



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

GENERACIÓN DE COMPORTAMIENTOS AUTÓNOMOS PARA  
AMBIENTES VIRTUALES BASADOS EN STEERING. CASO DE  
ESTUDIO:EVACUACIONES DE ESPACIOS EN SITUACIONES DE  
RIESGO.

ARTÍCULO ESPECIALIZADO PARA PUBLICAR EN  
REVISTA INDIZADA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN:

INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

PRESENTA:

SABINO HERNÁNDEZ PAULINO

ASESOR:

DR. MARCO ANTONIO RAMOS CORCHADO

COASESOR:

DRA. VIANNEY MUÑOZ JIMÉNEZ

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, FEBRERO DE 2024.



# Contenido

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Introducción . . . . .   | 2  |
| 2 | Estado del arte . . . . .  | 2  |
| 3 | Marco Teórico . . . . .  | 5  |
| 4 | Metodología propuesta: Generación de comportamientos autónomos en agentes virtuales basados en <i>Steering</i> . . . . . | 6  |
| 5 | Caso de estudio: Evacuación de espacios en situaciones de riesgo . . . . .   | 9  |
| 6 | Resultados y Conclusiones . . . . .  | 11 |

## Resumen

Los entornos virtuales son herramientas altamente utilizadas para el desarrollo de sistemas de entrenamiento médico, industrial, educativo, entretenimiento, entre otras. El avance tecnológico permite que los ambientes virtuales sean realistas y que la interacción con el usuario permita una adecuación o mejora a los ambientes para realizar una tarea.

La inteligencia artificial propone la creación de entidades autónomas capaces de acompañar al usuario interactuando con él para el cumplimiento de objetivos (tareas). De ahí, el desarrollo de sistemas autónomos que puedan interactuar y adaptarse de manera efectiva a los usuarios y al entorno en el que se encuentra, exhibiendo un comportamiento realista similar al del mundo real.

En este artículo se propone una metodología para la implementación de comportamientos autónomos en entidades virtuales (entornos virtuales) basada en una recombinaión de inteligencia artificial y *steering* (flujos), con el propósito de exhibir comportamientos durante la evacuación de zonas en riesgo, permitiendo anticiparse a posibles contingencias y que los seres humanos puedan actuar de forma adecuada cuando se encuentren en este tipo de situaciones.

Los resultados obtenidos utilizando la metodología propuesta permiten observar comportamientos deseados en la evacuación de espacios confinados, así como diferentes tipos de formaciones que son difíciles de tratar utilizando la técnica de *steering*.

**Palabras clave:** Agentes, steering, comportamiento, realidad virtual, evacuación

## Abstract

Virtual environments are widely utilized tools for the development of medical, industrial, educational, and entertainment training systems, among others. Technological advancements enable virtual environments to be realistic, allowing user interaction for task adaptation or improvement.

Artificial intelligence proposes the creation of autonomous entities capable of accompanying users by interacting with them to achieve objectives. Hence, the development of autonomous systems that can effectively interact and adapt to users and their environment, exhibiting realistic behavior similar to the real world.

In this article, a methodology is proposed for implementing autonomous behaviors in virtual entities (virtual environments) based on a combination of artificial intelligence and steering flows. The goal is to exhibit behaviors during the evacuation of high-risk zones, allowing anticipation of potential contingencies and enabling humans to respond appropriately in such situations.

The results obtained using the proposed methodology demonstrate desired behaviors in confined space evacuation, as well as different types of formations that are challenging to handle using steering techniques.

**Keywords:** Agents, steering behaviours, virtual reality, evacuation

# 1 Introducción

Los sistemas de simulación creados por computadoras son actualmente utilizados por las diferentes áreas del conocimiento, ejemplos de ello son: la medicina, la industria, la educación, el entrenamiento, entre otros. Hoy en día, se cuentan con diversos motores de física que permiten la creación de ambientes virtuales. La graficación por computadora se utiliza para generar escenarios lo más parecidos a los observados en la naturaleza, permitiendo la interacción con el usuario en tiempo real.

La realidad virtual es utilizada para generar ambientes donde los usuarios pueden interactuar de forma directa con el ambiente virtual mediante dispositivos hápticos. Esto permite que el usuario este inmerso en el ambiente simulado. Por ejemplo, en el área médica se pueden generar modelos, tal como lo es el cuerpo humano, cuya finalidad es que los futuros médicos o pasantes cuenten con herramientas de entrenamiento para realizar procedimientos médicos no invasivos permitiendo la recuperación pronta de los pacientes.

Un componente básico para la construcción de un ambiente virtual es el uso de la inteligencia artificial que permita la creación de entidades que lo habiten, y que manifiesten comportamientos de acuerdo a su representación. Por ejemplo, si el ambiente virtual construido es un bosque, las entidades que lo pueblan son: ardillas, liebres, lobos, osos, etc., todas estas entidades deberán exhibir comportamientos acorde a la especie biológica en cuestión.

Una de las dificultades que se observan y se identifican en los ambientes virtuales es el realismo de las entidades que acompañan al usuario durante su interacción en el ambiente virtual, dado que los comportamientos observados son estáticos. Es decir, que sus comportamientos son predefinidos sin posibilidad de modificarse y/o actualizarse, provocando que el comportamiento exhibido no sea realista. Esto mismo se observa con las representaciones de entidades de tipo humanoide, que por lógica son las entidades con las que el usuario pudiera interactuar dentro del ambiente virtual. Para solventar estos comportamientos estáticos, la inteligencia artificial propone el uso de agentes virtuales, es decir, entidades capaces de realizar tareas dentro del entorno gracias a mecanismos de adaptación y aprendizaje.

Los agentes virtuales tienen la característica de generar planes de acción de acuerdo a lo que observan del entorno virtual, para cubrir sus necesidades y los objetivos establecidos para el logro de una o varias tareas. Los agentes son capaces de exhibir comportamiento de diferentes tipos incluyendo los más complejos denominados sociales. La generación de comportamientos autónomos es uno de los temas abiertos dentro de la inteligencia artificial debido a la complejidad para que estos emerjan de forma autónoma, en la actualidad existen varias metodologías y arquitecturas que proponen generar comportamientos, sin embargo, estos siguen estando restringidos al tipo de contexto.

## 2 Estado del arte

Craig Reynolds et al. (Reynolds et al., 1999) son unos de principales pioneros en la generación de comportamientos que data de 1999. Los comportamientos presentados por Reynolds et al. se basan en flujos y campos potenciales, logrando comportamientos vistos en aves y bancos de peces. Este tipo de comportamiento esta basado en direcciones, conocidas como *steering*. Reynolds fuerza a un conjunto de agentes a trasladarse a un objetivo, solo con la fuerza de dirección y sin importar las condiciones del entorno. Los comportamientos observados con *steering* son simples pero efectivos y se pueden combinar para crear movimientos complejos y realistas.

M. C. Lin et al. en 2002 (Lin et al., 2002), proponen la utilización de *steering* en conjunto con un sistema basado en reglas, para la generación de comportamientos en tiempo real de personajes virtuales en entornos urbanos. Sin embargo, la propuesta de Lin cubre únicamente entornos urbanos, lo que imposibilita trasladar este tipo de enfoque híbrido a un contexto general.

El estudio realizado por Thalmann et al. en 2007 (Thalmann et al., 2007), exploran el uso de comportamientos basados en *steering* para simular el comportamiento de multitudes en entornos virtuales complejos. Thalmann et al. proponen la implementación de algoritmos que se basan en la proximidad que hay entre los agentes y la orientación promedio del grupo, lo que permite a los agentes agruparse y mantener una cierta cohesión o unión mientras se mueven en conjunto (grupo). Thalmann propone un mecanismo que permite crear diferentes tipos de formación, sin embargo, este mecanismo es costoso computacionalmente, debido a que resulta necesario conocer con antelación el ambiente de forma completa, así como los cambios que se pudieran suscitar.

El trabajo presentado por Laumond en 2011 (Laumond et al., 2011), es una implementación de *steering* que se emplea en la animación de personajes virtuales para entornos 3D. Los comportamientos que se exhiben son: evasión, exploración, seguimiento de trayectorias, entre otros. Los comportamientos presentados por Laumond son basados en guiones, es decir, que se conoce la forma del cómo deben actuar los agentes dentro del medio ambiente.

Christie en 2015 (Christie et al., 2015), propone un enfoque asociativo que combina campos de fuerza y reglas de comportamiento para mejorar la adaptabilidad y eficacia de los comportamientos basados en la dirección en entornos virtuales complejos. El enfoque de asociación propuesto por Christie mejora la capacidad de respuesta de los comportamientos basados en la conducción. Una de las ventajas de su propuesta es el uso de reglas de comportamiento, sin embargo, estas están limitadas a solo poder exhibir comportamientos predefinidos, sin posibilidad de observar la aparición de nuevos comportamientos de acuerdo a la adaptación del ambiente. Adicionalmente, se presentan diversas técnicas para abordar la navegación en entornos virtuales donde aparecen obstáculos.

Clemente en 2018 (Clemente et al., 2018), utiliza los conceptos de *steering* y agentes para el desarrollo de un videojuego 2D llamado RedCell, en éste, los jugadores compiten dentro del cuerpo humano para contaminar células y derrotar a sus oponentes. Parte de este juego implica competir contra un agente controlado por computadora que busca también contaminar y vencer al jugador. El estudio se centra en el desarrollo del sistema de control de un agente autónomo, utilizando una máquina de estados y comportamientos basados en *steering* para su locomoción, el cual permitió una participación efectiva del agente en la competencia del juego. Clemente muestra la utilidad de *steering* en ambientes estáticos, como lo es, el ambiente 2D, pero una de las aportaciones es la construcción de la base de conocimientos que debe tener un agente que pueda exhibir comportamientos autónomos y su adaptabilidad a las condiciones del juego.

La investigación presentada por Aguilar en 2018 (Aguilar et al., 2018), se centra en el desarrollo de una simulación de multitudes y la generación de agentes mediante el uso de máquinas de estado finito (FSM) en formato XML. Los resultados preliminares expuestos indican que la simulación de multitudes puede ser representada utilizando una jerarquía de archivos XML, que consta de al menos dos esquemas XML. Uno de estos esquemas describe el escenario, es decir, el entorno en el que se desarrolla la simulación, mientras que el otro, establece el funcionamiento de la máquina de estados finitos, que controla el comportamiento de los agentes virtuales en la simulación. Sin embargo, una de las deficiencias que se presenta es la imposibilidad de que los agentes virtuales se adapten a las nuevas condiciones que presenta el medio ambiente.

Camargo Boyacá en 2019 (Camargo Boyacá, 2019), propone una herramienta informática para la evacuación de edificios e instalaciones, que permita a los brigadistas y encargados de la seguridad actuar de forma adecuada y definir las rutas de evacuación de los complejos industriales, con la finalidad de garantizar la integridad de las personas. La herramienta propuesta por Camargo, se basa en la optimización de rutas para alcanzar las salidas más próximas, sin contemplar el comportamiento individual de cada agente dentro de la simulación.

La investigación que presenta Martínez (Martínez Gutiérrez, 2021) se sitúa en el campo del desarrollo de videojuegos, donde aplica técnicas de inteligencia artificial de manera práctica para mejorar el desplazamiento en el campo de batalla. Se centra en el diseño y la implementación de un sistema de inteligencia artificial capaz de controlar las unidades de la base de operaciones del jugador cuan-

do se encuentra en el modo de defensa. Este sistema se basa en técnicas de planificación, lo que permite a las unidades tomar decisiones estratégicas y tácticas de manera autónoma. La aportación de Martínez permite tomar algunas de sus ideas en la conformación de grupos de agentes que puedan exhibir comportamientos de cohesión al momento de trasladarse a un punto objetivo.

La Tabla 1 resume los trabajos encontrados en el Estado del Arte que hacen uso de comportamientos basados en *steering* considerando ambientes estáticos y dinámicos, siendo estos últimos los de nuestro interés debido a que los entornos en los que habitan lo seres humanos son dinámicos.

| Tipo de simulación   | Autor                | Sistema de reglas | <i>Steering</i> | Ambiente Estático | Ambiente Dinámico | Manejo de formaciones |
|--|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| Comportamientos en tiempo real en entornos urbanos.        | Lin et al. 2002      | X                 |                 | X                 |                   |                       |
| Comportamiento de multitudes en ambientes complejos.       | Thalman et al. 2007  | X                 | X               |                   | X                 |                       |
| Animación de personajes.                                   | Laumond et al. 2011  | X                 |                 | X                 |                   | X                     |
| Mejora en el desplazamiento de los agentes en el ambiente. | Christie et al. 2015 | X                 | X               |                   | X                 |                       |
| Comportamiento de agentes en ambientes 2D.                 | Clemente et al. 2018 |                   | X               | X                 |                   | X                     |
| Comportamiento de multitudes en grandes volúmenes.         | Aguilar et al. 2018  | X                 |                 | X                 |                   |                       |
| Comportamientos para la evacuación de edificios.           | Boyaca et al. 2019   | X                 |                 | X                 | X                 |                       |

Tabla 1: Revisión del estado del arte, resumen.

Con base en la revisión realizada en el Estado del Arte, se observa que las técnicas en la mayoría de los trabajos presentados, se proponen comportamientos ad-hoc al contexto, es decir, exclusivo a un solo entorno virtual, lo que imposibilita poder trasladarlos a diferentes entornos o simulaciones de forma transparente.

En este trabajo de investigación se propone ampliar el estado del arte como se muestra en la Tabla 1, para generar comportamientos autónomos para la evacuación de espacios confinados en situaciones de riesgo, a través de la propuesta de una metodología que permita generar comportamientos autónomos en agentes virtuales, utilizando comportamientos basados en *steering*. Dicha metodología permite generar comportamientos autónomos según la dinámica del medio ambiente en el que se encuentren embebidos los agentes, con ello, se mejora la interacción con el usuario y consiguiendo simulaciones más realistas. Para determinar la eficiencia de la metodología se realizan pruebas sobre un caso de estudio, en donde se lleva a cabo la evacuación de espacios que se encuentren en situación de riesgo.

### 3 Marco Teórico

La *realidad virtual* es una representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real, esta ofrece la posibilidad de crear entornos virtuales inmersivos y no inmersivos en donde los usuarios pueden interactuar utilizando sistemas hápticos. Dentro de estos entornos se encuentran embebidos agentes virtuales que exhiben comportamientos de forma autónoma, lo que permite tener una dinámica en el medio ambiente donde el usuario tiene una sensación intuitiva y más realista.

La *realidad virtual no inmersiva* es en la que el usuario interactúa con el mundo virtual de manera sencilla utilizando periféricos visuales e interfaces como el teclado y el mouse. Mientras que, la *realidad virtual inmersiva* utiliza dispositivos que aíslan al usuario del mundo real mediante lentes, guantes, cascos, y otros accesorios para el cuerpo (Reyes et al., 2014).

Los *entornos virtuales 3D* están compuestos de modelos 3D que permiten aplicar aspectos importantes dentro de la realidad virtual como son: entornos interactivos, entornos inmersos y lo más importante, que todo ocurre en tiempo real; estos entornos se integran en uno solo y se denomina entorno virtual 3D, distinguido por contener detalles como la forma, el color, la iluminación y otras características físicas de los objetos incluidos en el mundo sintético. Estos mundos sintéticos están poblados de agentes autónomos (León Guerra et al., 2013). En la construcción de los entornos virtuales 3D se involucra la física del ambiente, por ejemplo, la gravedad.

Los *agentes autónomos* son entidades virtuales con capacidad para tomar decisiones y actuar de manera independiente tanto en ambientes virtuales como físicos. Los agentes autónomos pueden seguir diferentes enfoques, como agentes reactivos, basados en reglas, basados en objetivos, basados en aprendizaje, basados en conocimiento y multiagentes. Estos agentes pueden ser personajes virtuales, objetos animados u otros elementos interactivos.

La dinámica que presentan los agentes virtuales en los entornos se apoyan en algunas leyes de la física, como por ejemplo, la traslación, que es un movimiento relativamente sencillo donde se fija un punto de origen y un punto de destino. Sin embargo, existen algunas dificultades para llevar a cabo este tipo de movimiento, como pudiera ser la evasión de obstáculos. Para ello, se utilizan campos potenciales que permiten tratar este tipo de problemas, así mismo, se hace una recombinación de campos potenciales con dirección conocidos como *steering*.

Los comportamientos basados en *steering*, se pueden clasificar en movimientos básicos y comportamientos de grupo.

1. **Movimientos básicos:** se refiere a los comportamientos que permiten a los agentes moverse en un entorno virtual 3D. Los comportamientos de este tipo incluyen: Buscar y Huir, Perseguir, Evadir, Llegar, Evasión y Seguimiento de ruta.
2. **Comportamientos de grupo:** permiten a un conjunto de agentes formar y mantener una agrupación de diferentes tipos, tales como: Cohesión, Separación, Alineación, Enjambre, Seguir al líder.

La base fundamental de *steering*, es la simulación de fuerzas físicas que actúan sobre los objetos en el mundo real, como la gravedad, la fricción, la resistencia del aire, entre otras, permitiendo producir comportamientos realistas y dinámicos. En la Fig. 1 se ilustra el uso de vectores de dirección que actúan directamente sobre un objeto, logrando simular la fuerza de gravedad. En los ambientes virtuales existen diferentes objetos en los que la gravedad influye: los estáticos y los dinámicos, siendo los últimos los que son complicados a definir dado que se deben considerar diversas características como la masa del objeto.

Es indudable que la generación de comportamientos utilizando *steering* permite aplicar diversas fuerzas a los agentes virtuales en tiempo real. Estas técnicas implican cálculos vectoriales para la detección de colisiones. La Fig. 2 muestra el análisis del entorno y las fuerzas que se pueden aplicar

para que los agentes no colisionen al momento de aproximación, la toma de decisiones está basada en reglas predefinidas, esta limita el movimiento de los agente en caso de multitudes. Es por ello que, en este trabajo de investigación se estudia el comportamiento de los agentes para resolver las colisiones en caso de multitud.

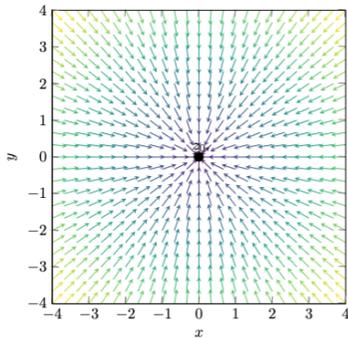


Figura 1: Gravedad aplicada a un objeto mediante *steering*. Fuente: Elaboración propia.

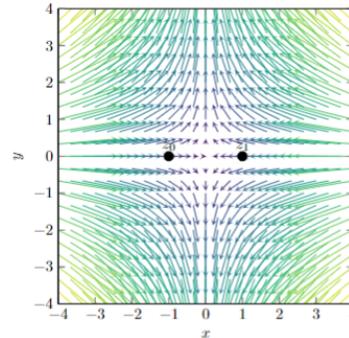


Figura 2: Evasión de agentes utilizando *steering*. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente sección se propone la metodología para la creación de comportamientos autónomos basados en *steering*, así como una base de conocimientos extendida en los agentes virtuales para obtener comportamientos grupales con diferentes tipos de distribución en un entorno virtual 3D.

## 4 Metodología propuesta: Generación de comportamientos autónomos en agentes virtuales basados en *Steering*

Las entidades virtuales están embebidas en un ambiente virtual, el cual está basado en el contexto del problema o tarea a realizar. Estas entidades tendrán que adaptarse al medio ambiente con el propósito de lograr sus objetivos y cumplir con la tarea asignada.

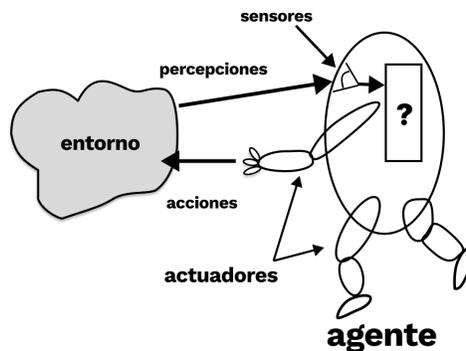


Figura 3: Arquitectura básica de un agente. Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 3 muestra la arquitectura básica de un agente virtual. El agente virtual cuenta con una base de conocimientos iniciales que le permite actuar de acuerdo a la situación que se presente en el medio ambiente. Gracias a la percepción y a los actuadores le permite una autonomía al momento de realizar una tarea para alcanzar sus objetivos. Es en la base de conocimiento en donde se incluyen comportamientos basados en *steering* que permite al agente o a los agentes virtuales exhibir comportamientos individuales o grupales de acuerdo al contexto o problema a resolver dentro de su entorno virtual.

En la Fig. 4 se presenta la metodología propuesta a través de un diagrama de bloques para generar comportamientos autónomos basados en *steering* que son embebidos en la base de conocimientos inicial de los agentes que se encuentran en el medio ambiente. La metodología propuesta surge por la necesidad de generar comportamientos autónomos en ambientes dinámicos, en donde la cantidad de entidades dentro del ambiente virtual sean mayor a  $n$  agentes, los que deben exhibir comportamientos grupales.

En la metodología propuesta se resalta la forma del cómo se define el comportamiento grupal e individual haciendo uso de *steering* cuando se trate de comportamientos grupales o en masa, sobre todo en la evasión de obstáculos evitando colisiones y cambio de direcciones. Para lograr esto, se agrega otro elemento a la metodología que consiste en el ajuste de los parámetros que presentan los agentes virtuales, tales como: velocidad de desplazamiento, dirección, cohesión, seguimiento y trayectoria.

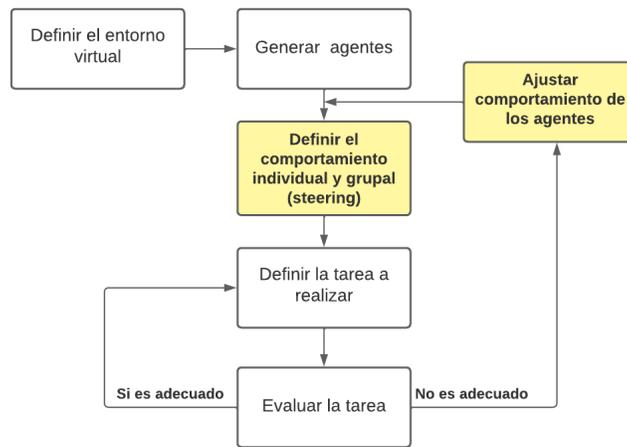


Figura 4: Metodología propuesta: Generación de comportamientos autónomos basados en *steering*.  
Fuente: Elaboración propia.

Con base a la metodología propuesta, el punto de partida, es la construcción del ambiente virtual con las características necesarias para evaluar los diferentes fenómenos que se deseen observar, esto incluye todos aquellos elementos que deben ser considerados por las entidades o agentes virtuales que los utilizarán para alcanzar sus objetivos o resolver sus tareas definidas previamente. También es necesario definir dentro del ambiente virtual aquellos elementos restringidos o de difícil acceso para los agentes, esto es tomar en consideración las diferentes leyes de la física por ejemplo: un agente no puede traspasar el tronco de un árbol, por lo cual debe rodearlo, al considerar las leyes de la física permite que los agentes exhiban comportamientos reales. En la Fig. 5 se observa la construcción de un ambiente virtual en el cual pueden ser embebidos los agentes virtuales.



Figura 5: Ejemplo de la construcción de un ambiente virtual.  
Fuente: Elaboración propia.

Una vez construido el ambiente virtual, este debe ser poblado por entidades que interactúen con el medio ambiente, estas entidades se basan en agentes, un agente puede ser por ejemplo: una ardilla que vive en las copas de los árboles, por lo que el comportamiento que deberá exhibir es el desplazamiento por las ramas y troncos de estos. En nuestro caso, se utiliza la arquitectura básica para la generación de agentes, presentada en la Fig. 3.

Para definir el comportamiento del agente se construye la base de conocimientos iniciales mediante estados y acciones. Los actuadores del agente permite modificar los estados mediante las acciones que puedan ocurrir dentro del entorno  $E$  formado por un conjunto de estados  $E = \{e_0, e_1, e_2, \dots, e_u\}$ . A partir de los estados observados los agentes construyen un repertorio de posibles acciones  $Ac$  a realizar modificando el estado inicial:  $Ac = \{\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{u-1}\}$ .

Los agentes realizan las acciones dentro del entorno mediante la construcción de una lista  $r$ , que corresponde a una secuencia de estados y acciones que pueden ser realizados dentro del entorno para el logro de sus objetivos como se muestra en la Ec.1.

$$r = e_0[r]^{\alpha_0} e_1[r]^{\alpha_1} e_2[r]^{\alpha_2} e_3[r]^{\alpha_3} \dots e_{u-1}[r]^{\alpha_{u-1}} \quad (1)$$

La base de conocimientos iniciales permite observar comportamientos autónomos de forma individual. El siguiente bloque de la metodología propuesta es integrar *steering* a la base de conocimientos de los agentes para observar comportamientos de tipo colaborativo como son desplazamientos grupales. Los mecanismos de *steering* permitirán observar desplazamientos con formaciones de tipo lineal, en cuadro, en rombo, circular, formación en V y en cuña, como se observa en la Fig. 6 es el contexto del ambiente que activará los comportamientos que deberán tomar los agentes.

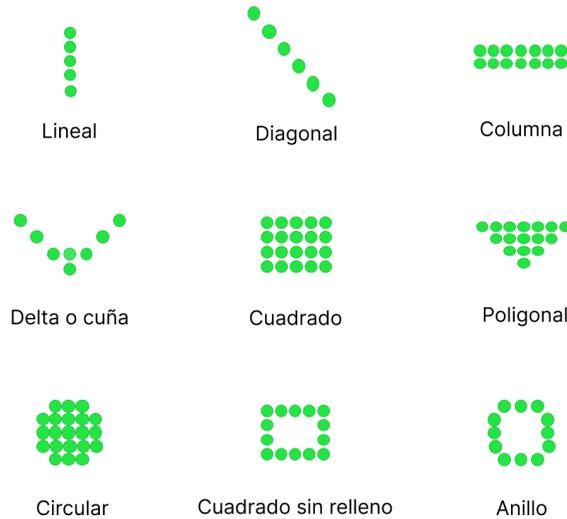


Figura 6: Tipos de formaciones en grupo.  
Fuente: Elaboración propia.

*Steering* considera la masa de los agentes, así como la aceleración, la dirección y el tiempo. Estas características se toman en cuenta para aplicar el movimiento de los agentes que se desplazan por el medio ambiente, la Ec. 2 muestra cada uno de los parámetros a considerar en el desplazamiento de los agentes.

$$m_{ag} \frac{dv_{ag}^0}{dt} = m_{ag} \frac{v_{ag}(t)e_{ag}^0 - v_{ag}(t)}{\tau_{ag}} + \sum_{\beta \neq ag} f_{ag\beta}(t) + \sum_i f_{agi}(t) \quad (2)$$

Cada agente representado por  $ag$  esta conformado por una masa  $m$ . El movimiento se define por la aceleración, dirección y el objetivo  $e_{ag}^0$  con un flujo  $v_{ag}$ , en un intervalo de tiempo  $t$ , para que sea igual al flujo de todos los agentes, el cambio de dirección  $\tau$  es un factor de ajuste que controla la rapidez de cambio de dirección del agente.

Las interacciones de repulsión con los otros agentes  $\beta$ , depende de la distancia entre estos como del ángulo entre ellos, la repulsión con respecto a los muros se trata de forma análoga a la de otros agentes. Finalmente, la aceleración del flujo es afectada también por las fuerzas de atracción  $f$  a los puntos objetivo  $i$  a los que tienen que acceder los agentes, este tipo de representaciones se le conoce como *steering*, la Ec.2 muestra la composición de los diferentes parámetros para que los agentes se trasladen a los objetivos marcados dentro del ambiente (Amor et al., 2006).

Al momento de iniciar el sistema, los agentes ya cuentan cada uno con tareas a realizar dentro del ambiente virtual, definidas en su base de conocimientos. Adicionalmente, también conocen el contexto en el que se encuentran inmersos y tienen la capacidad de construir secuencias de estados para la toma de decisiones de acuerdo a las acciones que se pueden realizar dentro del ambiente, utilizando los actuadores.

La base de conocimientos incrementa a cada una de las acciones que realizan los agentes para el logro de sus objetivos y tareas. Por lo que en este caso, se debe guiar el aprendizaje mediante la observación y el tiempo utilizado para el logro de sus objetivos. Esto se lleva a cabo en la etapa de evaluación de tarea. Así mismo, se debe medir la eficiencia del sistema para diferentes contextos en los que los agentes deberán mostrar comportamientos llamados inteligentes. Por ejemplo: evasión de obstáculos, cohesión con otros agentes, mantener formaciones como se muestran en la Fig. 6.

Una vez que el grupo de agentes haya realizado de forma satisfactoria la primera tarea que se les asignó, los agentes virtuales podrán continuar con el siguiente objetivo asignado. Los agentes virtuales deben mantener la formación inicial asignada, sólo en aquellos casos en lo que las condiciones del entorno obliguen a romper la formación, estos deberán re-agruparse una vez que hayan superado el obstáculo.

En sistemas convencionales, una vez que los agentes logran sus objetivos pasan a realizar otra tarea, sin embargo, la propuesta busca que adicionalmente a lograr objetivos, los agentes exhiban comportamientos lo más parecido a los observados en los ambientes reales. Por ello, se agrega una etapa de *ajuste*. En esta etapa, los agentes pueden recalibrar sus parámetros de *steering* para evitar obtener comportamientos no deseados en las simulaciones.

La generación de comportamientos no es una tarea sencilla, dado que estos, deben exhibir comportamientos lo más parecido a los que producen en situaciones reales. Para validar la propuesta de la metodología se presenta un caso de estudios que consiste en la evacuación de un espacio en situación de riesgo.

## 5 Caso de estudio: Evacuación de espacios en situaciones de riesgo

Para evaluar la propuesta, se construye un ambiente virtual tipo oficinas como se presenta en la Fig. 7, en donde, los agentes realizan actividades propias del contexto y mediante una señal de alerta, estos deben desalojar los espacios en un tiempo determinado exhibiendo comportamientos lo más realistas posible.

El ambiente virtual esta poblado por  $n$  agentes virtuales que se encuentran ubicados en diferentes posiciones dentro del espacio, realizando actividades propias de oficina mediante su base de conocimiento inicial. Es cuando existe una señal de alerta que los sistemas de percepción del ambiente activan los comportamientos *steering* y de acuerdo al contexto se activa la señal de evacuación o

desalojo, sea aleatoria o mediante un tipo de cohesión o formación.

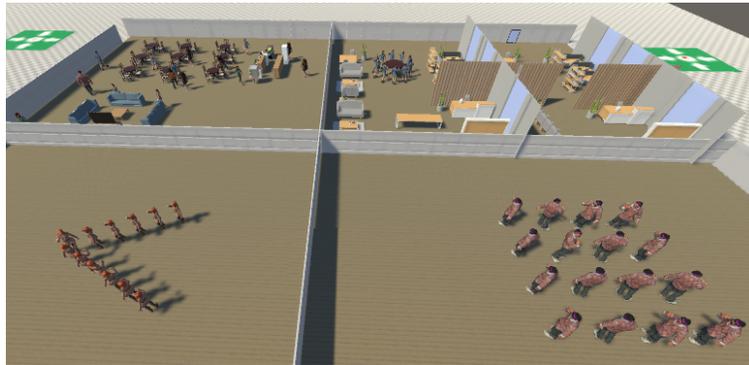


Figura 7: Caso de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de *steering* permiten reducir comportamientos de tipo aleatorio que si bien existen en el mundo real, lo que se desea es poder contar con evacuaciones de forma organizada, grupal y cooperativa, si se utiliza como una herramienta de entrenamiento para la evacuación de espacios confinados en situación de riesgo, como lo muestra la Fig. 8.

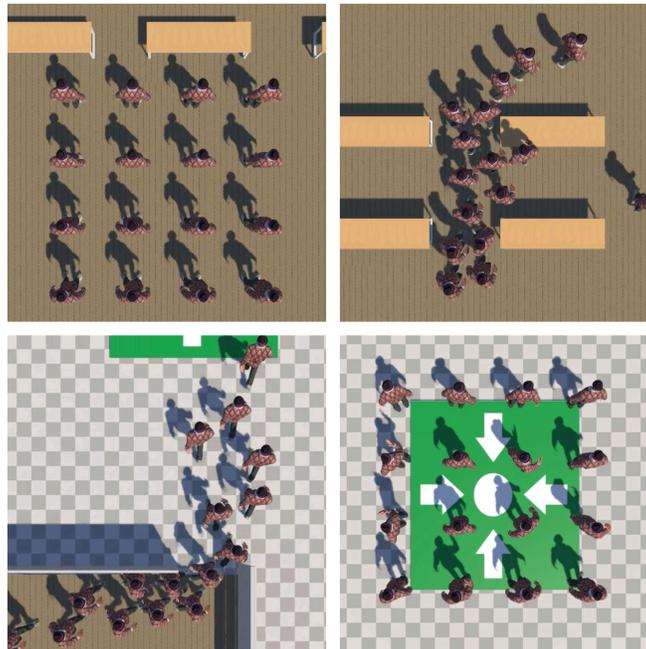


Figura 8: Proceso de evacuación basado en *steering*.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se evalúa la colaboración de agentes manteniendo cierto orden o tipo de formación para llegar a la zona segura, pudiendo en cualquier momento romper su formación inicial pero al momento de alcanzar la zona segura, poder reconstruir la formación indicada al inicio de la simulación. Esto se observa en la Fig. 9 teniendo formaciones tipo delta y cuadrado.



Figura 9: Evacuación en casos de emergencia.  
Fuente: Elaboración propia.

## 6 Resultados y Conclusiones

La utilización de *steering* para la generación de comportamientos autónomos en agentes virtuales que exhiban comportamientos colaborativos en el desalojo de espacios confinados resulta viable, debido a que *steering* limita la aleatoriedad de los agentes durante el desalojo evitando simulaciones o comportamientos no deseados.

Las etapas que conforman la metodología permiten ajustar el comportamiento que exhiben los agentes dentro del ambiente virtual, así como, la colaboración entre ellos para crear diferentes tipos de formaciones dentro de un contexto dado, por ejemplo, si se tiene una mesa de juntas, los agentes deben situarse de acuerdo a la geometría de la mesa, ya sea redonda, cuadrada u oval. Así mismo, *steering* permite que los agentes puedan actuar en ambientes estáticos y dinámicos mediante el flujo o cambio de direcciones durante el proceso de evacuación.

*Steering* no restringe comportamientos adicionales como puede ser miedo o ansiedad, lo que permite tener comportamientos diversos en situaciones de riesgo, estos comportamientos así como otros deberán ser definidos dentro de las bases de conocimientos de los agentes que se denominan personalidad, aspecto que no fue abordado en esta propuesta, sin embargo, se propone considerarla para futuros trabajos.

El uso de la realidad virtual para modelar ambientes virtuales parecidos a los espacios reales que utilizan los seres humanos permiten anticiparse a contingencias no previstas dentro del medio ambiente, como lo son: los terremotos y otras incidencias de tipo natural. La evacuación de espacios es de vital importancia para garantizar la seguridad de las personas en casos de situación de riesgo, tales como: incendios, terremotos o amenazas de seguridad. Contar con sistemas que permitan observar comportamientos en espacios confinados puede ser una estrategia eficaz para guiar y orientar a las personas durante una evacuación.

Finalmente, la generación de comportamientos autónomos es un área de oportunidad que tienen diversos retos a resolver, para que las simulaciones sean lo más realistas posibles se debe considerar la inclusión de diversas personalidades, géneros, edades o alguna capacidad diferente observada en los individuos.

## Referencias

- Aguilar, J. A. H., Goldberg, I. R., Díaz, J. C. Z., and Toledo, L. (2018). Implementación de agentes mediante máquinas de estado finito de comportamiento (mefc) aplicados a la simulación de multitudes. *Research in Computing Science*, 147(8):175–188.
- Amor, H. B., Murray, J., Obst, O., et al. (2006). Fast, neat, and under control: Arbitrating between steering behaviors. *AI Game Programming Wisdom*, 3:221–232.
- Camargo Boyacá, M. E. (2019). Herramienta de simulación basada en agentes para la evacuación de edificios e instalaciones. *Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial*.
- Christie, M., Yannakakis, G. N., and Saldamli, G. (2015). Hybrid steering behaviors for autonomous virtual characters. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, volume 2015, pages 157–166. Citeseer.
- Clemente, A. Q., Furlong, H. A. D., Rivera, V. G., and González, J. J. C. (2018). Máquina de estados finita con comportamientos de dirección para manipular agentes de juego redcell. *Research in Computing Science*, 147(8):55–67.
- Laumond, J.-P., Pettré, J., Gallardo, J., and Lapeyre, M. (2011). A survey on steering behaviors for virtual characters. In *Computer Graphics Forum*, volume 30, pages 151–168. Citeseer.
- León Guerra, R., Torres Menéndez, F., Padilla Cuenca, J., and Nápoles Ávila, I. (2013). Entorno virtual para gestionar modelos 3d de piezas y mecanismos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4):69–74.
- Lin, M. C., Otaduy, M. A., Manocha, D., and O’Sullivan, C. (2002). Real-time steering behaviors for virtual humans. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, volume 22, pages 42–50. Citeseer.
- Martínez Gutiérrez, M. A. (2021). *Juego de estrategia en tiempo real con agentes inteligentes y planificación*. PhD thesis, Universidad Politècnica de València.
- Reyes, J. d. J. A., Ortega, J. A. Z., Buñuelos, C. M., Ramírez, A. M., and Hernández, C. I. M. (2014). Desarrollo de un entorno virtual tridimensional como herramienta de apoyo a la difusión turística de la zona arqueológica de teotihuacán. *Acta Universitaria*, 24(4):34–42.
- Reynolds, C. W. et al. (1999). Steering behaviors for autonomous characters. In *Game developers conference*, volume 1999, pages 763–782. Citeseer.
- Thalmann, D., Musse, S. R., and Pelechano, N. (2007). Crowd simulation using steering behaviors. In *Computer Animation and Virtual Worlds*, volume 18, pages 3–16.