Modelo de agentes inteligentes para simular el tránsito peatonal en ferias comerciales urbanas durante la pandemia del COVID-19

Intelligent agent model for simulating pedestrian traffic at urban trade fairs during the COVID-19 pandemic

Gonzalo Rodolfo Peña Zamalloa
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6141-6849
Universidad Continental, Huancayo, Perú
Correo electrónico: gpena@continental.edu.pe

Resumen

La pandemia del COVID-19 reveló la necesidad de contar con nuevas aproximaciones para el estudio del entorno urbano. Entre ellas, el distanciamiento físico, el cual tiene como propósito minimizar los contagios y salvaguardar el bienestar general. En la presente investigación, se diseñó un modelo simulado para identificar de contactos cercanos durante el tránsito peatonal en actividades urbanas específicas como la feria comercial. El tipo de investigación fue aplicada y de diseño cuasiexperimental, se desarrolló un modelo de simulación paramétrica basado en agentes inteligentes a nivel micro en escenarios urbanos feriales. Inicialmente, se compararon configuraciones de ferias comerciales teóricas, considerando la forma del espacio caminable y la disposición de puestos comerciales. Luego, se realizó una manipulación de parámetros particulares, entre ellos, la probabilidad de visibilizar un puesto y la probabilidad de detenerse ante un contacto directo o colisión. Finalmente, se contrastaron los resultados usando correlaciones estadísticas, la prueba de PerMANOVA, Games-Howell y el análisis gráfico de las conductas peatonales microsimuladas por el modelo desarrollado. Se concluye que el modelo es válido desde una perspectiva estocástica de estudio del tránsito peatonal para los cinco escenarios urbanos feriales simulados.

Palabras clave

Feria urbana, microsimulación, autómata celular, tránsito peatonal, distanciamiento físico

Abstract

The COVID-19 pandemic highlighted the need for new approaches to the urban environment. Among them, physical distancing is intended to minimize contagion and safeguard general welfare. In the present research, a simulated model was designed to identify close contacts during pedestrian traffic in specific urban activities such as a trade fair. This research type was applied and of quasi-experimental design, a parametric simulation model based on intelligent agents was developed at the micro level in urban trade fair scenarios. Initially, theoretical trade fair configurations were compared, considering the shape of the walkable space and the arrangement of trade stands. Then, a manipulation of particular parameters is performed, among them, the probability of making a stall visible and the probability of stopping in case of direct contact or collision. Finally, the results were compared using statistical correlations, the PerMANOVA test, Games-Howell and the graphical analysis of the micro-simulated pedestrian behaviors by the developed model. It is concluded that the model is valid for theoretical pedestrian traffic models for the five simulated urban fairground scenarios.

Keywords

Urban fair, micro simulation, cellular automaton, pedestrian traffic, physical distance

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido:
24 de mayo de 2021.
Aceptado:
11 de mayo de 2022.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:
Peña Zamalloa, G. R. (2022). Modelo de agentes inteligentes para simular el tránsito peatonal en ferias comerciales urbanas durante la pandemia del COVID-19. *Revista de Urbanismo*, (46), 22-39. **https://doi.org/10.5354/0717-5051.2022.63725**.

Introducción

En la actualidad, la actividad urbana se ha visto afectada por las medidas de mitigación de la pandemia del COVID-19; no solo la economía, sino también el acceso a los servicios urbanos. Esto ha llevado a considerar nuevas formas de estudio del espacio urbano en crisis sanitarias (Caislin et al., 2021). La ciudad se ha expuesto a medidas de restricción que alteran su normal funcionamiento (Zuleta Gutierrez, 2020), por ejemplo, como una consideración para reducir el exceso de mortalidad, se limitó la actividad comercial y el uso de espacios en los que la propagación aérea del virus es posible (Basellini et al., 2020; Vuorinen et al., 2020). En esta y en crisis similares se requieren medios para evaluar el distanciamiento físico en entornos urbanos.

En este contexto, las ferias comerciales urbanas son espacios que permiten el desarrollo del trabajo y el intercambio de alimentos y otros productos, lo que las convierte en un elemento cultural y económico relevante para la población (Hollenstein, 2019; Zazo-Moratalla y Napadensky-Pastene, 2020). Sin embargo, existe evidencia que sostiene que la aglomeración de personas en espacios urbanos puede ser un punto de contagio, ante lo cual se limitó su actividad (Caislin et al., 2021; Mello, 2020). La aproximación simulada del tránsito peatonal en estos escenarios permite un nivel de evaluación preventivo.

Los modelos de microsimulación basados en agentes inteligentes o autómatas celulares permiten una aproximación simulada del tránsito peatonal y han sido usados extensamente en modelos de evacuación, aglomeraciones y desplazamientos dirigidos en espacios abiertos o cerrados (Chen, Treiber et al., 2018; Davidich, & Köster, 2013; Kwak et al., 2015). Estos modelos usan parámetros de conducta probabilística, permitiendo una simulación estocástica entre el desplazamiento de los agentes y su entorno (Narang et al., 2015; Zhao, 2018; Zhou et al., 2019). En este sentido, un entorno ferial comercial urbano en un contexto de crisis sanitaria requiere de un método de evaluación de la probable generación de contactos físicos peatonales.

La presente investigación es de tipo aplicada, implementó un modelo de microsimulación basado en agentes (SBA) para evaluar la generación estocástica de contactos físicos cercanos entre peatones bajo diferentes configuraciones de ferias comerciales. La pregunta de investigación fue: ¿el modelo desarrollado permite la identificación diferenciada de contactos cercanos entre agentes, considerando la configuración espacial de una feria comercial? Para tal fin se contrastaron los resultados probados en cinco escenarios diferenciados que siguen una disposición de puestos feriales comerciales y áreas de tránsito en la acera, calzada, carril y plaza como lugares de prueba para la validación probabilística del modelo.

Marco teórico

La feria comercial urbana, la conducta peatonal y la necesidad de distanciamiento social

Además de ser una de las crisis económicas más relevantes de los últimos siglos, la pandemia del COVID-19 ha significado un reto para la acción urbana y, posiblemente, constituye un punto de cambio en la forma en cómo planificamos las ciudades (Abusaada, & Elshater, 2020; Martínez, & Short, 2021; Psyllidis et al., 2021). A partir de esta situación, se ha debatido ampliamente acerca de la configuración del espacio público, el transporte, la conectividad y la economía urbana, de lo cual han derivado propuestas conceptuales e intervenciones inmediatas diversas (Mello, 2020). De esta manera, la pandemia ha sido un episodio que ha dado como resultado una reevaluación de la naturaleza del espacio público en las ciudades, así como su estudio y planificación (Lusk et al., 2020; Mello, 2020).

Los espacios públicos son lugares donde las personas se congregan e interactúan y, usualmente, se genera interacción para una convivencia saludable (Martínez, & Short, 2021; Psyllidis, 2021). Sin embargo, durante la pandemia se convirtieron en lugares de riesgo donde la posibilidad de contagio se incrementaba (Mello, 2020). Ante ello, diversas políticas de gobiernos locales buscaron el cerramiento de estos importantes espacios, limitando y modificando la interacción en la ciudad. Después de

un período de reducción de casos, estas restricciones pasaron a ser menos severas, se fueron abriendo los espacios con una menor densidad de ocupación, a fin de minimizar el contacto físico (Mello, 2020; Psyllidis, 2021). Estas medidas de organización se evidenciaron en diversas partes del mundo y alteraron la movilidad peatonal bajo condiciones sanitarias emergentes (Combs, & Pardo, 2021).

Ante situaciones similares, la implementación de medidas de salud pública podría afectar la forma de interacción peatonal en los espacios, principalmente, en lugares de área reducida, cerrados o de alto tráfico peatonal (Capolongo et al., 2020). Por otro lado, la distribución de la densidad poblacional y el contraste con el uso del espacio urbano inciden en la propagación del virus, influyendo directamente sobre las medidas tomadas para su mitigación (Villani et al., 2020).

En diversas ciudades latinoamericanas, los espacios feriales suelen congregar gran tránsito peatonal, esta conducta es promovida por su naturaleza de intercambio de productos y otras actividades comerciales (Lacarrieu, 2016; Ortubia Diaz y Bertolotti, 2020; Roldán, 2018). De ahí que, en estos casos, el espacio público sea altamente valorado por su significado y diversidad de uso; estos escenarios suelen ser centrales, pero escasos y limitados, por lo que muchas veces las vías son usadas para la realización de eventos (Carrión, 2019).

La feria comercial o feria popular es un evento público que se desarrolla sobre un espacio abierto lineal como la vía, aceras o plazas de diversos tamaños y tiene una naturaleza temporal o itinerante (Lacarrieu, 2016; Roldán, 2018). La feria comercial es una forma de gestión del espacio público que beneficia a la población local y es de gran relevancia para ciertas actividades económicas (Roldán, 2018). Estas ferias son expresiones de apropiación pública y cultural en el espacio público, y son muy importantes en ciudades Latinoamericanas (Adama, 2020). En muchos países, este tipo de actividades fueron restringidas durante la pandemia, lo que impidió su normal desarrollo, si bien, recientemente, la flexibilización de las medidas ha permitido establecer criterios de distanciamiento y desarrollo de actividades feriales de forma más segura (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2021).

Las ferias comerciales son íconos populares de emprendimiento y autogestión (Lacarrieu, 2016; Roldán, 2018). Muchas de ellas han perdurado desde inicios del siglo XX y son atractivos turísticos, lugares de encuentro y de intercambio cultural (Busso, 2011; Roldán, 2018). Su dinámica itinerante le permite aprovechar diversos espacios sin alterar la infraestructura. Este proceso de apropiación del espacio público es una acción colectiva de naturaleza mixta, informal y formal, particular y propia de entornos latinoamericanos, lo que las convierte en un escenario de integración (Jiménez Palacios et al., 2019; Lacarrieu, 2016; Roldán, 2018). La feria es una forma mixta, que articula prácticas comerciales y tradicionales en un espacio de modernidad urbana (Lacarrieu, 2016).

La inclusión de elementos que mejoren la calidad de vida tomando en cuenta la salud de los ciudadanos ha sido un factor importante en la aproximación a nuestras ciudades. En este sentido, mecanismos de monitoreo o prevención de la proliferación de enfermedades por vía aérea o contacto cercano se están agregando a los medios de regulación de la densidad poblacional, higiene y seguridad urbana (Mello, 2020; Psyllidis, 2021).

Sin embargo, al ser tan reciente, esta necesidad no ha sido siempre mitigada o comprendida correctamente, lo que ha dificultado las decisiones sobre la intervención del espacio abierto y las actividades que en él ocurren. Para intervenciones de naturaleza de acción inmediata, medidas como el urbanismo táctico han funcionado adecuadamente en la acción de apropiación del espacio en el pasado (Steffens, 2013). Mientras que, ante escenarios de incertidumbre, las aproximaciones teóricas o modelamientos matemáticos probabilísticos se han usado como base para la intervención urbana, buscando mantener el contacto físico al mínimo en los espacios públicos durante el incremento de contagios (Caislin et al., 2021 Psyllidis, 2021).

El vínculo entre la gestión municipal, los planes urbanos, la relación con los comerciantes ambulatorios, formales e

informales, las expectativas y costumbres de la población dan vida al espacio ferial (Busso, 2011; Jiménez Palacios et al., 2019;). Esta vibrante actividad fue reducida en muchos entornos a nivel global bajo restricciones directamente impuestas o por una práctica necesaria durante el desarrollo de la pandemia (Kato, & Matsushita, 2021; Villani et al., 2020). Por ello, las herramientas de validación teórica son esenciales para tener un acercamiento cuantitativo a posibles escenarios futuros en los que se requiera intervención para reducir los contactos entre peatones durante un incremento de casos infecciosos similares a los de la COVID-19 (Mello, 2020; Psyllidis, 2021).

La microsimulación basada en agentes (SBA)

Entre las ciencias de estudio geográfico, la simulación de las conductas peatonales es de gran interés (Torrens, 2012). La consideración de la simulación peatonal en el entorno urbano en distintas escalas ha recibido un mayor interés en los últimos años (Chen, Treiber et al., 2018; Zhou, et al., 2019). Ello principalmente por la diversidad de conductas emergentes generadas por la interacción de los agentes individuales (Zhou, et al., 2019). Para este fin, los autómatas celulares son uno método ampliamente aceptado (Narang, et al., 2015; Torrens, 2012). La SBA se ha usado en el entorno urbano, tanto en la escala macroscópica y microscópica, para simular rutas de evacuación (Davidich y Köster, 2013; Torrens, 2012), sin embargo, estos modelos se han adaptado a otros escenarios para la evaluación del desplazamiento peatonal (Torrens, 2012).

La capacidad paramétrica de los agentes permite modelar conductas para recrear diversos escenarios de forma realista (Torrens, 2012). Por otro lado, la forma de interacción de los agentes varía según la escala objetivo de la simulación. Mientras que una aproximación macroscópica considera a la multitud como una especie de fluido, las aproximaciones microscópicas permiten la individualización de los peatones, de sus rutas y objetivos (Crociani, & Lämmel, 2016). Así, las reglas de interacción, de visión y de velocidad de desplazamiento dependen también de la actividad y la escala simulada (Narang, et al., 2015). Las escalas intermedias identifican una dirección global para grupos de agentes (He, & Berg, 2013), mientras que, en la escala microscópica, las conductas son individuales. Ante ello, una creciente capacidad de cómputo facilita la generación de modelos de agentes a esta escala (Torrens, 2012).

En todas las escalas, la acción espacio temporal del agente se da en un radio de desplazamiento que delimita su perspectiva de acción (Chen, Treiber et al., 2018; Torrens, 2012). Las acciones, a su vez, pueden darse como interacciones discretizadas, producto de una evaluación de costo beneficio o de maximización de la utilidad de fuerza (Chen, Treiber et al., 2018). De hecho, dos modelos de interacción son diferenciables: el modelo de fuerza social y el modelo celular (Chen, Treiber et al., 2018; Dietrich et al., 2014).

El primero, facilita la interacción del agente con otros agentes, adecuando su velocidad, mientras que el segundo permite calibrar las reglas básicas de interacción con base en eventos que ocurren en posiciones cercanas (Chen, Treiber et al., 2018). Otras propuestas incluyen el uso de modelos de densidad, redes neuronales, modelos de largo del paso, entre otros (Chen et al., 2018). Estos últimos requieren datos históricos de observación de la conducta peatonal en gran diversidad de situaciones. En una escala microscópica, el modelo celular permite visualizar y registrar recorridos individuales y personalizar el radio de conciencia del agente (Chen, Treiber et al., 2018; Davidich y Köster, 2013; Xiong, et al., 2012). Además, este método permite integrar reglas heurísticas y abstractas como base de su conducta probabilística frente a otros agentes (Torrens, 2012).

El modelamiento de la conducta peatonal en la SBA

En una SBA se identifican múltiples niveles de conducta. En un primer nivel, llamado estratégico, se formulan los objetivos iniciales de ruta que el agente (Crociani, & Lämmel, 2016). Las estructuras celulares permiten la modificación de la ruta inicial a partir de la interacción con otros agentes (Xiong, et al., 2012). El segundo nivel, llamado táctico, considera actividades y el orden de su de ejecución (Crociani, & Lämmel, 2016). El desarrollo de las actividades en el entorno se despliega en una malla matricial, con base en la cual se especifican distancias

y duraciones de desplazamiento que usan a las celdas como unidad de referencia (Burstedde, et al., 2001). El tercer nivel, llamado operativo, incluye la ejecución de actividades físicas, pero puede contener alteraciones menores en la ruta planificada (Crociani et al., 2014; Crociani, & Lämmel, 2016). En este último nivel, el agente interactúa directamente con otros agentes y su entorno y, a partir de ello, reorienta la dirección de su caminata (Xiong, et al., 2012). Además, el uso de mallas multidimensionales permite una mejor interacción con el entorno (Crociani, & Lämmel, 2016). La idea principal es la de regular la interacción básica entre agentes a lo largo de la ruta planificada (Crociani, & Lämmel, 2016; Narang, et al., 2015).

Los elementos que definen al entorno son divisiones de carriles, edificaciones y el espacio ocupado por puestos comerciales. Al utilizar mallas multidimensionales, la diferenciación entre elementos utiliza una codificación discreta que especifica la interacción del agente en un radio definido (Lu et al., 2013; Torrens, 2012). Así también se establece la secuencia de posiciones objetivo a alcanzar (Nieuwenhuisen, et al., 2007; Schöttl et al., 2019; Torrens, 2012). En este sentido, es posible generar atracción o repulsión a puntos específicos en la malla usando una probabilidad predefinida (Torrens, 2012). De esta forma, la selección de nuevos parámetros probabilísticos permite adecuar especificaciones únicas que pueden tener gran impacto en el recorrido del espacio (Schöttl et al., 2019). Esta flexibilidad permite simular la complejidad del recorrido peatonal en un entorno urbano y el uso de múltiples destinos en el recorrido planificado (Crociani, & Lämmel, 2016; Shi et al., 2018).

En cuanto a la acción de desplazamiento peatonal, los humanos, al igual que otras especies, tienden a mantener desplazamientos espaciales predecibles (Isaeva, 2012). Estos se restringen por el acceso caminable o pueden ser espontáneos para evadir una colisión o establecer un cambio de dirección hacia un objetivo (Chen, Treiber et al. 2018; Shi, et al., 2018). En una multitud de agentes, estos se ven afectados por ambos factores simultáneamente, los cuales se limitan por parámetros físicos (Dietrich, et al., 2014; Sun, & Wu, 2014). Para una SBA, estas conductas ocurren en la malla multidimensional cuyos valores se actualizan en cada iteración. Wang y Wang, 2016 y Chen, Treiber et al. (2018) identifican ocho movimientos básicos: 1) flujo directo; (2) vuelta en esquina; 3) ingreso; 4) salida; 5) flujo bidireccional; 6) flujo de cruce en dos direcciones; 7) flujo de cruce en múltiples direcciones; y 8) flujo aleatorio. En cuanto a la interacción entre agentes, Chen et al. (2018) reconoce cuatro situaciones: 1) evitamiento; 2) autodetención; 3) seguimiento; y 4) adelanto. Esta interacción se produce dentro del radio de conciencia del agente (Giannis, & Vlahogianni 2018; Zhao et al., 2018), en tanto, consciencia de los alrededores del agente es renovada síncrona y asíncronamente (Wang, & Wang, 2016).

Los parámetros de movimiento son preconfigurados para cada agente (Moussaïd, et al., 2010; Schöttl et al., 2019), de esta manera es posible mejorar las capacidades de movilidad del agente temporalmente (Bandini et al., 2017). El desplazamiento de un agente se gestiona por cada unidad temporal o ciclo simulado y considera las respuestas de otros agentes (Davidich y Köster, 2013; Narang et al., 2015). En la búsqueda de un camino libre, este puede modificar su velocidad y predecir el avance de otros agentes (Davidich y Köster, 2013). La relación entre velocidad y densidad es inversa, mientras la densidad se incrementa, la velocidad disminuye o se detiene el movimiento por completo (Chattarak et al., 2009; Gorrini et al., 2016). La velocidad deseada del agente se define por la que puede lograr en el área caminable definida en la malla (Berg et al., 2011; Hussein, & Sayed, 2015). Además, los parámetros de movimiento se limitan por principios biomecánicos de longitud de paso y velocidad de caminata (Cappellini et al., 2006; Narang et al., 2015). El perfil de velocidades del agente permite ajustar su respuesta dentro de dichos parámetros (Bandini et al., 2017; Hussein, & Sayed, 2015).

La línea recta es la forma básica de movimiento en un agente (Dias, et al., 2012; Jia et al., 2016; Shi et al., 2018), mientras que la dirección puede ser en uno, dos o múltiples ángulos. A mayor cantidad de direcciones de desplazamiento, mayor la complejidad de interacción entre agentes (Dias et al., 2014; Shi et al., 2018). La acción para evitar una colisión

Tabla 1
Proceso de desarrollo de la propuesta de simulación

Etapa	Actividad	Elemento a implementar
Etapa 1: Recolección de datos	Caracterización del entorno.	Imagen de representación de la matriz del entorno de feria comercial paramétrico.
	Características del tráfico peatonal.	*Espacio caminable definido por codificación en la matriz de entorno y la configuración de feria comercial urbana.*
	Características del puesto.	*Características de puesto y cola definidos en la matriz de entorno.*
Etapa 2: Modelamiento de la simulación	Método de simulación.	Métodos de autómatas celulares para la computación del modelo.
	Calibración paramétrica.	Programables desde el módulo principal de la aplicación.
Etapa 3: Comparación de estrategias	Escenarios de interacción.	Modelos planificados para comparar. El modelo se ejecuta uno a la vez.
	Resultados de simulación.	Generación de archivos de datos con resultados por agente y modelo. Matriz de entorno de modelo cada cierto paso en segundos.

o superposición es probabilística (Lu et al., 2013). Esta acción considera una probabilidad de negar la movilidad del agente o reducir la velocidad de su avance (Narang et al., 2015). Entre otras consideraciones está la capacidad de un agente por adelantar a otro de menor velocidad, invadiendo su radio personal (Chen, Treiber et al., 2018; Giannis, & Vlahogianni, 2018). Cada agente registra los obstáculos y su ubicación, así como el estado de otros agentes (Hussein, & Sayed, 2015; Lemercier et al. 2012).

Finalmente, diversos elementos, como altura, forma, temperatura, rango visual, masa, velocidad de caminata, la iluminación, distancia entre rutas y señales y familiaridad con el entorno pueden afectar el desplazamiento del agente (Chen, Tang et al., 2018, Lu et al., 2013; Zhou, et al., 2019). A su vez, los parámetros psicológicos y fisiológicos condicionan la formación de multitudes en escalas intermedias (Lu et al, 2013; Narang et al., 2015; Wang, & Wang, 2016). La naturaleza de la feria comercial urbana demanda la adición de conductas, se considera un tiempo de visita y de interacción en el puesto comercial para evaluar la mercancía y concretar una compra (Kwak et al., 2015; Shavitt, & Barnes, 2020). La aglomeración peatonal cercana a un puesto comercial podría alterar la trayectoria, esta puede considerarse como una forma de ruido en el modelo (Narang et al., 2015). Además, se requiere un libre tránsito para que los compradores puedan explorar las opciones (Kwak et al., 2015). Las conductas probabilísticas y aleatorias permiten una aproximación a esta complejidad (Zhao et al., 2018).

Metodología

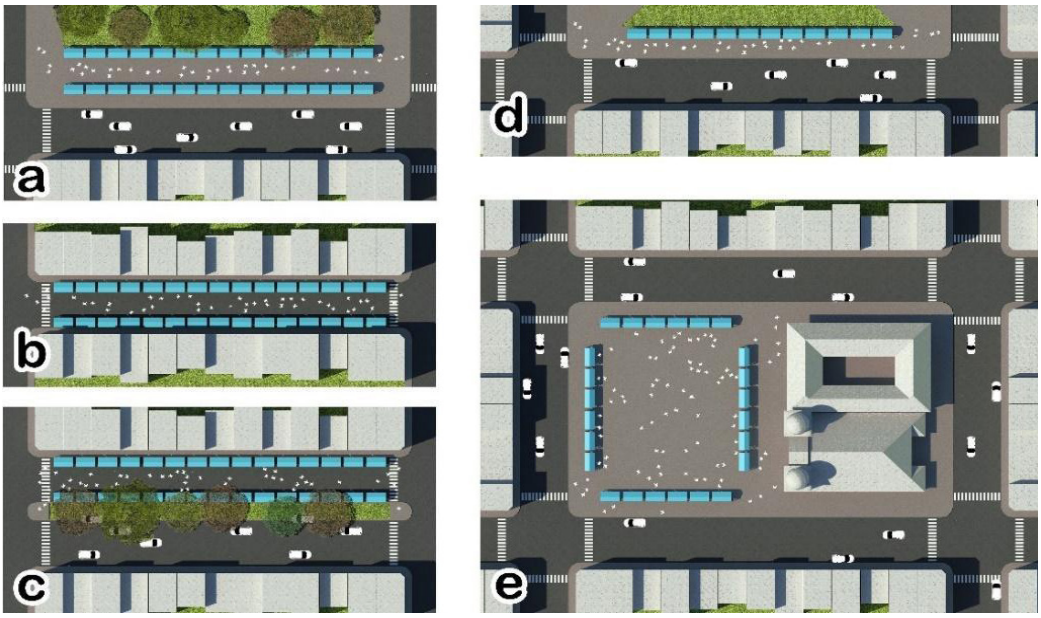
El modelo SBA se elaboró durante el período que va desde junio de 2020 y marzo de 2021, está escrito en el lenguaje de programación Python 3. Su desarrollo se realizó en tres etapas: 1) la recolección de datos de caracterización; 2) el modelamiento de la simulación; y 3) la comparación de estrategias de evaluación del modelo. Las actividades se describen en la Tabla 1.

La recolección de datos fue documental y se establecieron diferentes configuraciones típicas de formación de los espacios feriales comerciales que se dan en vías, carriles, aceras y plazas. Estos espacios temporales generan medios de recorrido peatonal que, por su naturaleza, son libres. Para su parametrización, los modelos fueron presentados de forma teórica. Las características de entorno se definieron en cinco escenarios diferenciados en la Figura 1.

Recolección de datos

El modelo propuesto asume que la velocidad del peatón no es constante debido a que este camina muy lentamente o desacelera con frecuencia para evitar una colisión, evaluar el atractivo de un puesto comercial, o esperar en una cola para ser atendido. Se considera una velocidad estimada para un flujo unidireccional de 1,4 m/s a una densidad de 1,5 agentes/m^2 (Shi et al., 2018). Durante la caminata cada agente mantiene una velocidad de preferencia propia entre 0,8 m/s a 1,9 m/s, limitadas por la activación muscular esperada (Cappellini et al., 2006). Considerando que la conducta peatonal difiere en los giros y esperas ante densidades altas, se identifican ángulos de caminata normal de 30°, 90° y 150° con un promedio de 0,99 m/s, 0,93 m/s y 0,83 m/s respectivamente (Aghabayk et al., 2020). El modelo simplificado de la conducta de la velocidad se presenta en la Figura 2.

Figura 1
Disposición de ferias comerciales temporales



Nota: a. Ocupación en espacios públicos lineales anchos que permiten tránsito peatonal paralelo. b. Ocupación temporal de la vía con una peatonalización temporal con tránsito paralelo en las veredas y las aceras. c. Ocupación temporal de una parte de la con una peatonalización temporal con tránsito paralelo en las veredas y las aceras sin limitar tránsito vehicular. d. Ocupación en espacios públicos lineales estrechos. e. Ocupación en espacios públicos de plazas con espacios abiertos.

Figura 2
Regulación de la velocidad

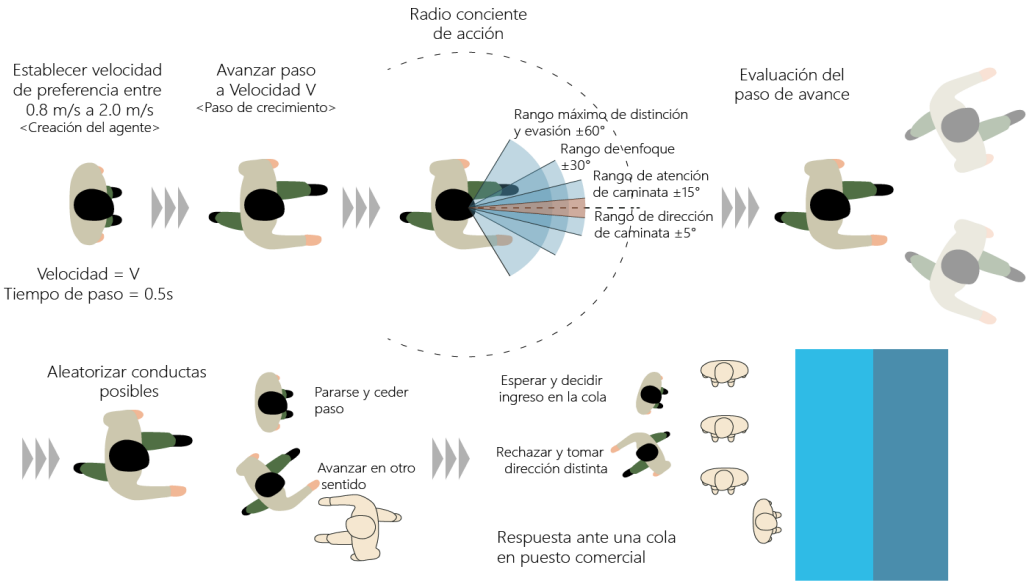
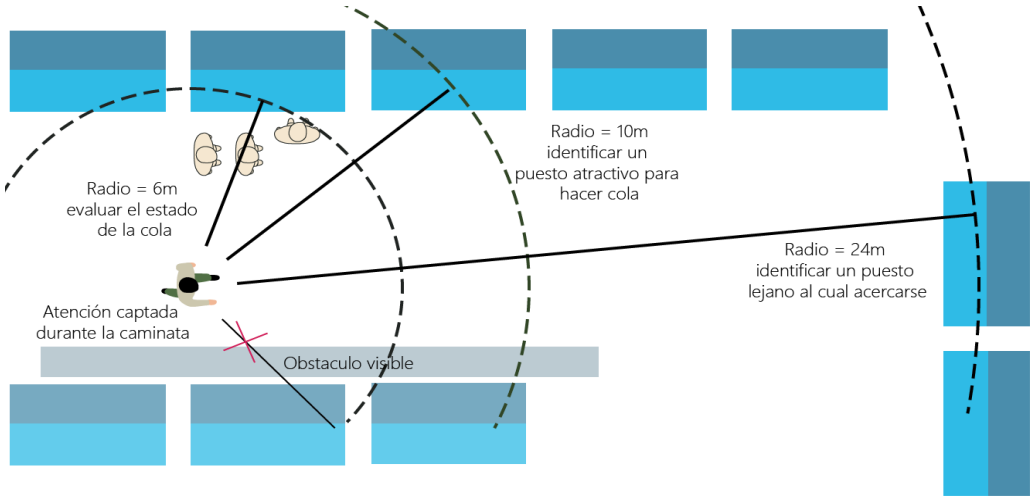


Figura 3
Regulación de la velocidad



Teniendo en cuenta la naturaleza única de un modelo de una feria comercial, se requiere establecer nodos de ruta inicial antes de comenzar el recorrido, los cuales pueden ser modificados al transitar por el espacio. Esta ruta es establecida al inicio de la simulación. Además, se considera un tránsito multidireccional, una constante posibilidad de cambio de dirección, y la posibilidad de que durante el recorrido el agente puede verse atraído de forma probabilística por un puesto. Para ello, el rango de visión para la percepción de un establecimiento comercial se estableció alrededor de 10 m (Kwak et al., 2015). Se asume que los peatones mantienen una expectativa diferenciada y que en las vueltas este rango puede reducirse hasta 6 m (Jia et al., 2016). El radio de consciencia considerada fue de 10 m. Se toma en cuenta que en promedio se puede reconocer una figura humana a 30 metros de distancia, aunque este valor es paramétrico. Para la simulación, se consideró una visión de identificación de un puesto lejano de hasta 24 m. El modelamiento de esta conducta se puede visualizar en la Figura 3.

Los puestos comerciales se han definido como un espacio de entre 3 a 4 m de largo por 2 a 3 m de ancho, parametrizables a través de celdas en la malla. Todo puesto considera un punto de atención y despacho para su cómputo. Cada puesto está acompañado por una forma de cola para atención, siendo este un parámetro gráfico dispuesto en la malla. El tiempo de exploración de los puestos se da en tres etapas: 1) evaluación; 2) consulta; y 3) espera para la compra de producto. El tiempo de atención para la prueba asume un valor distribuido normalmente entre 1 a 4 minutos y es posible adecuarlo paramétricamente.

Modelamiento de la simulación

El modelo utilizado para la simulación fue el de autómatas celulares. Para la definición de las fórmulas de conducta, se utilizaron las nomenclaturas propuestas por Chen, Treiber et al. (2018) y Torrens (2012). Además, para el espacio de malla se usó 40 cm de lado para una celda (Bandini et al., 2017). Sobre la base de esta unidad se ejecutaron los cálculos de movimiento. El escenario del modelo simplifica los elementos físicos para priorizar el desplazamiento del agente. Los modelos paramétricos gráficos se visualizan en la Figura 4.

La Figura 5 muestra la configuración de los módulos programados. El sistema es controlado a través del módulo principal, desde este se crean los objetos. Se usa una base de imagen para representar los elementos compositivos del entorno físico. Sobre esta se disponen puntos que conforman la red de nodos destino, articulados en una matriz. De forma similar, se crea la matriz de puestos comerciales, mientras que desde el módulo principal se generan los agentes y se establecen los parámetros. Una vez terminada la simulación se recupera la información almacenada en archivos externos correspondiente a los indicadores.

Resultados

La simulación generó 1.918.980 agentes en total, dispersos en 3.600 ciclos para cada uno de los escenarios de prueba. A partir de los datos simulados, para la aplicación de la prueba se separó la base de datos por cada uno de los escenarios. A partir de ello, se procedió a revisar las

Figura 4
Modelos abstraídos para la generación matricial

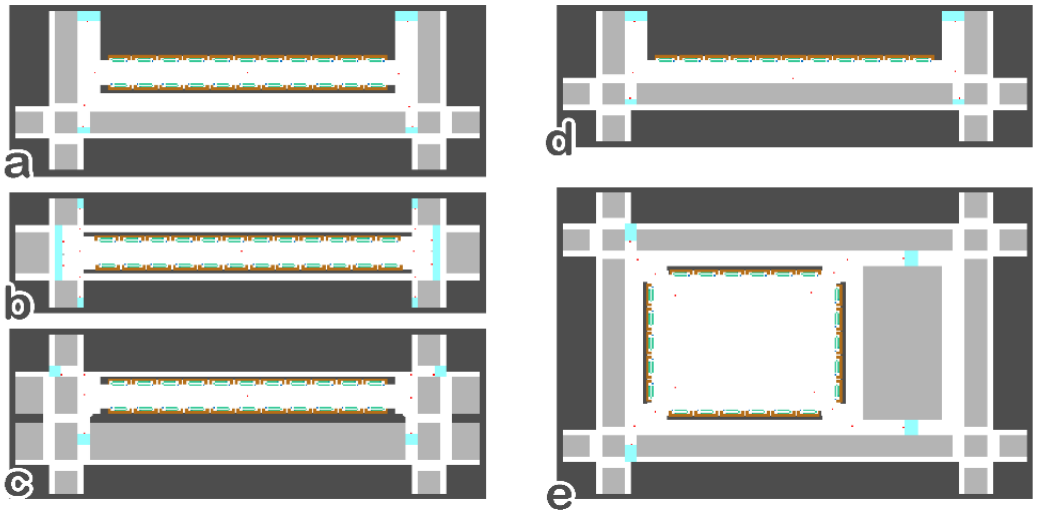


Figura 5
Arquitectura de sistema de agentes y el rol de los filtros de densidad

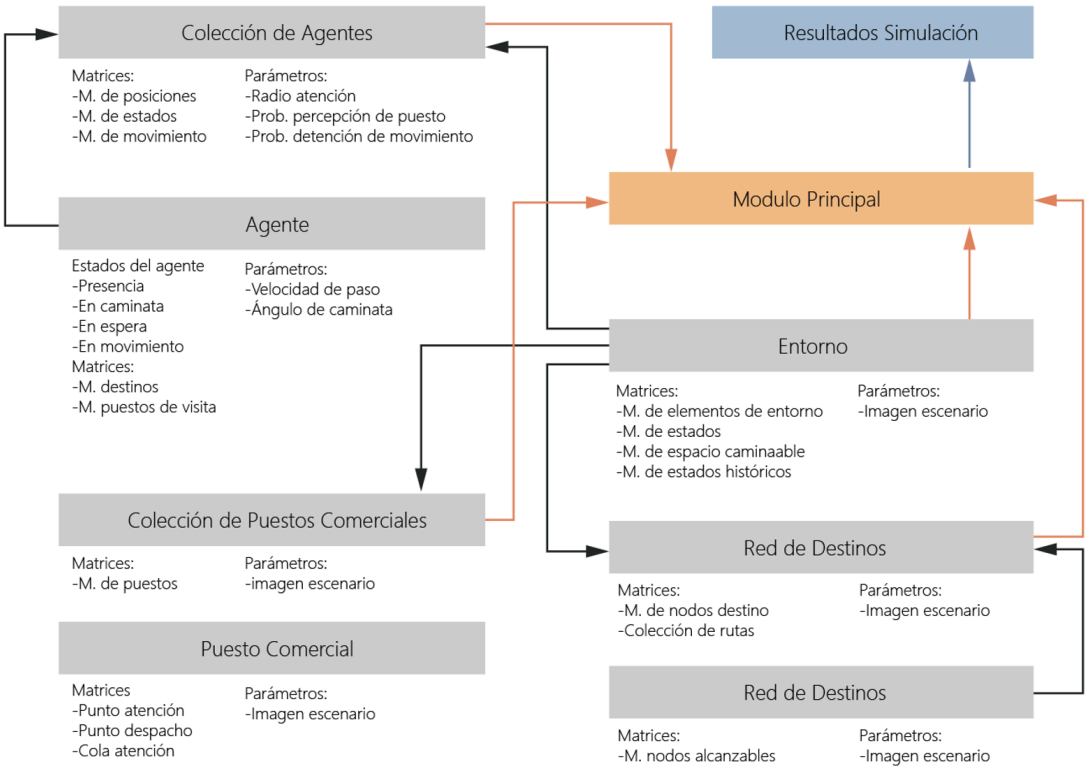


Tabla 2
Valores distribuidos entre percentiles por modelos individuales y máximos y mínimos valores alcanzados

Escenario	Estadístico	Núm. pasos	Núm. inmovilidades	Núm. contactos directos	Núm. contactos cercanos	Tiempo permanencia puesto	Núm. puestos visitados	Núm. puestos percibidos
Agrupado	Media	173,21	23,46	0,06	359,08	18,23	0,13	0,17
	Desviación	177,43	76,46	0,27	366,9	62,4	0,49	0,52
A	Media	173,99	20,72	0,06	385,86	17,06	0,14	0,17
	Mediana	130	0	0	301	0	0	0
	Desviación	158,24	65,37	0,25	325,9	55,22	0,49	0,51
B	Media	197,14	44,43	0,06	450,67	31,3	0,22	0,27
	Mediana	128	0	0	301	0	0	0
	Desviación	203,5	103,66	0,28	486,84	79,87	0,63	0,66
C	Media	106,85	10,77	0,06	166,56	9,03	0,1	0,12
	Mediana	84	0	0	137	0	0	0
	Desviación	103,24	42,12	0,27	166,87	36,28	0,42	0,44
D	Media	120,99	7,11	0,05	280,25	6,46	0,05	0,09
	Mediana	96	0	0	257	0	0	0
	Desviación	107,15	35,06	0,24	227,93	32,61	0,36	0,39
E	Media	267,18	34,23	0,08	509,15	27,28	0,15	0,19
	Mediana	190	0	0	396	0	0	0
	Desviación	229,14	101,11	0,31	418,15	84,82	0,52	0,53

distribuciones y remover los datos atípicos, reduciendo la cantidad de registros de agentes a 1.704.599. Los estadísticos obtenidos calculados para las variables examinadas se muestran en la Tabla 2.

Entre los valores más resaltantes se distinguen el alto número de pasos promedio del escenario E (267,18 pasos), el tiempo promedio que permanece el agente (84,82 ciclos), con una media de contactos cercanos de 418,15. Mientras que el escenario C presenta un promedio de 106,85 pasos y un tiempo de permanencia de 9,03 ciclos y una media de contactos cercanos de 166,56, la menor en el desarrollo de la simulación. En la Tabla 3, se muestran las correlaciones entre variables del modelo, entre ellas, la cantidad de pasos está altamente correlacionada con la cantidad de contactos cercanos (r = 0,80, p <0,001) y se muestra como la covariable más significativa en la generación de posibles aglomeraciones peatonales.

Para la comparación entre los escenarios se optó por la prueba de MANOVA, considerando como variables dependientes la cantidad de contactos cercanos y su covariable la cantidad de pasos. Sin embargo, la prueba de caja para la igualdad de matrices de covarianza y la prueba de normalidad de los datos resultaron altamente significativas (p <1E-35). Como alternativa se aplicó la prueba PerMANOVA, sugerida por Anderson (2001) y McArdle y Anderson (2001), para casos de violación extrema de requerimientos para MANOVA.

Debido a la enorme capacidad de procesamiento requerido por PerMANOVA, se realizó un muestreo probabilístico simple de la población de agentes. La proporción de agentes que tuvieron más de un contacto cercano con otros agentes en su recorrido fue de 98 %; esta fue utilizada como probabilidad de éxito en la muestra proporcional aleatoria simple. El tamaño de la muestra (NC = 0,99, e = 0,01, p = 0,98, N = 1.704.599) fue de 1.306 agentes. La prueba se ejecutó en el software R Studio, con el uso de la librería PERMANOVA del repositorio CRAN.

En la Tabla 4 se distinguen los resultados de la prueba PerMANOVA. El valor total de p ajustado de la prueba (p = 0,0010) permite el rechazo de la hipótesis nula. Es posible afirmar que existe una diferencia en la cantidad de contactos entre los agentes para al menos una de las categorías. Las categorías de contraste revelan que existe una participación significativa en la diferencia de la cantidad de contactos aleatorios que se pueden generar en cada escenario que es significativamente distinta. Para profundizar en la forma de su diferenciación, se evalúa la diferencia media a través de la prueba de Games-Howell

Tabla 3
Correlaciones entre variables

Variables	Corr. Pearson	Núm. pasos	Núm. inmovilidades	Núm. contactos directos	Núm. contactos cercanos	Tiempo permanencia puesto	Núm. puestos visitados	Núm. puestos percibidos
Núm. pasos	r	-	0,599	-0,006	0,820	0,536	0,418	0,458
	p	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Núm. inmovilidades	r	-	-	-0,003	0,593	0,911	0,683	0,664
	p	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Núm. contactos directos	r	-	-	-	0,009	-0,002	-0,004	-0,004
	p	-	-	-	0,000	0,022	0,000	0,000
Núm. contactos cercanos	r	-	-	-	-	0,592	0,373	0,414
	p	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000
Tiempo permanencia puesto	r	-	-	-	-	-	0,597	0,573
	p	-	-	-	-	-	0,000	0,000
Núm. puestos visitados	r	-	-	-	-	-	-	0,921
	p	-	-	-	-	-	-	-
Núm. puestos percibidos	r	-	-	-	-	-	-	-
	p	-	-	-	-	-	-	

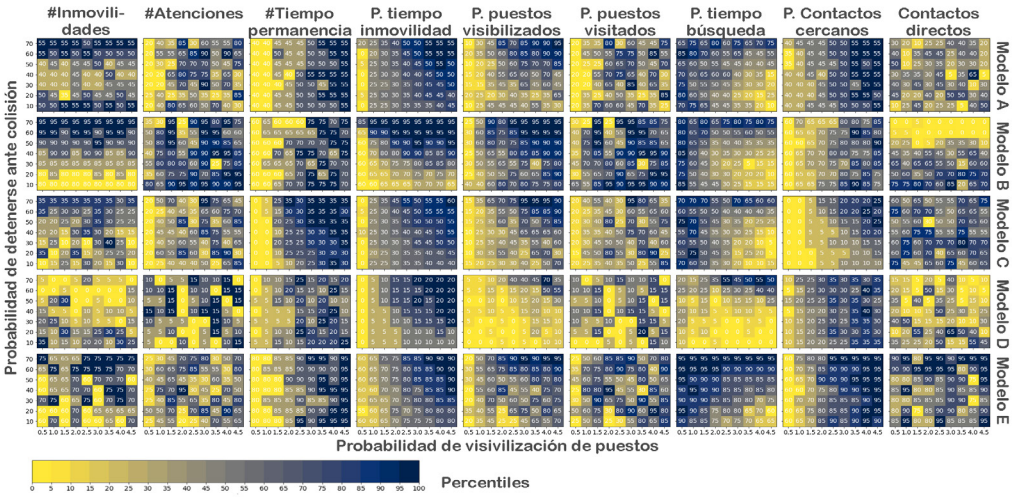
Tabla 4
Prueba PerMANOVA y categorías de contraste

Escenario	Valor explicado	Valor residual	Gl núm.	Gl denom	Exp. F	Valor *p*	Valor *p* ajustado
A	9,4855	2.373,354	1	1.300	5,195684	0,0080	0,0400
B	46,7035	2.373,354	1	1.300	25,5817	0,0010	0,0050
C	82,7608	2.373,354	1	1.300	45,3321	0,0010	0,0050
D	31,0738	2.373,354	1	1.300	17,0206	0,0010	0,0050
E	64,6223	2.373,354	1	1.300	35,3968	0,0010	0,0050
Total	234,6459	2.373,354	4	1.300	32,1317	0,0010	0,0010

Tabla 5
Prueba de diferencias emparejadas de Games-Howell para la variable dependiente (número contactos cercanos por número de pasos)

Escenario (Factor)	Estadístico	Escenario (Factor)				
		A	B	C	D	E
-	N Agentes	344.872	343.735	332.019	347.067	336.906
A	Dif. Medias	-	-64,817	219,298	105,604	-123,297
	Valor p	-	0,000	0,000	0,000	0,000
B	Dif. Medias	-	-	284,115	170,421	-58,480
	Valor p	-	-	0,000	0,000	0,000
C	Dif. Medias	-	-	-	-113,694	-342,595
	Valor p	-	-	-	0,000	0,000
D	Dif. Medias	-	-	-	-	-228,901
	Valor p	-	-	-	-	0,000
E	Dif. Medias	-	-	-	-	-
	Valor p	-	-	-	-	-

Figura 6
Mapa de calor de variables entre escenarios simulados para la variación de parámetros probabilísticos del modelo



para la comparación emparejada de los datos de toda la población típica $N = 1.704.599$. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

La Tabla 5 muestra que existe una diferencia entre cada escenario en la producción de encuentros cercanos aleatorios. La diferencia más importante se da entre el escenario C y E, en tanto la diferencia media entre ambas es de 342.595 pasos. Para la relación de los escenarios se puede concluir el orden de promoción de contactos entre agentes el cual es el siguiente: E > B > A > D > C. Esta relación es significativa para todos los casos simulados con valor p <0,001 para todas las parejas.

En cuanto a la variación generada por las probabilidades, se construyó un mapa de calor para cada variable y su respectiva conducta, basado en la manipulación gradual de la probabilidad de visibilización de puestos (0,5 % <p <4,5 %) y la probabilidad de detenerse ante un contacto directo o colisión (10,0 % <p <70,0 %). Los valores se dividieron en percentiles para la asignación del color de escala, esta se distingue en la Figura 6.

La Figura 7 muestra la organización espacial de los agentes, los que llegan de diversos puntos dispuestos en los escenarios de prueba, esquinas y extremo de vías. Las imágenes corresponden a los ciclos 500, 1.000, 2.000 y 2.500. El modelo de espacial de cada escenario se contrastó con un escenario misceláneo en el que es posible ver la dinámica de los agentes en escenarios continuos.

La Figura 8 muestra la relación entre los valores obtenidos después de la simulación entre los modelos de escenarios. Los ciclos transcurridos en la simulación figuran en el eje X, desde en ingreso de los primeros agentes hasta alcanzar el punto máximo en los 1.800 ciclos (centro del eje), para acabar con el término del modelo con la salida de los agentes hacia el ciclo 3.600. Esta conducta revela una acelerada formación de actividades al ingreso y un rápido despliegue de los agentes en los modelos C, D, A, mientras que el B y el E mantienen parámetros de tiempo de permanencia en puestos más aleatorios. Con respecto a la dinámica temporal, aunque los valores típicos no permiten su distinción en las tablas, el análisis visual de las Figura 6, 7 y 8 funciona para distinguir formaciones de contactos cercanos y aglomeraciones en aceras estrechas, paralelas a los espacios de vía ocupados por los agentes.

Discusión de resultados y conclusiones

Un modelo de SBA debe ajustarse a un propósito de configuración específica, diferenciando resultados en entornos simulados distintos (Narang et al., 2015). Para el modelo propuesto se verificó que se generaran cambios en el espacio transitable en cada uno de los escenarios que simulan una disposición de feria comercial, validando la microsimulación generada como interactuante con el entorno. A partir de la probabilidad de visibilización de puestos y la probabilidad de detenerse ante un contacto directo o colisión, los agentes desarrollaron una conducta estocástica diferenciada. Esta permite introducir un cierto nivel de incertidumbre en escenarios realistas (Xie et al., 2012; Davidich y Köster, 2013).

Figura 7
Visualización de agentes en la matriz del entorno en diversos tiempos de simulación

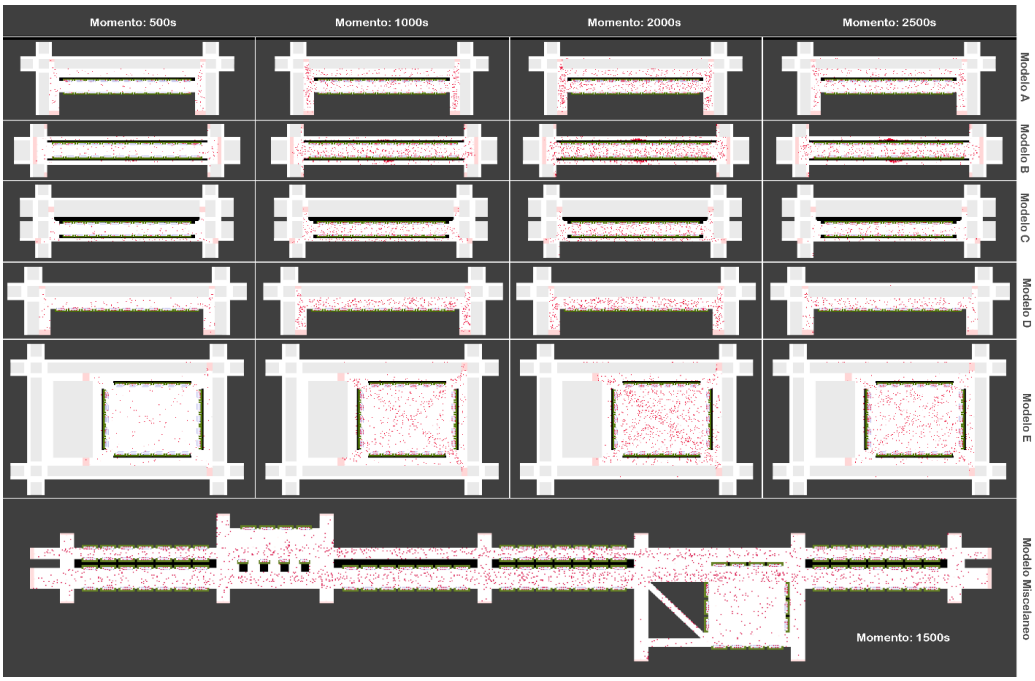
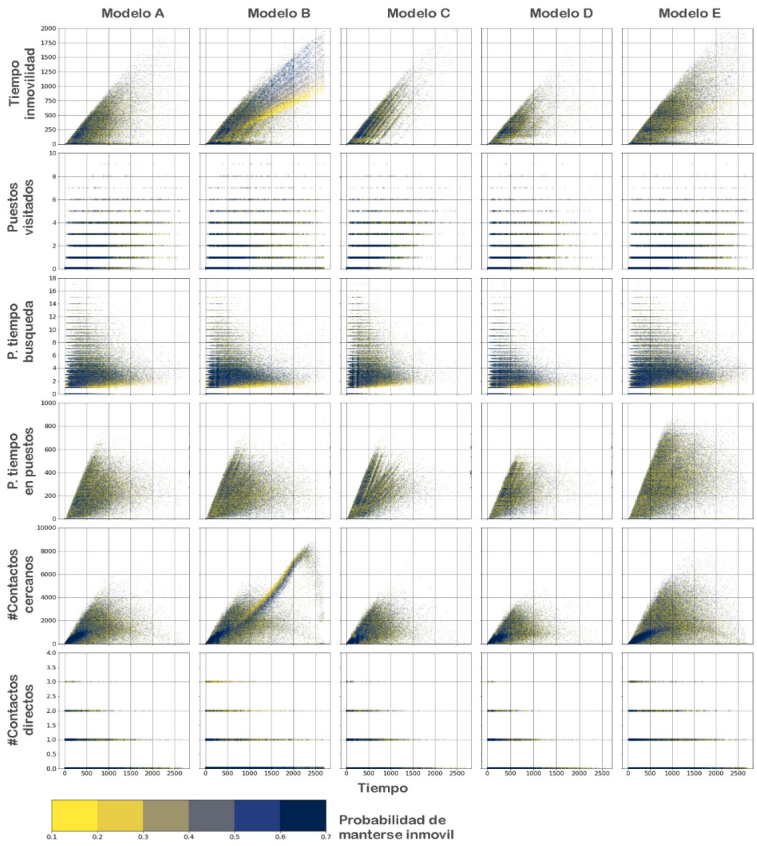


Figura 8
Dinámica temporal de agentes



La planificación de ruta es funcional y se adecua a espacios de disposiciones en ferias comerciales urbanas sobre vías y plazas con una decisión de ruta diferenciada distinta a los modelos tradicionales descritos por Narang et al. (2015). La demanda computacional es elevada, tal como en los casos presentados por Shi et al. (2018). La construcción de este modelo teóricamente es adecuado y permite un estudio que podrá ser mejorado en los siguientes años con la representación de contraste para una multitud de peatones reales en diversos escenarios (Bandini et al., 2017). El modelo es coherente con conductas esperadas de desplazamiento y puede ser usado como una estrategia en escenarios en los que se pretende medir el riesgo de generación de aglomeración peatonal.

Posteriores versiones podrían incorporar condiciones múltiples de causa como variantes del desplazamiento similares al modelo de Giannis y Vlahogianni (2018). El modelo es flexible y capaz de calibrarse a través de la configuración de sus parámetros. Por lo que, en posteriores etapas de su desarrollo deberán considerarse ajustes de conducta a través de la experimentación como lo plantea Davidich y Köster (2013) o Zhao et al., (2018), aunque la calibración puede tomar largos períodos de tiempo (Von Sivers et al., 2016). Los cambios en la forma de ver la ciudad después de la pandemia demandan la cuantificación adecuada de nuevas variables como el contacto físico en espacios de tránsito urbanos, para dar oportunidad a mejores espacios caminables (Barbarossa, 2020; Caislin et al., 2021). La naturaleza generalizante de los modelos de simulación los hace herramientas poderosas para enfrentar decisiones en escenarios de incertidumbre como los desarrollados durante la pandemia de COVID-19.

Conclusiones

El modelo de microsimulación desarrollado presenta conductas estocásticas diferenciadas válidas con base en los parámetros de probabilidad de visibilización de puestos y la probabilidad de detenerse ante un contacto directo o colisión. La configuración espacial del escenario de simulación de disposición de patrones de tipo comercial ferial determina cambios en la conducta de los agentes. A partir de los escenarios simulados, los espacios lineales ofrecen un mejor control sobre la generación de contactos cercanos entre peatones que los espacios abiertos bajo condiciones de similar densidad, aun cuando el flujo y la dirección del tránsito peatonal sea libre. El modelo permite identificar de forma probabilística la generación de aglomeraciones espontáneas peatonales en espacios de configuración de ferias comerciales urbanas. 46

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

Referencias bibliográficas

Abusaada, H., & Elshater, A. (2020). COVID-19's challenges to urbanism: social distancing and the phenomenon of boredom in urban spaces. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, *15*(2), 258-260. http://dx.doi.org/10.1080/17549175.2020.1842484

Adama, O. (2020). Abuja is not for the poor: Street vending and the politics of public space. *Geoforum*, *109*, 14-23. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.12.012

Aghabayk, K., Radmehr, K., & Shiwakoti, N. (2020). Effect of Intersecting Angle on Pedestrian Crowd Flow under Normal and Evacuation Conditions. *Sustainability, 12(*4), 1301. https://doi.org/10.3390/su12041301

Anderson, M. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, *26*(1), 32-46. https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x

Bandini, S., Crociani, L., & Vizzari, G. (2017). An Approach for Managing Heterogeneous Speed Profiles in Cellular Automata Pedestrian Models. *Journal of Cellular Automata*, *12*(1), 401-421. https://www.oldcitypublishing.com/journals/jca-home/jca-issue-contents/jca-volume-12-number-5-2017/jca-12-5-p-401-421/

Barbarossa, L. (2020). The Post Pandemic City: Challenges and Opportunities for a Non-Motorized Urban Environment. An Overview of Italian Cases. *Sustainability*, *12*(17), 7172. https://doi.org/10.3390/su12177172

Basellini, U., Alburez-Gutierrez, D., Del Fava, E., Perrotta, D., Bonetti, M., Camarda, C. G., & Zagheni, E. (2020). Linking excess mortality to Google mobility data during the COVID-19 pandemic in England and Wales. *SSM - Population Health*, 14, 100799. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100799

Berg, J., Guy, S., Lin, M., & Manocha, D. (2011). Reciprocaln-body Collision Avoidance. *Advanced Robotics*, 70(1), 3-19. http://gamma.cs.unc.edu/ORCA/publications/ORCA.pdf

Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., & Zittartz, J. (2001). Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *295*(3-4), 507-525. https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00141-8

Busso, M. (2011). Las ferias comerciales: también un espacio de trabajo y socialización. Aportes para su estudio. *Trabajo y Sociedad*, (16), 105-123. https://www.redalyc.org/pdf/3873/387334688007.pdf

Caislin L., Baquero B., R, Hoerster, K., Mooney, S., & Winters M. (2021). Not quite a block party: COVID-19 street reallocation programs in Seattle, WA and Vancouver, BC. *SSM Population Health*, *14*, 100769. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100769

Capolongo S, Rebecchi A, Buffoli M, Appolloni L, Signorelli C, Fara GM, D'Alessandro D. (2000). COVID-19 and Cities: from Urban Health strategies to the pandemic challenge. A Decalogue of Public Health opportunities. *Acta Biomed*, *91*(2), 13-22. https://doi.org/10.23750/abm.v91i2.9615

Cappellini, G., Ivanenko, Y., Poppele, R., & Lacquaniti, F. (2006). Motor Patterns in Human Walking and Running. *Journal of Neurophysiology*, *95*(1) 3426-3437. https://doi.org/10.1152/jn.00081.2006

Carrión, F. (2019) El espacio público es una relación no un espacio. En F. Carrión y M. Dammert-Guardia (Eds.), *Derecho a la ciudad: Una revocación de transformaciones urbanas en América Latina* (pp. 191-219). CLASCO.

Chattarak, U., Seyfried, A., & Chakroborty, P. (2009). Comparison of pedestrian fundamental diagram across cultures. *Advances in Complex Systems*, *12*(3), 393-405. https://doi.org/10.1142/S0219525909002209

Chen, L. Tang, T-Q., Huang, H-J., Wu, J-J., & Song, J-J. (2018). Modeling pedestrian flow accounting for collision avoidance during evacuation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *82*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.12.011

Chen, X., Treiber, M., Kanagaraj, V., & Li, H. (2018). Social force models for pedestrian traffic-state of the art. *Transport Reviews*, *38*(5), 625-653. https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1396265

Combs, T., & Pardo, C. (2021). Shifting streets COVID-19 mobility data: Findings from a global dataset and a research agenda for transport planning and policy. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *9*, 100322. https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100322

Crociani, L., Invernizzi, A., & Vizzari, G. (2014). A Hybrid Agent Architecture for Enabling Tactical Level Decisions in Floor Field Approaches. *Transportation Research Procedia*, *2*, 618-623. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.103

Crociani, L., & Lämmel, G. (2016). Multidestination Pedestrian Flows in Equilibrium: A Cellular Automaton-Based Approach. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *31*(6), 432-448. https://doi.org/10.1111/mice.12209

Davidich, M., & Köster, G. (2013). Predicting Pedestrian Flow: A Methodology and a Proof of Concept Based on Real-Life Data. *PLOS ONE, 8*(12), e83355. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083355

Dias, C., Ejtemai, O., Sarvi, M., & Shiwakoti, N. (2014). Pedestrian Walking Characteristics Through Angled Corridors: An Experimental Study. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, *2421*(1), 41-50. https://doi.org/10.3141/2421-05

Dias, C., Sarvi, M., Shiwakoti, N., & Burd, M. (2012). Turning Angle Effect on Emergency Egress: Experimental Evidence and Pedestrian Crowd Simulation. *Transportation Research Record*, *2312*(1), 120-127. https://doi.org/10.3141/2312-12

Dietrich, F., Köster, G., Seitz, M., & Von Sivers, I. (2014). Bridging the gap: From cellular automata to differential equation models for pedestrian dynamics. *Journal of Computational Science*, *5*(5), 841-846. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2014.06.005

Giannis, F., & Vlahogianni, E. (2018). Asymmetry of pedestrian influence area in unidirectional and bidirectional crowd flows: empirical evidence and statistical modeling. *Advances in Transportation Studies*, (44), 5-20. https://doi.org/ 10.4399/97888255143461

Gorrini, A., Crociani, L., Feliciani, C., Zhao, P., Nishinari, K., & Bandini, S. (17- 21 de octubre de 2016). *Social Groups and Pedestrian Crowds: Experiment on Dyads in a Counter Flow Scenario* [Paper N.° 41]. Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2016). Hefei, China. https://arxiv.org/pdf/1610.08325.pdf

He, L., & Berg, J. (6-10 de mayo 2013). *Meso-scale planning for multi-agent navigation* [Sesión de conferencia]. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Karlsruhe, Alemania. http://arl.cs.utah.edu/research/mesoscaleplanning/

Hollenstein, P. (2019). *¿Están en riesgo los mercados y ferias municipales? Aprovisionamiento de alimentos, economías populares y la organización del espacio público urbano de Quito*. Friedrich-Ebert-Stiftung. https://ecuador.fes.de/news-list/e/estan-en-riesgo-los-mercados-y-ferias-municipales-aprovisionamiento-de-alimentos-economias-populares-y-la-organizacion-del-espacio-publico-urbano-de-quito

Hussein, M., & Sayed, T. (2015). A unidirectional agent based pedestrian microscopic model. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *42*(12), 1114-1124. https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0363

Isaeva, V. (2012). Self-organization in biological systems. *Biology Bulletin*, (39), 110-118. https://doi.org/10.1134/S1062359012020069

Jia, H-F., Li, Y-X., Yang, L-L., & Zhou, Y-N. (2016). Modeling the Separating Pedestrian Flow in T-Shaped Passage Based on Guide Sign. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, *2016*, 5625286. https://doi.org/10.1155/2016/5625286

Jiménez Palacios, R., Bachmann Benites, P. y Loza Delgado, N. (2019). Ferias informales y migración laboral comercial. Apuntes para el debate del corredor fronterizo peruano-chileno. *Estudios Fronterizos*, *20*, e037. https://doi.org/10.21670/ref.1916037

Kato, H., & Matsushita, D. (2021). Changes in Walkable Streets during the COVID-19 Pandemic in a Suburban City in the Osaka Metropolitan Area. *Sustainability*, *13*(13), 7442. https://doi.org/10.3390/su13137442

Kwak, J., Jo, H., Luttinen, T., & Kosonen, I. (2015). Effects of Switching Behavior for the Attraction on Pedestrian Dynamics. *PLOS ONE*, *10*(7), e0133668. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133668

Lacarrieu, M. (2016). Mercados tradicionales en los procesos de gentrificación/recualificación. Consensos, disputas y conflictos. *Alteridades*, *26*(51), 29-41. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-70172016000100029

Lemercier, S., Jelic, A., Kulpa, R., Hua, J., Fehrenbach, J., Degond, P., Appert-Rolland,S. Donikian, & Pettré, J. (2012). Realistic following behaviors for crowd simulation. Computer Graphics Forum, *31*, 489-498. https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.03028.x

Lu, L., Ren, G., Wang, W., Yu, C. y Ding, C. (2013). Exploring the Effects of Different Walking Strategies on Bi-Directional Pedestrian Flow. Discrete Dynamics in Nature and Society. https://doi.org/10.1155/2013/150513

Lusk, K., Park, S., Einstein, K., Glick, S., Palmer, M., & Fox, S. (2020). *Urban Parks and the Public Realm: Equity Access in Post-Covid Cities*. Boston University.

Martínez, L., & Short, J. (2021). The Pandemic City: Urban Issues in the Time of COVID-19. Sustainability, 13(6), 3295. https://doi.org/10.3390/su13063295

McArdle, B., & Anderson, M. (2001). Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, *82*(1), 290-297. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0290:FMMTCD]2.0.CO;2

Mello, B. (2020). One-Way Pedestrian Traffic Is a Means of Reducing Personal Encounters in Epidemics. *Frontiers in Physics*,8, 376. https://doi.org/10.3389/fphy.2020.00376

Moussaïd, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D., & Theraulaz, G. (2010). The Walking Behaviour of Pedestrian Social Groups and Its Impact on Crowd Dynamics. *PLOS ONE*, *5*(4), e10047. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010047

Narang, S., Best, A., Curtis, S., & Manocha, D. (2015). Generating Pedestrian Trajectories Consistent with the Fundamental Diagram Based on Physiological and Psychological Factors. *PLOS ONE*, *10*(4), e0117856. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117856

Nieuwenhuisen, D., Kamphuis, A., & Overmars, M. (2007). High quality navigation in computer games. *Science of Computer Programming*, *67*(1), 91-104. https://doi.org/10.1016/j.scico.2006.06.008

Organización Panamericana de la Salud. (2021). *Recomendaciones para prevenir la transmisión de la COVID-19 en ferias y mercados de alimentos*. Edición del autor. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/53315/OPSIMSFPLCOVID-19210005_spa.pdf

Ortubia Diaz, E. y Bertolotti, F. (2020). Experiencias autogestivas de la economía popular: Las Empresas Recuperadas y la Feria Popular de Guaymallén, Mendoza (2003-2019). *Estudios Sociales Contemporáneos*, (23), 72-94. https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/estudiosocontemp/article/view/2792

Psyllidis, A., Duarte, F., Teeuwen, R., Salazar Miranda, A., Benson, T., & Bozzon, A. (2021). Cities and infectious diseases: Assessing the exposure of pedestrians to virus transmission along city streets. *Urban Studies.* https://doi.org/10.1177/00420980211042824

Roldán, D. (2018). Imaginarios y prácticas del espacio público. La Feria de Colectividades de Rosario, Argentina. *Andamios*, *15*(38), 113-139. https://doi.org/10.29092/uacm.v15i38.654

Schöttl, J., Seitz, M., & Köster, G. (2019). Investigating the Randomness of Passengers' Seating Behavior in Suburban Trains. *Entropy*, *21*(6), 600. https://doi.org/10.3390/e21060600

Shavitt, S., & Barnes, A. (2020). Culture and the Consumer Journey. *Journal of Retailing, 96*(1), 40-54. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2019.11.009

Shi, X., Ye, Z., Shiwakoti, N., & Grembek, O. (2018). A State-of-the-Art Review on Empirical Data Collection for External Governed Pedestrians Complex Movement. *Journal of Advanced Transportation*, *2018*, 1063043. https://doi.org/10.1155/2018/1063043

Steffens, K. (2013). *Urbanismo Táctico: Casos Latinoamericanos (Vol. 3). Santiago de Chile: Fundación Ciudad Emergente.* https://ciudademergente.org/aprender/urbanismo-tctico-3

Sun, Q., & Wu, S. (2014). A configurable agent-based crowd model with generic behaviour effect representation mechanism. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *29*(7), 531-545. https://doi.org/10.1111/mice.12081

Torrens, P. (2012). Moving Agent Pedestrians Through Space and Time. *Annals of the Association of American Geographers*, *102*(1), 35-66. https://doi.org/10.1080/00045608.2011.595658

Villani, C., Talamini, G., & Hu, Z. (2020). The Patterns of Stationary Activities during COVID-19 Distancing Relaxation: The elevated pedestrian network of Mong Kok, Hong Kong. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, *5*(15), 445-452. https://doi.org/10.21834/ebpj.v5i15.2461

Von Sivers, I., Templeton, A., Künzner, F., Köster, G., Drury, J., Philippides, A. y Bungartz, & H. (2016). Modelling social identification and helping in evacuation simulation. *Safety Science*, *89*, 288-300. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.001

Vuorinen, V., Aarnio, M., Alava, M., Alopaeus, V., Atanasova, N., Auvinen, M., Balasubramanian, N., Bordbar, H., Erästö, P., Grande, R., Hayward, N., Hellsten, A., Hostikka, S., Hokkanen, J., Kaario, O., Karvinen, A., Kivistö, I., Korhonen, M., Kosonen, R., & Österberg, M. (2020). Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. *Safety Science*, *130*, 104866. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104866

Wang, C., & Wang, J. (2016). A Modified Floor Field Model Combined with Risk Field for Pedestrian Simulation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 9653860. https://doi.org/10.1155/2016/9653860

Xie, D-F., X., Gaom, Z-Y., Zhao X-M., & Wang, D. Z.W. (2012). Cellular Automaton Modeling of the Interaction between Vehicles and Pedestrians at Signalized Crosswalk. *Journal of Transportation Engineering*, *138*(12), 1442-1452. https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000462

Xiong, H., Yao, L., Tan, H. y Wang, W. (2012). Pedestrian Walking Behavior Revealed through a Random Walk Model. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, *2012*, 405907. https://doi.org/10.1155/2012/405907

Zazo-Moratalla, A. & Napadensky-Pastene, A. (2020). Las ferias campesinas y su cuenca alimentaria, de lo imaginado a lo real. El caso de la feria de Collao en el Gran Concepción, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (75), 229-249. https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000100229

Zhao, M., Cai, W., & Turner, S. (2018). CLUST: Simulating Realistic Crowd Behaviour by Mining Pattern from Crowd Videos. *Computer Graphics Forum*, *37*(1), 184-201. https://doi.org/10.1111/cgf.13259

Zhou, J., Guo, Y., Dong, S., Zhang, M., & Mao, T. (2019). Simulation of pedestrian evacuation route choice using social force model in large-scale public space: Comparison of five evacuation strategies. *PLOS ONE*, *14*(9), e0221872. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221872

Zuleta Gutierrez, A. (2020). Vendedores ambulantes y COVID 19: estudio sobre la situación psicosocial antes y en la pandemia dentro el trabajo informal en la ciudad de La Paz. *Revista de Investigación Psicológica*, (número especial), 28-42. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-30322020000300005