exits as an alternative approach to the maximum travel distance", *Saf. Sci.*, vol. 48, núm. 10, pp. 1242-1247, 2010.