



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Modelo de accidentalidad en el sector de la construcción para la
seguridad y salud en el trabajo**

**Accident rate model in the construction sector for occupational
health and safety**

Autora

Vanessa Alexandra Benavides Mosquera

**Trabajo de grado para optar al título de
Especialista en Seguridad y salud en el Trabajo**

Asesor

**Hernán Darío Sepúlveda Díaz
Ingeniero Químico Máster en Salud ocupacional**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública “Héctor Abad Gómez”
Especialización en seguridad y salud en el trabajo
Medellín, Colombia
2021**

Modelo de accidentalidad en el sector de la construcción para la seguridad y salud en el trabajo

Benavides Mosquera, Vanessa Alexandra¹

Resumen:

Los índices de accidentalidad en la construcción han hecho que la seguridad y salud en el trabajo en este sector en particular revistan una relevancia considerable pues las condiciones de ejecución como desarrollo de las obras, comportamientos peligrosos y condiciones inseguras se configuran como factores de riesgo que incrementan las probabilidades de siniestros. La simulación de estos entornos en sistemas dinámicos permite considerar cada componente del sistema y sus relaciones para encontrar soluciones adaptables al sistema real, particularmente, la simulación basada en agentes permite visualizar la forma en cómo se relacionan las actitudes, condiciones y comportamientos de la accidentalidad en el sector de la construcción. El objetivo es elaborar una concepción epistémica racionalista y empirista para explorar la interacción entre los agentes autónomos, detectar posibles patrones emergentes y relacionar la seguridad en el espacio de trabajo como elemento conector de las medidas de prevención. Los principales hallazgos sugieren que la comunicación es el eslabón más importante por considerarse el medio fluido de las ideas y que los agentes

laborales contribuyen más a la accidentalidad que otros grupos de agentes.

Palabras clave: actos inseguros, condiciones inseguras, modelo basado en agentes, seguridad y salud, construcción, factores de riesgo

Abstract:

Accident rates in construction have made safety and health at work in this sector of considerable relevance since the conditions of execution such as development of the works, dangerous behaviors and unsafe conditions are configured as risk factors that increase the probabilities of claims. The simulation of these environments in dynamic systems makes it possible to consider each component of the system and their relationships to find solutions adaptable to the real system, particularly, the agent-based simulation allows to visualize the way in which the attitudes, conditions and behaviors of the accident rate are related in the construction sector. The objective is to develop a rationalist and empiricist epistemic conception to explore the interaction between autonomous agents, detect possible emerging patterns and relate safety in the workplace as a connecting element of prevention measures. The main findings suggest that communication is

¹ Ingeniera industrial de la universidad cooperativa de Colombia y aspirante a título de especialista en seguridad y salud en el trabajo de la universidad de Antioquia.

the most important link because it is considered the fluid medium of ideas and that labor agents contribute more to accidents than other groups of agents.

Keywords: unsafe acts, agent-based model, health and safety, construction, risk factors.

Introducción

Debido al elevado número de accidentes que se producen en la construcción y las consecuencias que esto tiene para los trabajadores, las organizaciones, la sociedad y los países, la seguridad y salud en el trabajo (SST) se ha convertido en un tema muy importante para que los interesados se ocupen del recurso humano. Los trabajadores (y las empresas) toman decisiones que resultan en accidentes laborales. Si bien hay muchos factores que contribuyen a los accidentes laborales, en cierto nivel, se tomaron malas decisiones. Casi todos los ejecutivos afirman que la seguridad es su primera prioridad y, en general, lo dicen en serio. Sin embargo, muchos de los mismos líderes no saben mucho sobre sus procesos de seguridad y no se están enfocando en la seguridad de la misma manera que trabajan para lograr los otros objetivos de la corporación. En síntesis, la falta de control apoyada en instrumentos para tomar decisiones correspondientes a la prevención de accidentes cuesta que 6.300 personas mueran al día en todo el mundo debido a accidentes o enfermedades provocadas por el trabajo [1].

La industria de la construcción se caracteriza por una amplia variabilidad de condiciones para la

implementación, esto es, no existe un conducto único para implementar sistemas de información, seguridad, desarrollar la obra, debido a la intervención de diferentes agentes como consorcios, fiduciarias, consultores, entre otros. Las obras de construcción se llevan a cabo durante todo el año calendario en distintas condiciones atmosféricas, tanto de día como en la tarde y noche. Los trabajadores de la construcción también suelen trabajar horas extraordinarias que superan la jornada laboral de ocho horas. El trabajo en tales condiciones crea una amenaza particularmente grave para la salud y la vida de los trabajadores [2]. En los temas de seguridad laboral lo más importante es el trabajador, quien en el proceso del accidente tiene un triple rol: el tomador de decisiones, el autor del accidente y la víctima. Es decir, pese a que el maestro de obra, el ingeniero y los corporativos involucrados en la planeación hacen parte del entorno de negocio, los más expuestos directamente a los accidentes laborales son los colaboradores en el oficio de la construcción.

La historia de los modelos basados en agentes comenzó en la década de 1970 con ejemplos singulares pero innovadores, como el modelo de segregación de T. Schelling. Desde finales de los 80 en adelante, se desarrollaron e implementaron más y más modelos basados en agentes [3]. Debido a la relación con las ciencias humanas, la mayoría de los sociólogos y psicólogos utilizaron el paradigma de humanos simulados basados en modelos bastante complejos de toma de decisiones humanas para modelar

hipótesis y teorías sobre la dinámica social.

La simulación basada en agentes definitivamente es una herramienta muy valiosa, especialmente cuando se estudian sistemas complejos de autoorganización en muchos dominios. Un prerrequisito básico y, por tanto, el primer paso es recopilar conocimientos específicos sobre la simulación basada en agentes y el contexto de su aplicación adecuada. Esto se refiere a las propiedades de la simulación [3].

Aunque el modelo de proceso general para desarrollar modelos de simulación, que se presenta en todos los libros de texto de simulación, también se puede aplicar a la simulación basada en agentes, el problema va más allá de usar un lenguaje de especificación o implementación apropiado [4]. Las simulaciones basadas en agentes son generativas. No se trata solo de describir lo observado, sino de encontrar el comportamiento y las interacciones de los agentes que producen un fenómeno en particular.

Un Modelo Basado en Agente (ABM) se compone fundamentalmente de cinco (5) eslabones: los agentes, la heurística de toma de decisiones, las reglas de aprendizaje o procesos adaptativos, la topología de la interacción y el entorno o medio ambiente [5].

Los agentes tienen comportamientos, a menudo descritos por reglas simples, e interacciones con otros agentes, que a su vez influyen en sus comportamientos. Al modelar a los agentes individualmente, se pueden

observar todos los efectos de la diversidad que existe entre los agentes en sus atributos y comportamientos, ya que da lugar al comportamiento del sistema en su conjunto [5].

Los agentes del mundo real son racionales limitados y tienen que tomar decisiones bajo diversas incertidumbres, generalmente siguiendo reglas empíricas que procesan imperfectamente información limitada [5]. En los ABM, los agentes siguen "heurísticas", es decir, un conjunto de reglas si-entonces sobre variables de estado que especifican las acciones que debe realizar un agente.

Ahora, existe un aprendizaje a nivel de población en las estrategias de los agentes. Con aprendizaje a nivel poblacional nos referimos al proceso evolutivo que impulsa la mejora de las estrategias y/o características de los agentes de la población. Este proceso evolutivo es impulsado por la imitación (con ligeras mutaciones involuntarias) por parte de los participantes de las estrategias de los agentes exitosos, la desección de agentes con estrategias que no tienen éxito [5].

El modelado basado en agentes se ocupa tanto de modelar las relaciones e interacciones de los agentes como de modelar los comportamientos de los agentes. Los dos temas principales de las interacciones de los agentes de modelado son especificar quién está o podría estar conectado con quién y los mecanismos de la dinámica de las interacciones [5].

Los agentes interactúan con su entorno y con otros agentes. El entorno puede

usarse simplemente para proporcionar información sobre la ubicación espacial de un agente en relación con otros agentes [6]. La ubicación de un agente, incluida como un atributo dinámico, a veces es necesaria para rastrear a los agentes mientras se mueven por un paisaje, compiten por el espacio, adquieren recursos y se encuentran con otras situaciones.

Los ABM, se aplican para esquematizar la interacción entre agentes de un ambiente y el entorno, en este caso el entorno es el espacio de trabajo envolvente en la industria de la construcción y los agentes son los diferentes elementos que interactúan con la seguridad dentro del ambiente [6]. A un nivel micro, las actividades en el sitio de construcción parecen mostrar un control más "orgánico" en comparación con el control central y coordinado que tanto se suscribe. Los sistemas que muestran este tipo de comportamientos son susceptibles al uso de modelos basados en agentes e indagación basada en simulación. Sin embargo, es necesario realizar mucha investigación en este campo. Un proyecto de construcción se describe habitualmente como un entorno en el que el cambio constante es una regla más que una excepción y gran parte de la literatura sobre gestión de la construcción está dedicada a la gestión del cambio [7]. Los cambios en el plan de un proyecto de construcción ocurren debido a cambios de diseño, retrasos inesperados o interrupciones en la cadena de suministro, o condiciones de campo que difieren de las expectativas, entre otros.

Debido a la alta variabilidad de las condiciones de labores en la industria, puede resultar complejo construir un

modelo del entorno de la construcción y experimentar con factores como los de seguridad que hablan de confianza y apoyo dentro de un grupo de trabajadores, reglas y procedimientos de seguridad, dispositivos de seguridad disponibles, uso de estos dispositivos, cantidad de tiempo disponible para planificar y realizar el trabajo, etc [8]. La seguridad de los trabajadores de la construcción es aún más problemática, ya que algunos trabajadores son más tolerantes al riesgo que otros y algunas situaciones son más riesgosas que otras. No obstante, los accidentes ocurren tanto a los tolerantes al riesgo como a los menos tolerantes, aunque en diferentes proporciones. Las situaciones pueden volverse más inseguras en función de las acciones tomadas por los trabajadores y la situación puede volverse más compleja en función de las interacciones entre los trabajadores y el entorno laboral. Por otro lado, se puede utilizar un banco de pruebas de simulación y modelado basado en agentes para imitar el entorno de construcción en el que los trabajadores están realizando su trabajo junto con un conjunto heterogéneo de agentes que representan a otros tipos de trabajadores para estudiar diferentes aspectos del clima de seguridad. Se pueden ajustar varios aspectos del entorno de construcción junto con los factores de "aptitud y seguridad" de los agentes "trabajadores" instanciados para determinar diferentes elementos, entre ellos, un plan de seguridad más eficaz, por ejemplo.

Los trabajadores deben ser conscientes de los peligros y utilizar un programa adecuado de salud y seguridad. Para la prevención, los empleadores deben capacitar a los empleados sobre todas

las normas de seguridad en el lugar de trabajo y los peligros que pueden enfrentar en el mismo [9]. Los gremios laborales, el ministerio del trabajo, el ministerio de salud y protección social y las comisiones respectivas en el congreso deben revisar las políticas de salud y seguridad para cada trabajo que se pueda realizar. Los empleados no deben operar ningún equipo para el que no estén calificados o capacitados para usar.

En algunos lugares de trabajo, las reuniones de seguridad deben realizarse diariamente, por ejemplo, si se está realizando un trabajo de alto riesgo, se debe recordar a los empleados que se mantengan enfocados y se deben abordar los problemas relevantes [10]. La información de seguridad basada en hechos reales y específicos del trabajo tiende a ser más motivadora para los trabajadores. Por otra parte, los trabajadores siempre deben usar el equipo de seguridad recomendado para sus trabajos. Esto puede ser un casco, ropa de alta visibilidad, gafas, guantes, zapatos con punta de acero o un traje protector. En el verano, los trabajadores al aire libre necesitan cascos de ala ancha, protectores de nuca y camisas ligeras de manga larga para protegerse de los rayos del sol.

Las caídas son la principal causa de muerte en la industria de la construcción [11]. Es importante que los trabajadores estén protegidos contra caídas en el trabajo. La instalación de sistemas de protección contra caídas puede proteger a los trabajadores de la construcción. Estos sistemas deben consistir en elementos tales como barandillas, rodapiés, pantallas, estructuras de dosel o redes.

Los andamios pueden evitar caídas, pero deben instalarse correctamente para asegurarse de que estén lo suficientemente bien contruidos para soportar el peso previsto. Una vez instalado, los andamios deben inspeccionarse periódicamente.

Son diversas las medidas que evitarán accidentes laborales en la construcción por lo que los empleadores y empleados que reducen los procedimientos y las reglas de la normativa vigente aumentan los riesgos de lesiones en el sitio de construcción.

Centrarse en los accidentes es una estrategia que se ha utilizado ampliamente, a pesar de su carácter reactivo, ya que el accidente ha sido investigado para determinar los factores que interviene en el proceso, las causas básicas e inmediatas por las cuales sucede, más que por razones científicas. Los accidentes son fenómenos complejos pues una serie de causas en una situación pueden conducir a un accidente, además incide la combinación o simultaneidad de dichas causas o factores [12]. Si bien la información disponible en los registros acerca de accidentes puede ser útil agruparlos en clasificaciones, también es cierto también que no hay dos accidentes iguales. En esta línea, la literatura evidencia, por un lado, las deficiencias de la investigación basada únicamente en accidentes con diseños ex-post-facto e indicadores rezagados con capacidad limitada para generalizar resultados, y por otro lado, la falta de procedimientos para estimar los niveles de riesgo lo que dificulta el entendimiento del comportamiento de los factores asociados a accidentes, debido principalmente a la falta de

estudios empíricos que utilicen datos de campo [12].

A pesar de que los enfoques reactivos son comunes en la seguridad de la construcción, los enfoques más nuevos apuntan a mover el foco del análisis del accidente a sus precursores [13]. Estos estudios utilizan y tienen como objetivo clasificar indicadores adelantados que representan una alerta temprana o una señal de una falla potencial, lo que permite corregir el problema antes de un accidente tenga lugar. Proviene de información proporcionada por las empresas en el desarrollo de sus actividades, promoviendo y conduciendo a mayores niveles de seguridad sin tener que esperar a que ocurra un accidente.

La industria de la construcción se caracteriza por altas tasas de fatalidad y lesiones, como se ha expresado. La naturaleza dinámica de los proyectos de construcción ha expuesto a sus trabajadores a múltiples peligros y riesgos de seguridad, lo que resulta en altas tasas de fatalidades y lesiones en los sitios. Se cree que los incidentes de construcción con condiciones riesgosas contribuyen a altas tasas de mortalidad y lesiones en la industria de la construcción, pero se ha realizado poco trabajo empírico para confirmar esta hipótesis como también se mencionó [13]. La falta de datos disponibles para abordar las muertes y lesiones con un enfoque específico en los sitios de construcción en condiciones riesgosas ha obstaculizado muchos esfuerzos para modelar la seguridad en el trabajo en este sector en particular. La modelación como herramienta de análisis requiere de información para alimentar algoritmos y recrear ambientes, factores y agentes

con el fin de estudiar mejores condiciones y reglas de interacción entre los mismos para mejorar los ambientes reales [14].

Los peligros para la seguridad de los trabajadores en los sitios de construcción y sus factores contribuyentes son importantes en el desarrollo de medidas de seguridad preventivas personalizadas para reducir los incidentes de seguridad en el futuro [14]. Dado que los incidentes de seguridad se pueden atribuir a múltiples factores, la investigación sobre los incidentes de seguridad de los trabajadores debe abarcar la profundidad y la amplitud del área, específicamente en lo que respecta a los factores contribuyentes subyacentes, mediante la aplicación de un enfoque de investigación eficaz.

Los peligros bien identificados pueden reducir las tasas de mortalidad y mejorar la gestión de la seguridad de los proyectos de construcción. Sin embargo, la identificación de peligros y el análisis de seguridad en los proyectos de construcción para diferentes actividades económicas es un tema desafiante [15]. La falta de datos disponibles para abordar específicamente las lesiones y muertes en la construcción ha obstaculizado muchos esfuerzos para identificar las causas fundamentales de los incidentes y la finalización de un análisis de seguridad integral en los proyectos de construcción. Varios factores pueden colocar a los trabajadores de la construcción, en mayor riesgo de sufrir lesiones en el lugar de trabajo. La naturaleza dinámica de los proyectos de construcción, en los que éstos están sujetos a cambios rápidos, contribuye a una amplia gama de

exposiciones ocupacionales para los trabajadores del sector a medida que avanzan los proyectos.

A medida que el proyecto alcanza su punto máximo, hay una serie de oficios diferentes en el sitio. Los trabajadores de la construcción que realizan tareas simultáneamente en una proximidad cercana están expuestos a riesgos laborales sustanciales [16]. Además, los sitios de construcción generan escombros durante todo el proceso de construcción. Los residuos generados por construcción y demolición incluyen concreto, acero, productos de madera, paneles de yeso, tejas de asfalto y concreto asfáltico. Los escombros en los sitios de construcción representan más peligros para los trabajadores que entran y salen de los sitios para realizar tareas de construcción.

Los estudios realizados hasta la fecha han demostrado que existen dependencias entre las condiciones de trabajo cambiantes y los factores que caracterizan a las víctimas. Las investigaciones de accidentes mortales que tuvieron lugar en los años 2001-2005 en obras de construcción en Taiwán mostraron una relación entre el tamaño de la empresa en la que se produjo el accidente, la experiencia laboral y la edad de la persona lesionada [17]. En Irán se llevaron a cabo estudios similares. Sobre la base de 21 864 personas heridas en accidentes en la industria de la construcción, se confirmó la existencia de una dependencia entre las características examinadas [17]. Estas características incluían, entre otras, la edad de la persona lesionada; la fecha, hora y lugar del accidente; así como las causas y consecuencias del accidente.

Los análisis realizados sobre más de 1,1 millones de accidentes laborales en la industria de la construcción española, que tuvieron lugar durante 2003-2008, mostraron una ocurrencia de dependencias entre los efectos de los accidentes laborales en la industria de la construcción y los siguientes parámetros: la edad de los heridos persona, tipo de trabajo realizado, tamaño de la empresa, experiencia laboral, lugar del accidente, día de la semana, número de días de baja laboral, lesiones y zona climática [17].

El análisis de 485 personas lesionadas en accidentes de trabajo, que tuvo lugar durante 2008-2014 en la industria de la construcción polaca, permitió examinar el impacto de las siguientes características en un accidente de trabajo: la situación laboral de una persona lesionada, ocupación, edad, experiencia laboral, preparación de un empleado para realizar tareas en un lugar de trabajo [17]. Como resultado de la investigación, los autores determinaron el perfil de una persona que es la más afectada por un accidente en la industria de la construcción.

El análisis de datos y los estudios de la literatura también mostraron la existencia de una dependencia entre los parámetros fisiológicos del cuerpo humano, que cambian en períodos posteriores de la vida, y los accidentes.

En la construcción, los trabajadores realizan una gran diversidad de actividades, cada una con un riesgo asociado específico. El trabajador que realiza una tarea está expuesto directamente a sus riesgos asociados y expuesto pasivamente a los riesgos producidos por compañeros de trabajo

cercanos [18]. El diseño del edificio, los materiales, las dimensiones y las condiciones del sitio a menudo son únicos, lo que requiere adaptación y una curva de aprendizaje de un sitio a otro.

Como resultado de esta situación existe una alta frecuencia de accidentes en la construcción, lo que la convierte en una industria insegura. La industria a menudo denominada de "alto riesgo", tiene un impacto significativo en la salud y seguridad de los trabajadores. Aunque es común ver a un trabajador de la construcción trabajando en alturas con equipos y materiales de construcción, estos escenarios están plagados de situaciones potencialmente peligrosas y malas condiciones de trabajo. Están expuestos a peligros que son difíciles de cuantificar. Los diferentes lugares de trabajo tienen diferentes procedimientos y condiciones; la identificación de las fuentes de riesgos que plantean desafíos para la salud y seguridad ocupacional de la fuerza laboral sigue siendo fundamental [19].

La seguridad y salud en el trabajo es un área relacionada con el desarrollo, la promoción y el mantenimiento del entorno laboral, las políticas y los programas que garantizan el bienestar mental, físico y social de los empleados, además de mantener el entorno laboral relativamente libre de peligros potenciales que podrían lesionar a los empleados. Es también un proceso de varios pasos que incluye a los trabajadores del sitio, las personas cercanas, los supervisores, los gerentes, etc. La gestión eficaz de las actividades y la supervisión competente del lugar de trabajo son esenciales para mantener condiciones

saludables y seguras [20]. Especialmente en las actividades de construcción, a mayor riesgo, mayor grado de control y supervisión de peligros se requiere.

La incorporación de controles de salud y seguridad puede controlar el progreso y el bienestar del trabajador. Las evaluaciones de riesgos, las capacitaciones en salud y seguridad, las medidas correctivas y preventivas deben ser parte de la lista de verificación de una empresa de construcción [21]. La misión de contribuir a unas condiciones laborales seguras, participando en la detección de riesgos y peligros es un asunto de todos; por lo que los empleados también deben comunicar las condiciones peligrosas cuando se encuentren.

La accidentalidad parte de que las decisiones de los individuos y los comportamientos colectivos hacen compleja la prevención de la misma en tiempo real a medida que interactúan entre sí y/o con su entorno, esto se debe a que el comportamiento humano sigue siendo el principal factor ambiguo e impredecible en caso de accidente y este comportamiento puede tener un efecto enorme sobre las secuelas de los eventos de seguridad [22].

Se han observado comportamientos inadecuados, sobre todo cuando el fenómeno de peligro no es bien conocido, cuando la percepción del riesgo no se corresponde con la percepción de seguridad, cuando se desconocen las normas de seguridad, cuando la fase de alerta es ineficaz o cuando se produce el pánico, comportamientos inseguros o no deseados.

La motivación individual, el conocimiento local, las habilidades o las posibilidades, la conciencia del riesgo y la implementación de las normas de seguridad pueden reducir en gran medida la vulnerabilidad de la población y, en consecuencia, los efectos de un accidente. Cuantas más personas sean capaces de identificar el fenómeno y sus características, es más probable que implementen las medidas de seguridad adecuadas [23]. Se trata de un proceso de asimilación de la información entregada por los principales actores dentro de las industrias, en particular, en la industria de la construcción.

Otros vectores de la educación en seguridad y salud en el trabajo a veces tienen un mayor impacto, como experimentar una crisis o participar en un ejercicio en tiempo real y a escala real que simule una crisis. Además, las personas no asimilan las medidas de seguridad y la conciencia de los riesgos de manera idéntica [23]. Las características sociales como el género o la edad tienen una fuerte influencia en la percepción del riesgo. Por el contrario, el nivel de educación tiene un fuerte impacto en el conocimiento de las medidas de seguridad. Así, factores internos y externos influyen en los comportamientos individuales y las personas no son iguales ante una crisis porque estos comportamientos dependen de los vectores de asimilación a los que se han enfrentado, entre otros [24].

Aún es difícil medir y evaluar las interacciones entre estos vectores y comportamientos. Las observaciones reales están limitadas por la escasez de eventos y por el hecho de que no se puede predecir el lugar, la fecha y la

gravedad de los accidentes. Otras posibilidades consisten en observar a las personas durante los ejercicios de simulación. La simulación por computadora también es un buen medio alternativo para obtener información valiosa, con base en las condiciones relacionales de los agentes involucrados [24].

Teniendo en cuenta las observaciones anteriores, el objetivo del trabajo es elaborar una concepción epistémica racionalista y empirista asociada a las diferentes interacciones que se dan entre los factores en seguridad y salud en el trabajo aplicada a la industria de la construcción y proponer un esquema de modelos basados en agentes. La pregunta de investigación es entonces: ¿Captura un modelo de simulación basado en agentes la forma en como se relacionan las actitudes, condiciones y comportamientos de la accidentalidad en el sector de la construcción?

3.2. Metodología

En este trabajo, el objetivo es elaborar una concepción epistémica racionalista y empirista., con el fin de:

- i) Explorar la interacción entre los agentes autónomos identificados en los eventos de accidentalidad en el sector construcción.
- ii) Detectar posibles patrones emergentes como mecanismos mediante los cuales suceden accidentes.
- iii) Relacionar la seguridad en el espacio de trabajo como elemento conector de las medidas de prevención.

Se identifican entonces los principales agentes en diferentes escalas, en este caso se consideran tres capas, luego la heurística en la toma de decisiones, es decir, los comportamientos que influyen en el desarrollo de los eventos, después las reglas de aprendizaje o procesos adaptativos que inciden en la complejidad del sistema, luego la topología de la interacción, es decir, la disposición de los agentes en el entramado de interacciones, y finalmente un medio ambiente donde ocurre la dinámica. Esto, considerando la estructura genérica de un modelo de simulación basado en agentes, sin embargo, como el modelo es resultado de derivación bibliográfica es importante considerar el manejo adecuado de la información proveniente de dichas fuentes.

La seguridad y salud en el trabajo no es un tema homogéneo; todo lo contrario, hay muchas partes interesadas involucradas. Además, puede considerarse un proceso de varias etapas. Este enfoque de proceso ya ha sido sugerido por muchos autores en la gestión de riesgos, tal como se aplica tradicionalmente a la gestión de proyectos, que propone un proceso similar basado en cuatro etapas: identificación, análisis, respuesta y control. Además, la Norma OHSAS 18001:20079 propone un ciclo basado en la mejora continua que comprende: establecer políticas corporativas, planificar, implementar y operar, verificar y corregir, revisar y mejorar. Estos pasos son compatibles con el sistema de gestión de calidad ISO 9001: 200810 [25]. Finalmente, se propuso un ciclo de cinco pasos: regulación, educación y formación, evaluación de riesgos, prevención de riesgos y análisis de accidentes. Estos

elementos, se puede considerar agentes para establecer un modelo de análisis para el sector construcción.

Los procesos de construcción tienen más probabilidades que otros de generar comportamientos inseguros y las consecuencias de estas acciones pueden ser graves. Este trabajo revisa primero el estado de la investigación sobre el comportamiento inseguro en los equipos de construcción. Luego analiza los mecanismos complejos que conducen a un comportamiento inseguro y construye un modelo estructural de tres capas basado en la tecnología de modelado basado en agentes (ABM). Este modelo se ocupa de la complejidad y elabora puntos clave e ideas de investigación en el estudio del comportamiento inseguro en el ámbito de salud ocupacional de la industria de la construcción. Utilizando el método ABM, se estudiaron los efectos de diferentes estrategias de incentivos sobre el comportamiento seguro de los equipos de construcción bajo diferentes escenarios de gestión.

Con la profundización de la investigación sobre incidentes de seguridad, las personas se están dando cuenta gradualmente de que el comportamiento seguro individual depende no solo de la cognición individual sino también de otros miembros del equipo de construcción y del entorno operativo [26]. Por ejemplo, cuando la inseguridad del entorno operativo coexiste con el comportamiento inseguro de las personas, pueden producirse accidentes. El comportamiento inseguro en el ambiente de la construcción depende de la situación en la que se encuentre; involucra

principalmente elementos contextuales como el entorno objetivo y la base realista del equipo de construcción, el mecanismo de interacción entre los miembros internos de los equipos de trabajo relativos a la construcción, los diferentes grupos de interés, y el mecanismo de interacción entre los que ejecutan la obra civil y quienes toman las decisiones estratégicas y tácticas [27].

La investigación del rendimiento de la seguridad de un sistema, como parte importante de la gestión de la seguridad, ayuda a aclarar los factores que influyen y las medidas preventivas del comportamiento inseguro en los ambientes, desde la construcción hasta cualquier sector con exposición elevada a riesgos. En primer lugar, algunos académicos han analizado la definición de desempeño de seguridad del sistema, donde la diferencia es relativamente grande y puede dividirse aproximadamente en tres categorías: una es definir directamente el desempeño de seguridad con la ocurrencia de accidentes de producción de seguridad y sus consecuencias; el segundo es utilizar el desempeño real de la empresa (y a nivel agregado, del sector) para considerar los efectos operativos del trabajo de seguridad; y el tercero es definir el desempeño en seguridad utilizando accidentes y el desempeño real de la empresa. En segundo lugar, algunos académicos han estudiado los factores que influyen en el desempeño de la seguridad del sistema en la industria de la construcción, incluido el grado de influencia de las partes involucradas en el proyecto sobre la seguridad, las características del proyecto (como la complejidad del diseño y la construcción), el

comportamiento inseguro de las personas, el estado inseguro de maquinaria/equipo, inseguridad ambiental en el sitio, atmósfera de seguridad y conciencia de seguridad, y otros factores [28]. Además, algunos estudios se han centrado en los métodos de medición del desempeño en materia de seguridad de los trabajadores de la construcción, que se pueden dividir en dos tipos: indicadores rezagados e indicadores adelantados.

El contexto en seguridad es importante porque es un aspecto que permea los diferentes niveles de la labor de construcción y por consecuencia, se debe considerar en la modelación, independiente de la metodología a utilizar. Para el caso particular de la modelación basada en agentes, la seguridad puede considerarse un agente que interactúa con los demás.

3.3. Resultados

El modelo basado en agentes realizado se divide en tres capas la primera se llama influencias iniciales, la segunda se denomina agentes de conformación y la tercera tiene por nombre agentes laborales y agentes de espacio de trabajo.

Las influencias iniciales exponen los componentes del entorno en el cual se desempeñan los actores más externos del modelo, que en este caso se relaciona con los aspectos del macroentorno, la educación en construcción que es el pilar genérico de las prácticas empíricas y educativas acerca del oficio de la construcción en un determinado contexto y es un agente de lento cambio pues son acciones que se convierten en

costumbres adoptadas a nivel general en el gremio. El entorno económico como agente contiene internamente otros agentes que se reflejan en métricas como el Producto Interno Bruto, la balanza comercial, la cuenta corriente, a nivel agregado, e involucran en un nivel de profundidad superior, al crecimiento del sector construcción, la demanda de las personas, la fluctuación de precios en la industria, el sector inmobiliario, entre otros. Los requisitos del cliente, si bien pareciera no ser un agente macro, conforma un lago de requisitos generales de los clientes que se convierten en requisitos comunes y que terminan por moldear la oferta para atraer la demanda, las preferencias del cliente, sus gustos y necesidades.

En la misma capa con influencias iniciales, pero en una siguiente etapa a un nivel desagregado de lo mencionado anteriormente, se tiene el diseño donde reside la planeación de ingeniería y arquitectura que corresponde a planos y levantamientos en papel que son la hoja de ruta para replicarse en una obra física. Ésta, es un agente como tal, involucra desde el proceso inicial de planeación, disposición de los planos hasta la viabilidad de todo tipo, como obra, es lo que se planea hacer y que se espera que suceda, involucra además aspectos financieros y en general de soporte. La construcción es el conjunto de acciones como tal, que van desde la excavación, la colocación del primer ladrillo hasta la labor ulterior de poner la cúpula.

En la capa más interna, se tienen los agentes de conformación que se dividen en tres grupos de agentes, en el

primer grupo se encuentran los conocimientos, la supervisión, la salud y las actividades, son elementos intrínsecos a la naturaleza humana y profesional de las personas, es decir, del componente humano en su concepción individual, los conocimientos se refieren a la capacidad para desarrollar y llevar a cabo determinada labor, la supervisión no es solo un eslabón en la jerarquía organizacional, como agente es el elemento clave de la inspección y prevención en la obra pues su presencia en el modelo modifica la probabilidad de materialización de eventualidades desfavorables. La salud es un agente continuo susceptible a cambio pues tiene un estado inicial que corresponde al estado de salud inicial del componente humano involucrado y puede cambiar por condiciones crónicas conocidas o no conocidas o por incidentes en el desarrollo de la labor, generalmente el estado inicial es igual al estado final, en salud, para los involucrados, sin embargo, el riesgo de enfermedad, lesiones, invalidez y muerte no se descarta pues es omnisciente en el entorno.

El siguiente grupo de los agentes de confirmación contiene los agentes denominados restricciones, seguridad, planeación del trabajo, limpieza y orden. Son agentes relacionados con el microentorno o entorno interno y explica parcialmente, las causas de las eventualidades. El primer grupo se refiere al componente humano, el segundo al microentorno donde se dan las interacciones y donde converge con el tercer grupo que se explicará más adelante. Las restricciones como agente son los altos, puntos límites o fronteras que no se pueden traspasar desde la planeación hasta la ejecución,

en la planeación se tiene restricción presupuestaria y en la ejecución límites de material e incluso comportamientos, las restricciones no son solo de tipo material pues permean la interactividad misma de los agentes, por eso las restricciones al comportamiento son importantes pues contribuyen a minimizar la probabilidad de alteraciones y canaliza las acciones de planificación en ejecución. La seguridad es un agente de múltiples comportamientos pues por su transversalidad interactúa con las restricciones, con la planeación en el trabajo, con la limpieza y el orden y mantiene relaciones secundarias con los otros grupos de agentes de conformación, la seguridad como agente habla del estado de ausencia o presencia de peligro en todo momento y se relaciona de manera directa con el bienestar. La planeación del trabajo habla de la disposición de la mano de obra en las diferentes etapas de la labor durante el flujo del trabajo, en términos de tiempo, actividades, resultados esperados, mediciones e indicadores por responsable, entre otros. La limpieza y el orden como un solo agente se visibilizan por su importancia relativa en cuestiones de seguridad, de allí su relación cercana. Esto, debido a que toma parte importante en la ocurrencia de eventualidades, se pudiera considerar un subagente de la planeación en el trabajo y la seguridad, salvo que la limpieza y orden no se refiere solamente al estado físico si no al comportamiento del capital humano en su relación con los demás agentes, contiene por tanto elecciones subconscientes como no obedecer la señal de piso mojado porque no parece que estuviera mojado o la elección de pegar un chicle en un área escondida,

en síntesis, conduce desde el mismo comportamiento humano hasta la organización sistemática de la disposición de los implementos de trabajo, materiales y aseo general.

En el tercer grupo se encuentra la especificidad, el diseño y los materiales, son los agentes provenientes del suministro y que tienen incidencia en el modelo basado en agentes pues conviven en el microentorno de los dos grupos anteriores. La especificidad se refiere a la tasa de verdaderos negativos sobre la suma de los verdaderos negativos y los falsos positivos, como métrica es la probabilidad de que un evento que suceda favorable sea detectado como no favorable en una prueba, en este caso en particular se relaciona con el efecto de las características del suministro en los diferentes niveles de interacción, algunas de las características pueden ser la calidad, tiempo de almacenamiento, vida útil, entre otras. Un ejemplo para comprender la especificidad sería el evaluar el impacto de la mala calidad del cemento en el buen desempeño de la obra o la buena estabilidad de la construcción. El diseño como agente del microentorno se refiere a las necesidades de insumos desde los requerimientos internos hasta físicos. Los materiales involucran el espectro de materiales de construcción (operación) e insumos para el soporte (material requerido por el back office), dichos materiales tienen características que los definen.

La capa más interna, se puede dividir en dos grupos de agentes principales y dos secundarios, en los agentes principales se tienen agentes laborales y agentes de espacio de trabajo, los

agentes secundarios involucran el estado previo a un accidente, denominado incidente y su ambiente local circundante que son las circunstancias e involucra a los equipos como elementos que permiten manipular el suministro, éste último es una parte o clasificación de los materiales que se quedan en la construcción durante su vida útil.

Los agentes laborales componente acciones, capacidades, comportamientos, comunicación y en el principal agente, los actos inseguros, los agentes laborales en este caso hacen referencia explícita a la mano de obra directa en la obra, a nivel operativo, sus conocimientos acerca de buenas prácticas de construcción, la experiencia previa con errores y aciertos en el trabajo. Las acciones son hechos o actos impulsados por motivaciones propias que suelen ser simples como las involuntarias o rutinarias y complejas como las acciones intencionales, son el agente principal de generación de otros agentes como los incidentes. Las capacidades es un agente que a su vez es característica humana y tiene que ver con la experiencia y la preparación. La comunicación es el medio fluido por el que se transportan las ideas habladas, y su efectividad es una de las características más deseadas pues de ésta depende ampliamente la posibilidad de materialización de eventualidades. Los comportamientos son las maneras de proceder, un comportamiento irresponsable puede significar un accidente de mayor o menor magnitud, basta comprender eso para explicar su importancia. Estos agentes llevan a los actos inseguros.

Los agentes de espacio de trabajo son las condiciones particulares del microentorno, el espacio físico donde se desarrolla la obra en las diferentes dimensiones, el ruido como agente de intervención en la interacción de la comunicación de los agentes, la iluminación como agente de intervención en la construcción en general. Todos estos agentes llevan a la constitución de condiciones inseguras.

Los agentes laborales en si mismos constituyen características de un agente principal interno que es el equipo de trabajo, los agentes de espacio de trabajo constituyen en si mismos, características de un agente principal interno que es el lugar de trabajo. Los otros dos agentes internos principales son los materiales y los equipos, los cuatro conforman un flujo continuo bidireccional e intervienen en igual magnitud con el agente central del modelo basado en agentes que es el accidente, pues todos contribuyen a la materialización de este.

Investigación

Servicios de salud

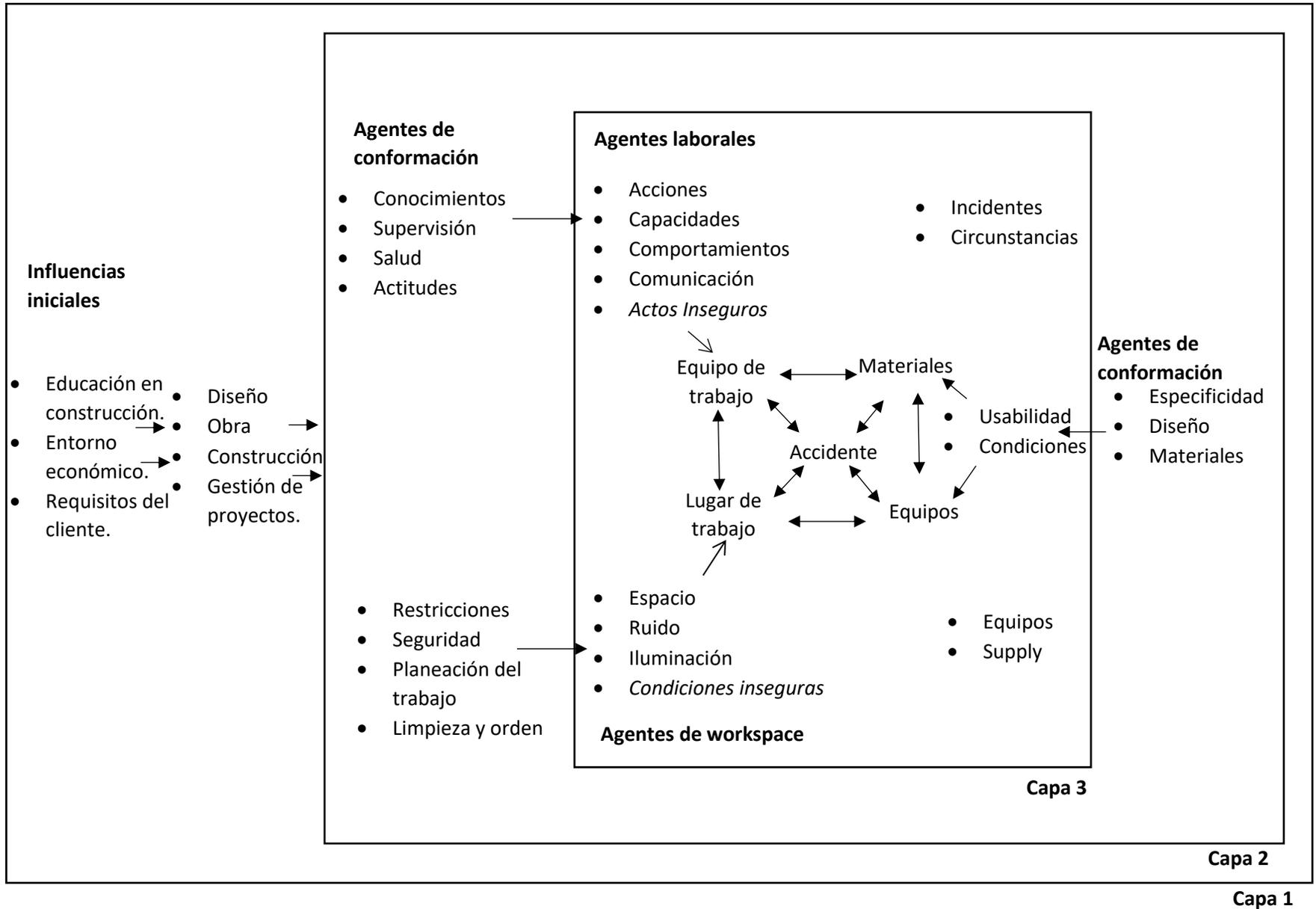


Figura 1: Modelo basado en agentes de la accidentalidad en el sector de la construcción.

3.4. Discusión y conclusiones

El modelo basado en agentes permite emular el comportamiento de la accidentalidad en el sector de la construcción como sistema complejo y su evolución dinámica considerando diferentes influjos. Las influencias iniciales en el macroentorno condicionan el comportamiento de los agentes en el nivel más ulterior y repercute en la accidentalidad de una manera indirecta por su incidencia en el contexto, sin embargo, afecta también todas las interacciones de los agentes, incluso las no relacionadas con el trabajo y por ende con la accidentalidad.

Los agentes de la segunda capa acotan la topología de la interacción pues estos desarrollan axones que conectan los diferentes nodos (puertos de los agentes) mediante los que fluyen ideas y ejecuciones manuales dada su misma naturaleza sin llegar a ser los agentes físicos, pero condicionan más fuertemente su actuar que las influencias iniciales, en este punto se empieza a hablar de actividades como conjunto de interacciones, particularmente, actividades relacionadas entre si como las que desarrollan las personas en un sector económico, en la construcción. Ideas como la planeación del trabajo, la higiene, las restricciones y la salud inciden directamente en la heurística de toma de decisiones que se configura como una aproximación mayor al riesgo de accidente.

La última capa, la más interna que contiene los agentes principales y secundarios es el círculo más cercano a la accidentalidad como colofón del modelo. Se hace explícito que la

comunicación es el medio fluido en el que las ideas hacen sinapsis y que los agentes laborales profundizan las reglas de aprendizaje o procesos adaptativos que hacen que la accidentalidad se materialice más que los agentes de espacio de trabajo.

4. Agradecimientos

Agradezco al docente Hernán Darío Sepúlveda Díaz de la Universidad de Antioquia por su orientación y diligencia en la realización de este proyecto.

Agradezco a mi familia por su incondicional y constante apoyo en todas las etapas de este proceso académico.

5. Referencias

- [1]. Altunkaynak B. A statistical study of occupational accidents in the manufacturing industry in Turkey. *International journal of industrial ergonomics*. 2018 Jul 1;66:101-9.
- [2]. Dong X. Long workhours, work scheduling and work-related injuries among construction workers in the United States. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2005 Oct 1:329-35.
- [3]. Janssen MA, Ostrom E. Empirically based, agent-based models. *Ecology and society*. 2006 Dec 1;11(2).
- [4]. Klügl F. Agent-based simulation engineering.
- [5]. Udanor CN, Oparaku OU. A Performance Evaluation of a

- Multi-Agent Mobile Learning System. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 2016 Apr 1;10(2).
- [6]. Perez L, Dragicevic S. An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. *International journal of health geographics*. 2009 Dec;8(1):1-7.
- [7]. McGeorge D, Zou PX. *Construction management: new directions*. John Wiley & Sons; 2012 Oct 10.
- [8]. Wang J, Zou PX, Li PP. Critical factors and paths influencing construction workers' safety risk tolerances. *Accident Analysis & Prevention*. 2016 Aug 1;93:267-79.
- [9]. Howard J. Nonstandard work arrangements and worker health and safety. *American journal of industrial medicine*. 2017 Jan;60(1):1-0.
- [10]. Haas EJ. The role of supervisory support on workers' health and safety performance. *Health communication*. 2020 Feb 23;35(3):364-74.
- [11]. Kang Y, Siddiqui S, Suk SJ, Chi S, Kim C. Trends of fall accidents in the US construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2017 Aug 1;143(8):04017043.
- [12]. Amorim AP, Figueiroa Filho CL, de Assis EM. An INRS cause tree method assessment for complex accidents analysis:

- Application to the Fukushima Nuclear Power Plants accident. *Engineering Failure Analysis*. 2021 Feb 1;120:105062.
- [13]. Roa Quintero DM. *Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) Diagnóstico y análisis para el sector de la construcción*. Departamento de Ingeniería Industrial. 2017.
- [14]. Lingard H. Occupational health and safety in the construction industry. *Construction management and economics*. 2013 Jun 1;31(6):505-14.
- [15]. Smith NJ, Merna T, Jobling P. *Managing risk in construction projects*. John Wiley & Sons; 2014 Feb 3.
- [16]. Boschetto P, Quintavalle S, Miotto D, Cascio NL, Zeni E, Mapp CE. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and occupational exposures. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2006 Dec;1(1):1-6.
- [17]. Szóstak M. Analysis of occupational accidents in the construction industry with regards to selected time parameters. *Open Engineering*. 2019 Jul 25;9(1):312-20.
- [18]. Alli BO. *Fundamental principles of occupational health and safety* Second edition. Geneva, International Labour Organization. 2008;15:2008.
- [19]. Walters D, Johnstone R, Frick K, Quinlan M, Baril-Gingras G, Thébaud-Mony A. Regulating

workplace risks: a comparative study of inspection regimes in times of change. Edward Elgar Publishing; 2011.

- [20]. Mohammadfam I, Kamalinia M, Momeni M, Golmohammadi R, Hamidi Y, Soltanian A. Evaluation of the quality of occupational health and safety management systems based on key performance indicators in certified organizations. *Safety and health at work*. 2017 Jun 1;8(2):156-61.
- [21]. Işık IN, Atasoylu E. Occupational safety and health in North Cyprus: evaluation of risk assessment. *Safety science*. 2017 Apr 1;94:17-25.
- [22]. Reiman T, Rollenhagen C. Human and organizational biases affecting the management of safety. *Reliability Engineering & System Safety*. 2011 Oct 1;96(10):1263-74.
- [23]. Mitropoulos P, Cupido G, Namboodiri M. Cognitive approach to construction safety: Task demand-capability model. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009 Sep;135(9):881-9.
- [24]. North MJ, Macal CM. Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation. Oxford University Press; 2007.
- [25]. Arenas Espitia PA, Rodriguez Cristancho N, Rojas Calderon PA. Diseño del sistema de gestión integral bajo la norma NTC-ISO 14001: 2015 y la norma OHSAS 18001: 2007 en La Empresa TPC del Rionegro SAS, en el Municipio de Pacho.
- [26]. Li Z, Lv X, Zhu H, Sheng Z. Analysis of complexity of unsafe behavior in construction teams and a multiagent simulation. *Complexity*. 2018 Jan 1;2018.
- [27]. Khosravi Y, Asilian-Mahabadi H, Hajizadeh E, Hassanzadeh-Rangi N, Bastani H, Behzadan AH. Factors influencing unsafe behaviors and accidents on construction sites: a review. *International journal of occupational safety and ergonomics*. 2014 Jan 1;20(1):111-25.
- [28]. Zhou Z, Goh YM, Li Q. Overview and analysis of safety management studies in the construction industry. *Safety science*. 2015 Feb 1;72:337-50.