



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos
Naturales no Renovables**

Maestría en Telecomunicaciones

**Análisis comparativo de modelos de movilidad de usuarios basado en
contexto social para escenarios urbano-macro en redes móviles de
última generación.**

**Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magíster en
Telecomunicaciones.**

AUTOR:

Ing. Víctor Calderón Pardo

DIRECTOR:

Ing. Renato Benjamín Torres Carrión, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023



Certificación

Loja, 20 de Septiembre del 2023

Ing. Renato Benjamín Torres Carrión Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis comparativo de modelos de movilidad de usuarios basado en contexto social para escenarios urbano-macro en redes móviles de última generación.**, previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Víctor Calderón Pardo**, con **cédula de identidad N° 1105759953**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Renato Benjamín Torres Carrión Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



unl

Universidad
Nacional
de Loja

POSGRADO

Maestría en
Telecomunicaciones

Autoría

Yo, Víctor Enrique Calderón Pardo, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Autor: Víctor Enrique Calderón Pardo

Cédula de Identidad: 1105759953

Fecha: 20/09/2023

Correo electrónico: victor.calderon@unl.edu.ec

Teléfono: 0963178158



Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Víctor Enrique Calderón Pardo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis comparativo de modelos de movilidad de usuarios basado en contexto social para escenarios urbano-macro en redes móviles de última generación.**, como requisito para optar el título de **Magíster Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta y un días del mes de julio de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Víctor Enrique Calderón Pardo

Cédula: 1105759953

Dirección: Loja

Correo Electrónico: victor.calderon@unl.edu.ec

Teléfono: 0963178158

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Renato Benjamín Torres Carrión Mg. Sc.



Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, quien ha sido mi guía y mi fortaleza para alcanzar este logro. A mis padres Juana Pardo y Klever Calderón quienes, con amor, paciencia, apoyo constante, consejos han sido mi principal soporte y fuente de inspiración para convertirme en la persona que soy ahora.

A mis hermanos por brindarme su conocimiento, su apoyo y su amistad en todo momento.

A todos ustedes, ¡infinitas gracias!

Víctor Enrique Calderón Pardo.





Agradecimiento

Agradezco a los docentes de la titulación de la Maestría en Telecomunicaciones por ser las personas que han guiado mi crecimiento profesional con mucho empeño, de manera especial a mi tutor el Ing. Renato Torres, Mg. Sc por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros y amigos de clase, personas excepcionales que se han destacado por su compañerismo en cada trabajo y proyecto realizado.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Universidad Nacional de Loja por brindar estas maestrías para mi formación profesional y crecimiento personal.

Víctor Enrique Calderón Pardo.

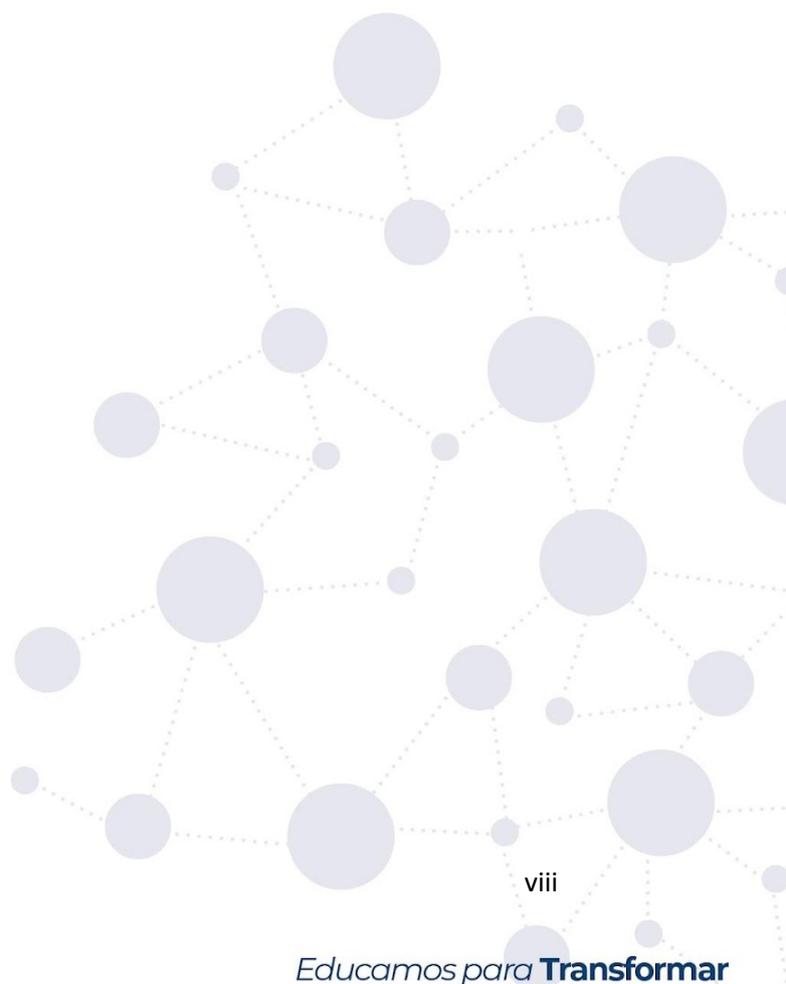


Índice de Contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1. ABSTRACT	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	7
4.1. Modelos de movilidad basados en contexto social.....	7
4.2. Modelos de movilidad con reconocimiento de ubicación.....	9
5. Metodología.....	12
5.1. Caminata de Acción Mínima Auto similar (SLAW).....	15
5.2. Modelo de movilidad en clúster (CMM).....	19
5.3. Modelo de movilidad de usuarios impulsado por la atracción de puntos de acceso y algoritmo de decisión de dirección (HADUMM).....	22
5.4. Modelo simple de transporte y movilidad humana (SMOOTH)....	24
5.5. Caracterización del escenario radio.....	26



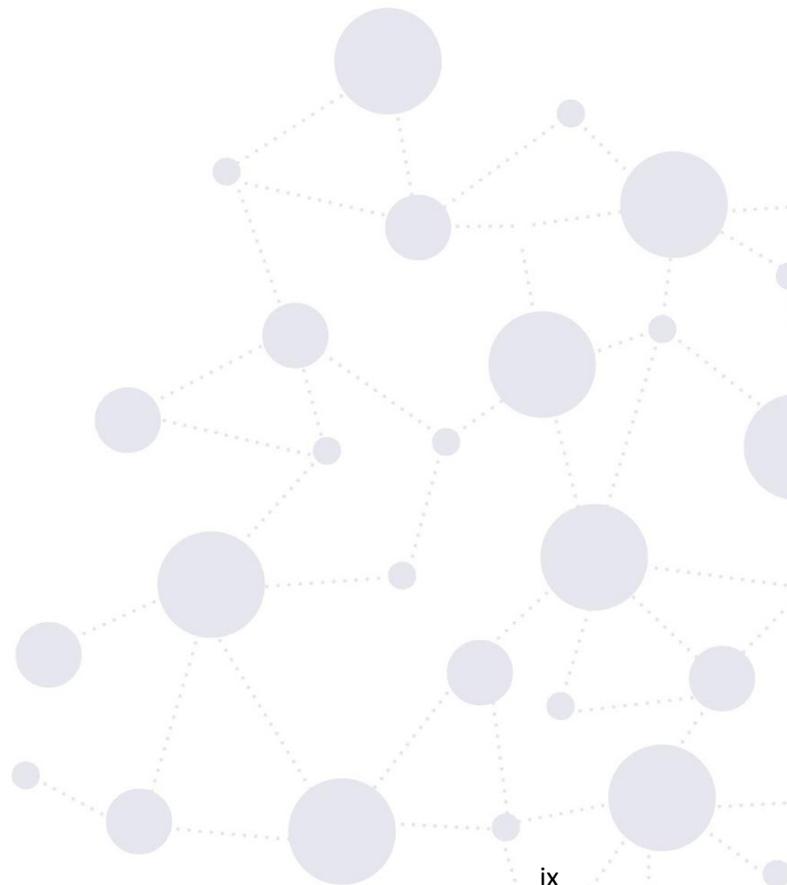
6. Resultados.....	28
6.1. Análisis Cualitativo.....	28
6.2. Análisis Cuantitativo.....	31
7. Discusión.....	33
8. Conclusiones.....	34
9. Recomendaciones.....	35
10. Referencias bibliográficas.....	36
11. Anexos.....	40





Índice de Tablas:

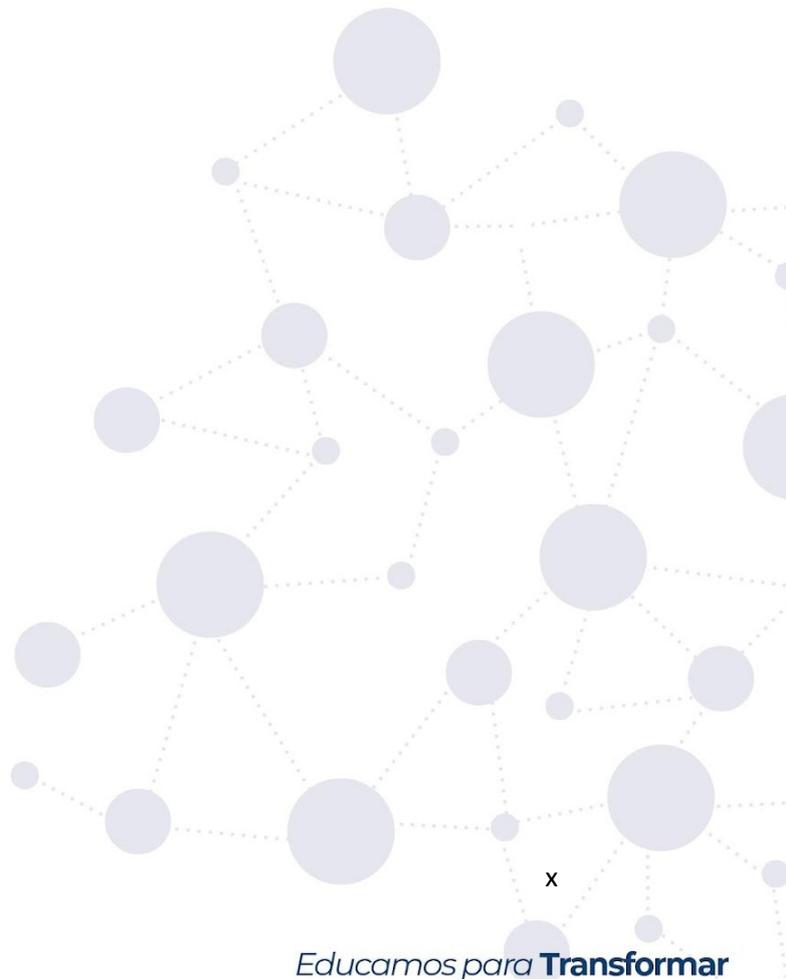
Tabla 1. Explicación del algoritmo LATP.....	19
Tabla 2. Funciones del algoritmo DDA.....	24
Tabla 3. Caracterización del escenario.....	27
Tabla 4. Caracterización del escenario y modelos de movilidad.....	29
Tabla 5. Análisis de resultados cuantitativos.....	33





Índice de Figuras

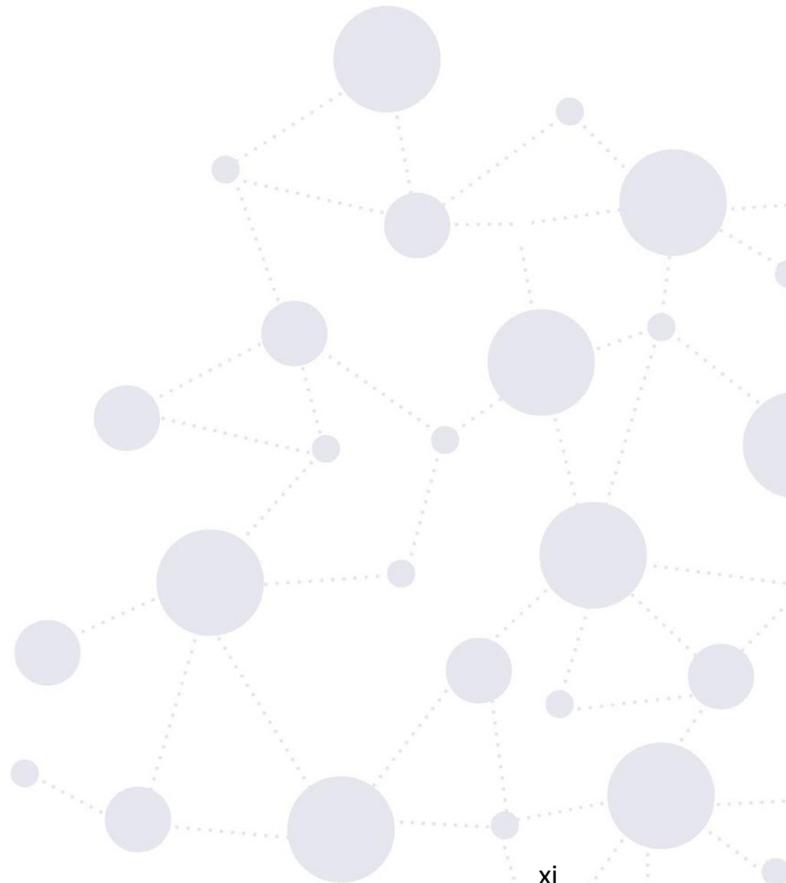
Figura 1 Diagrama PRISMA para la selección de la muestra.....	14
Figura 2 Explicación del pseudocódigo de SMOOTH	22





Índice de Anexos

Anexo 1. Certificado de traducción.....	34
--	----





1. Título

Análisis comparativo de modelos de movilidad de usuarios basado en contexto social para escenarios urbano-macro en redes móviles de última generación.



2. Resumen

En los últimos años, los modelados de la movilidad del usuario se han vuelto cada vez más importante en las redes móviles. Esto ha llevado a la adopción de técnicas de modelado de otras disciplinas como el contexto social. Sin embargo, estos modelos generan un comportamiento de movimiento que a menudo se percibe como no "realista" que afecta directamente a las métricas de rendimiento en un escenario radio de una red móvil.

En un intento de proporcionar una base sólida para el modelado de movilidad realista, la presente investigación de redes móviles adopta un enfoque de ingeniería en el que se discute las diferencias, falencias, requerimientos, ventajas y desventajas de los modelos de movilidad actuales para luego realizar la caracterización de un escenario de prueba con aglomeraciones sociales. Se aplicó un análisis cuantitativo con indicadores cualitativos de los 4 modelos obtenidos del análisis de referencias en 3 bases de datos científicas para luego verificar qué modelo se adapta al escenario caracterizado. Esto también resume información útil para los lectores que desean evaluar una caracterización de algún escenario eligiendo los modelos ya investigados para una futura simulación.

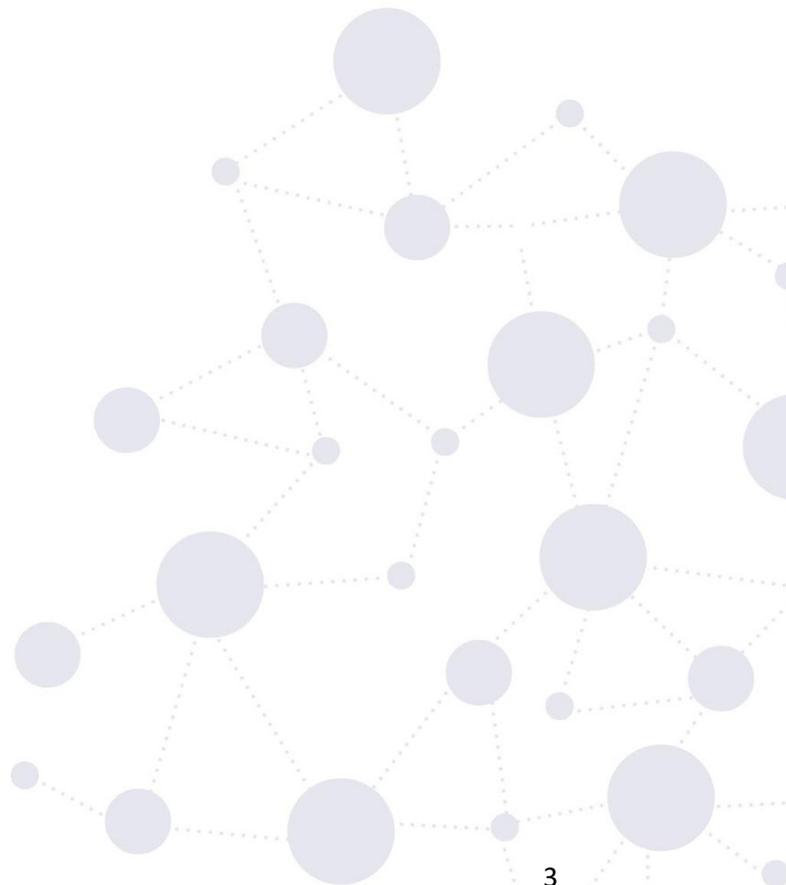
Palabras Clave: *modelo de movilidad, contexto social, redes móviles, análisis comparativo, escenarios urbano-macro*



2.1. Abstract

In recent years, user mobility modeling has become increasingly important in mobile networks. This has led to the adoption of modeling techniques from other disciplines, such as social context. However, these models often produce movement patterns that are perceived as unrealistic, directly impacting performance metrics in a mobile network. In an effort to establish a solid framework for realistic mobility modeling in mobile network research, an engineering approach was applied to explore the differences, limitations, requirements, advantages, and disadvantages of current mobility models. Subsequently, a test scenario was characterized involving social agglomerations. A quantitative analysis was applied, along with qualitative indicators, to the four selected models to determine which one best suited the characterized scenario. This also provides useful information for readers who wish to evaluate a scenario characterization by selecting models that have already been investigated.

Keywords: mobility model, characterization, social context, mobile networks, comparative analysis, urban-macro scenarios



3. Introducción

Con el aumento de dispositivos móviles y la creciente importancia de las interacciones sociales en la vida de las personas, el contexto social puede incluir factores como amistades, lazos sociales, afiliaciones comunitarias, actividades sociales, influencia social y normas sociales. Al incorporar el contexto social en los modelos de movilidad para redes celulares, los investigadores y los profesionales pueden comprender mejor cómo las dinámicas sociales afectan los comportamientos de movilidad y los patrones de comunicación de los usuarios. Esto permite realizar diseños de servicios de redes móviles más efectivos y eficientes.

El rendimiento de las redes móviles depende en gran medida de los patrones de movilidad de los usuarios. Estos patrones simulan los caminos de movimiento de los usuarios y forman un componente clave para su funcionamiento como se muestra en Solmaz & Turgut (2019). La elección de un modelo de movilidad puede tener un impacto significativo en la precisión y validez de los resultados de la simulación (Navidi & Camp, 2004). Hay varios tipos de modelos de movilidad que se han desarrollado a lo largo de los años, y cada uno tiene su propio conjunto de suposiciones, parámetros y limitaciones.

Los modelos de movilidad se pueden clasificar en dos grupos: modelos sintéticos y modelos basados en trazas. Los sintéticos se han utilizado en la evaluación del rendimiento de varios protocolos de redes inalámbricas. Proporcionan una mejor flexibilidad, número de dispositivos, intervalos de ubicación y son más prácticos de usar con simulaciones de eventos discretos (Gorawski & Grochla, 2014). Por otro lado, los modelos de movilidad que usan trazas se basan en datos capturados de escenarios reales. Debido a su naturaleza realista, las trazas brindan una alta precisión en términos de patrones de movimiento, sin embargo, son difíciles de modelar (Aschenbruck et al., 2011).

Una de las características más importantes de la movilidad de usuarios es la combinación de regularidad y espontaneidad en la decisión del próximo destino. Este comportamiento también se puede definir como tomar decisiones deterministas y no deterministas en el mismo período de tiempo (Solmaz et al., 2015). Durante la última década se han propuesto varios modelos de movilidad, sin embargo, la mayoría son creaciones basadas en la intuición de su diseñador como se resume en Kang et al. (2021). Pocos modelos se derivan de rastros del comportamiento real del usuario. Una de las

principales dificultades para proponer un modelo es la falta de datos reales, completos y sólidos que no reflejan las características completas del comportamiento social.

El propósito de las comunicaciones móviles es permitir que los usuarios se muevan y puedan interactuar con información, servicios y otros usuarios manteniendo la calidad de experiencia (QoE). Es por eso que en esta investigación se compara modelos de movilidad con un escenario concreto en base a datos con el objetivo de evitar puntos débiles de sobrecarga en una red móvil. Esta caracterización proporciona conocimientos útiles para la optimización de la red, y permite seleccionar de forma cualitativa un correcto modelo de movilidad.

En consecuencia, la principal contribución de esta investigación es la recopilación, organización y segmentación de los modelos de movilidad para redes celulares, considerando el comportamiento social como un parámetro de optimización, que con su incorporación en los sistemas clásicos de Redes auto-organizadas (SON) mejora la eficiencia de la red, según se ha demostrado a través de estudios como Fortes et al. (2018).

A continuación, este documento se organiza de la siguiente manera: los trabajos relacionados se recopilan en marco teórico. En la metodología se detallan los principales modelos de movilidad para redes celulares enfocados a contexto social. En los resultados se propone el análisis comparativo y evaluación de resultados caracterizando un escenario urbano-macro (UMA). Luego se realiza la discusión de cada modelo de movilidad y finalmente, las conclusiones y recomendaciones se muestran en la última sección.

Objetivos

Objetivo general

Analizar y comparar los modelos de movilidad clásicos y actuales utilizados en redes móviles de última generación desarrollados con la finalidad de caracterizar los escenarios actuales de comportamiento social de los usuarios de la red móvil.

Objetivos específicos

- Recopilar y organizar información sobre el estado del arte con respecto a modelos de movilidad utilizados en entornos urbano-macro en redes móviles.
- Identificar las diferencias, falencias, requerimientos, ventajas y desventajas de los modelos de movilidad actuales.
- Caracterizar un escenario urbano-macro con la finalidad de proponer el uso de un modelo de movilidad bajo ciertas condiciones típicas de eventos sociales.



4. Marco Teórico

Si bien los modelos de movilidad han sido ampliamente explorados en la literatura, en esta sección se presentan los trabajos más relevantes considerando dos aspectos fundamentales relacionados con el enfoque de esta investigación.

1.1. Modelos de movilidad basados en contexto social.

Los modelos de movilidad con conciencia social en redes celulares se refieren a modelos que tienen en cuenta las relaciones sociales, interacciones o comportamientos de los usuarios además de sus patrones de movilidad. Estos modelos tienen como objetivo capturar la influencia de los factores sociales en los movimientos e interacciones de los usuarios dentro de una red celular. Los autores de Solmaz & Turgut (2019) realizan la comparación de los diferentes modelos de movilidad humana, recopilando las principales características y realizando una clasificación de estos.

La incorporación de la conciencia social en los modelos de movilidad para redes celulares puede proporcionar información sobre cómo los factores sociales afectan los movimientos. Es por eso que, investigadores se centran en realizar estudios de cada modelo de movilidad como en Pérez et al. (2021), quien muestra su clasificación, funcionamiento y características de 5 modelos de movilidad. Esto permite obtener resultados comparativos respecto al comportamiento del número de usuarios por celda para cada modelo de movilidad, variación de la relación señal a ruido más interferencia (SINR) y la compensación entre el costo computacional y el modelo de movilidad.

Otros trabajos se centran en definir mejores modelos de movilidad orientados a comportamientos más concretos como es el caso de Musolesi & Mascolo (2007) que permite agrupar colecciones de anfitriones de una manera que se basa en las relaciones sociales entre los individuos. Esta agrupación lo hacen mediante el mapeo grupos de anfitriones a ciertas áreas en el espacio geográfico y con la definición del grafo social. Utilizan el algoritmo propuesto por Newman y Girvan para detectar la presencia de una comunidad de estructuras en redes sociales, este algoritmo se basa en el cálculo de la llamada para proporcionar una medida de la centralidad de los nodos.

Por otro lado, los autores de Gorawski & Grochla (2014) presentan y revisan las técnicas que se usan más comúnmente y que dan una buena estimación del comportamiento real del usuario del dispositivo móvil. Aquí, los modelos se dividen en

3 grupos: aleatorios, sociales e híbridos, realizando un resumen de cada uno de ellos. Nos aclara los modelos más básicos y clásicos como: Random walk (RW) junto con algunas de las propuestas más recientes como SLAW. Aunque los modelos investigados presentan muchas características interesantes, todas ellas podrían mejorarse, la mayoría de ellos se centran en una característica del movimiento humano, como por ejemplo su aleatoriedad (LW), y características de agrupación (CMM).

Los modelos de movilidad que incorporan información de redes sociales pueden proporcionar una representación más precisa de cómo las personas se mueven y se comunican dentro de una red celular. de igual forma, los investigadores en Van Anh Duong & Yoon (2018) desarrollan un modelo de movilidad consciente de las relaciones sociales (SRMM) que abarca las características del movimiento y las relaciones de los usuarios formando grupos sociales. Este a su vez es comparado con otros modelos como SLAW y CMM. Los resultados indican que SRMM se aproxima más a los movimientos de los usuarios en un escenario real.

Otra forma de modelar las actividades de los usuarios es con nuestras relaciones sociales, ya que es más probable visitar lugares que nuestros amigos y personas similares a nosotros visitaron en el pasado. Las aplicaciones de redes sociales en línea como Facebook, WhatsApp en las que los usuarios comparten su ubicación actual proporcionan una nueva dimensión importante en la comprensión del movimiento de personas. En Cho et al. (2011) desarrollan un modelo de movilidad humana que combina periodos cortos de movimientos en base a una estructura social. Primero presenta el modelo de movilidad Periódico (PMM) y luego emplean el modelo Movilidad Social y Periódica (PSMM). Para poder validar se evalúa con dos modelos diferentes concluyendo que PSMM y PMM combina los patrones de movimiento periódico del día a día con los efectos de movimiento social provenientes de la red de amistad.

A medida que las personas pasan más tiempo en línea, los datos relacionados con las relaciones sociales se vuelven cada vez más precisos, lo que nos permite construir modelos confiables para describir su interacción. En Backstrom et al. (2010) utiliza los datos de direcciones proporcionados por los usuarios y la red de asociaciones entre los miembros de la red social Facebook. Además, presenta un algoritmo que predice la ubicación de un individuo a partir de un conjunto disperso de usuarios ubicados. Por otra parte, el trabajo de Wen et al. (2014) estudian el impacto de las relaciones e influencia

sociales de amigos para descubrir el potencial valor de usuarios confiables (es decir, amigos cercanos y viajes).

De manera similar, la contribución en Ghosh et al. (2005) captura las preferencias en la elección de destinos del patrón de movilidad peatonal sobre la base del factor social y tratan de averiguar el impacto esencial de los usuarios. Además, proporciona un patrón de distribución de movilidad, y realiza una comparación relativa con el modelo Random WayPoint (RWP) bajo una simulación. El artículo de Boldrini et al. (2009) considera un modelo de movilidad de base social (HCMM) para modelar el comportamiento de las personas en un típico viaje, con el fin de crear la distribución de distancias reales validado con simulaciones.

1.2. Modelos de movilidad con reconocimiento de ubicación.

Los modelos de movilidad con reconocimiento de ubicación en redes celulares son útiles para estudiar el impacto de la posición geográfica de los usuarios en el rendimiento de la red, la asignación de recursos y el aprovisionamiento de servicios. Estos pueden ayudar a comprender cómo los usuarios se mueven e interactúan en diferentes ubicaciones geográficas, y pueden ayudar en el diseño y la optimización del sistema. Estos modelos consideran la ubicación física de los usuarios y simulan sus patrones de movilidad en función de su movimiento dentro de un área geográfica específica como lo explican los autores en Pazand & McDonald (2007).

Por otro lado, Camp et al. (2002) y Theoleyre et al. (2007) caracterizan y evalúan diferentes modelos de movilidad permitiendo comprender el comportamiento de cada uno. Definen métricas que son obtenidas mediante simulaciones y el estudio literario de los modelos propuestos. La caracterización les permite comprender profundamente el comportamiento en diferentes escenarios mostrando que el modelo de movilidad propuesto tiene un impacto significativo en el rendimiento de la red, especialmente cuando se compara con otros modelos. La selección de un modelo de movilidad puede darse por un patrón de tráfico de datos que significativamente influye en el rendimiento del protocolo. La evaluación debe hacerse con una parte del tráfico local al grupo con la comparación con los mismos escenarios y la comunicación entre grupos.

De manera similar, el trabajo desarrollado por Tabassum et al. (2019) presenta las diferencias, estadísticas y propiedades de los diferentes modelos. En su segundo enfoque

destaca algunas limitaciones e imperfecciones de las técnicas existentes y proporciona correcciones a estas imperfecciones. Finalmente, nos indica que para una red 5G el impacto de movilidad de las personas sería significativo provocando que ciertos escenarios no se puedan modelar para analizar las métricas del sistema, la tasa de transferencia y el tiempo de permanencia en la celda. Para estos escenarios se propone modelos de aprendizaje automático (ML) como las redes neuronales profundas (DNNs) que pueden servir como una herramienta importante para predecir los parámetros del sistema y rendimiento de la red.

Por otra parte, Munjal et al. (2011) desarrollan un modelo de movilidad realista y fácil de entender que se basa en características conocidas del movimiento de los usuarios. Además, realizan una evaluación con diferentes modelos determinando que SMOOTH proporciona una mejor estimación en tiempos en contactos (ICTs) que los modelos SWIM, SLAW y TLW. Por lo tanto, en comparación con los otros tres modelos de movilidad, da a notar que SMOOTH proporciona una mejor coincidencia con las características presentes en el movimiento de usuarios real.

Así mismo, Zhang et al. (2012) mencionan que los modelos de movilidad juegan un papel crucial en las redes celulares con respecto al rendimiento. Sin embargo, la mayoría de los modelos de movilidad existentes no muestran características de movimiento realistas o los métodos de modelado son demasiado complejos, por lo que, en este artículo se propone un nuevo modelo de movilidad basado en ubicación de atracción (LAMM). Su funcionamiento es a través de la recolección de ubicaciones mediante el GPS donde establecen escenarios que los usuarios visitan con frecuencia en un área observada. Proponen un esquema de lección concluyendo que los resultados de la simulación muestran un modelo que exhibe mejor el patrón de movimiento de los usuarios en la vida real.

El impacto de la movilidad de los usuarios en redes de nueva generación 5G es un problema importante que se debe evaluar, considerando los hábitos de actividad humana. Ge et al., (2016) consideran el comportamiento de agrupamiento de los usuarios aplicando el modelo de movilidad individual (IMM). Además, describen otros modelos con el fin de determinar un punto de vista diferente para investigar. Los autores Campos et al. (2004) realizan un trabajo similar al anterior. Describen 2 modelos más utilizados para redes ad-hoc que se basan en el movimiento de un usuario independiente dentro de

regiones. Los resultados obtenidos permiten determinar movimientos en direcciones iguales y adyacentes, cambios de velocidad e intervalos de pausa entre movimientos consecutivos, lo que representa una forma más realista en escenarios urbanos y carreteras.

Finalmente, algunos trabajos también se centran en definir mejores modelos de movilidad orientados a comportamientos más concretos de los usuarios y redes de nueva generación como lo explica De Nardis & Benedetto (2022), que proporciona precisión y flexibilidad a la par con los modelos de comportamiento, preservando al mismo tiempo la intuición del modelo basado en localización. Se basa en cinco reglas: 1) movilidad individual, 2) movilidad correlacionada, 3) prevención de colisiones, 4) evasión de obstáculos y 5) cumplimiento de límites superiores.

Pero ningún trabajo se enfoca en información útil sobre la ubicación de concentración de la multitud y el lugar del evento social para guiar el proceso de equilibrio de carga. Esto pueden ayudar a comprender la compleja interacción entre la dinámica social y los patrones de movilidad. Al comprender cómo las personas se mueven e interactúan dentro de un escenario, los investigadores pueden crear sistemas que faciliten la conectividad perfecta a los usuarios a medida que se mueven a través de diferentes áreas geográficas. Esta información se puede utilizar para optimizar el despliegue de recursos de red, como estaciones base y antenas, para garantizar que los usuarios reciban el mejor servicio posible.

5. Metodología

Métodos de estudio

Se plantea una investigación en la que se empleara el método analítico para su desarrollo. De acuerdo con Abreu (2014), a través de este método se pueden obtener que a partir del todo absoluto se puede conocer y explicar las características de cada una de sus partes y de las relaciones entre ellas. Por tal razón en la futura investigación se estudiará la información documentada correspondiente a los resultados particulares de los modelos de movilidad basado en contexto social, con el fin de evaluar estos modelos en un escenario urbano-macro bajo ciertas condiciones típicas de eventos sociales.

Enfoque y diseño de investigación

El enfoque investigativo que se presentará, es de tipo cualitativa y cuantitativa que contempla dos partes: por un lado, se hizo una recopilación de trabajos relacionados e investigaciones sobre modelos de movilidad utilizando tesauros y búsqueda avanzada en 3 bases de datos. Luego, la información fue organizada para descrita en el estado del arte. Seguido, en esta sección se presentará un análisis cualitativo de los modelos encontrados y posteriormente, la caracterización un escenario radio concreto, se presentarán datos cuantitativos con ponderaciones sobre parámetros clave de un modelo de movilidad.

Tipo de investigación

El tipo de investigación propuesto será de carácter documental bibliográfico ya que se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía existente del tema propuesto mediante una búsqueda sistemática de libros, artículos y trabajos de investigación.

Unidad de estudio

- *Población:*

La población se conformaría en su totalidad por fuentes de información revisadas (N= 50) sobre los modelos de movilidad de usuarios basado en contexto social todos estos fueron buscados en base de datos como: Scopus, IEEE y Sciereict.

- *Muestra:*

Para obtener la muestra en esta investigación, se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, en base a criterios de inclusión y exclusión, se selecciona una muestra final de 4 artículos, los cuales cumplían con los criterios de inclusión.

Este proceso se realizó a través de la construcción de un diagrama PRISMA en el que, primeramente, se recolectaron 50 artículos en la fase de identificación, de los que se suprimieron 20 por presentarse como modelos tradicionales y 10 por estar restringidos de acceso, resultando 20 artículos. Posteriormente en la fase de selección de acuerdo a los criterios de exclusión se eliminaron 10 por no enfocarse a redes móviles de última generación, 3 por su año de publicación y 3 por no se menciona las palabras claves. Por lo que al final en la fase de inclusión se definirían 4 artículos aceptados para el desarrollo de la investigación bibliográfica.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas utilizadas para la recopilación y análisis de información en los documentos disponibles, se encuentra el método de síntesis bibliográfica, en el que se analiza la información extraída de los resúmenes, resultados y discusiones de los documentos buscados. Para lo cual dentro del proceso de búsqueda se estableció el uso de palabras clave como: “Modelos de movilidad”, “Contexto social”, “Aglomeraciones”, “Redes de nueva generaciones”, “Escenarios urbano-macro”, “Movilidad humana” “Red móvil”, así también se complementan con operadores de búsqueda avanzada como AND, OR y NOT.

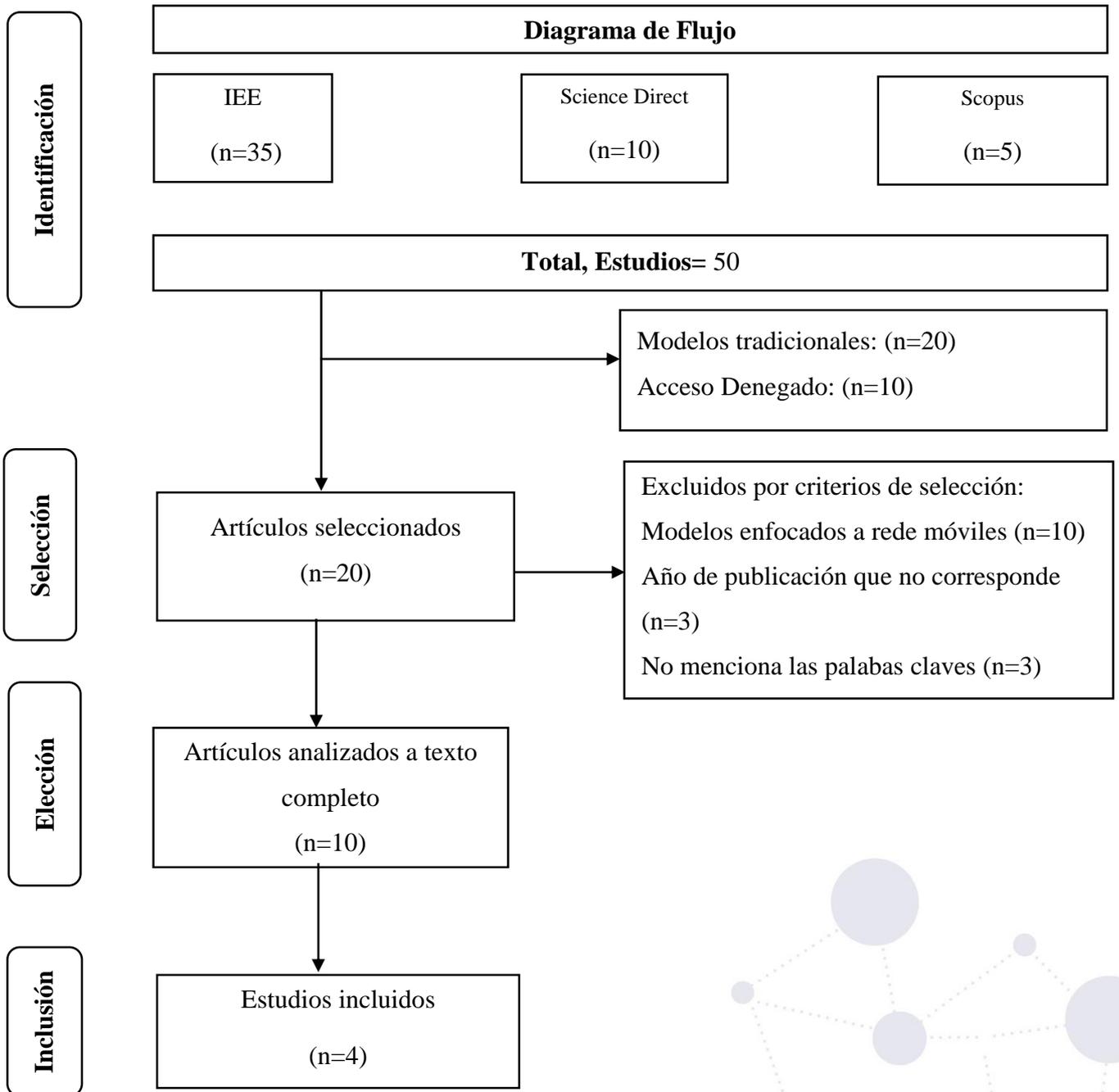


Fig. 1 Diagrama PRISMA para la selección de la muestra.

Procedimiento por Objetivos.

La investigación se desarrolló secuencialmente en 4 fases que persiguen cada uno de los objetivos definidos.

- *Fase 1: Recopilación de trabajos relacionados*

Primeramente, se procedió con la selección de los documentos que requieren ser analizados, entre ellos: los artículos científicos desde los diferentes buscadores de las bases de datos en línea, mediante un diagrama PRISMA.

- *Fase 2: Metodología cualitativa*

Luego, se continuó a redactar el funcionamiento, características, ventajas y desventajas de los modelos de movilidad seleccionados

- *Fase 3: Ponderación*

Posteriormente, se caracterizó un escenario urbano-macro en una red de última generación.

- *Fase 4: Método cuantitativo*

Finalmente, con las características del escenario, se construyó una tabla que permita evaluar si los modelos de movilidad seleccionados se adaptan al escenario propuesto. Esta evaluación es con ponderaciones de 1 (sin cumple) o 0 (si no cumple).

Modelos de movilidad

La elección del modelo de movilidad depende de la pregunta de investigación específica o la aplicación que se esté estudiando, y los investigadores deben seleccionar y validar cuidadosamente el modelo para garantizar la precisión de los resultados de la simulación. Existen varios modelos de movilidad para escenarios de contexto social que se han propuesto en la literatura. Algunos tipos se detallan a continuación.

5.1. Caminata de Acción Mínima Auto similar (SLAW).

Es un modelo de movilidad diseñado para simular el comportamiento de los usuarios al caminar. Este modelo se basa en el concepto de autosimilitud, que se refiere a la idea de que las propiedades estadísticas de un sistema complejo siguen siendo las mismas cuando se observan a diferentes escalas. En el modelo SLAW, se supone que un caminante toma un camino que minimiza una función de costo, conocida como la acción, que está relacionada con el esfuerzo realizado durante la caminata. La función de costo tiene en cuenta factores como la pendiente del terreno, la distancia y los obstáculos, así como las limitaciones físicas del cuerpo de la persona que camina. Por ejemplo, la fuerza máxima que se puede ejercer en el suelo como lo muestran los autores Schwaborn & Aschenbruck (2013).

SLAW asume que los patrones de caminata humana exhiben auto similitud a diferentes escalas. Esto significa que el patrón de caminar de una persona en una distancia corta es estadísticamente similar a su patrón de caminar en una distancia más larga. Para determinar la ruta a tomar por un usuario, SLAW utiliza 4 parámetros: distribuciones truncadas de ley de potencia de vuelos, tiempos de pausa y tiempos de intercontacto, puntos de ruta fractales y áreas definidas heterogéneamente de movilidad individual. Es así como, Lee et al. (2012), menciona que estos parámetros están intrínsecamente relacionados entre sí, citando los siguientes:

- ***Vuelos de ley de potencia truncados y tiempos de pausa:***

Este parámetro muestra que, las longitudes de los vuelos humanos que son definidos como viajes en línea recta sin cambio de dirección o pausas, tienen una misma distribución de ley de potencias truncada que se refiere a la distribución estadística de la

duración de los segmentos de viaje individuales y la duración de las pausas o paradas entre segmentos. Se caracteriza por una alta probabilidad de eventos o valores extremos, esto significa que existe una probabilidad significativa de observar duraciones prolongadas o períodos prolongados de actividad (Lee et al. 2012).

- ***Áreas de movilidad delimitadas heterogéneamente:***

Se refieren a regiones o áreas donde los límites o fronteras de la movilidad humana varían en el espacio. En tales áreas, los patrones de movilidad y las restricciones experimentadas por individuos o grupos difieren según su ubicación dentro de la región. El concepto de áreas de movilidad delimitadas heterogéneamente reconoce que la movilidad no es uniforme en todas las ubicaciones geográficas. Varios factores pueden contribuir a la heterogeneidad de los límites de movilidad, incluidas las características físicas, la infraestructura, los marcos legales o regulatorios, las condiciones socioeconómicas, las normas culturales y más (Lee et al. 2012).

- ***Tiempos de intercontacto (TIC) de ley de potencia truncados:***

Los TIC se refieren a la distribución estadística de intervalos de tiempo entre contactos o interacciones consecutivos en una red o sistema social, donde la distribución sigue un comportamiento de ley de potencia, pero se limita dentro de un rango específico. Los tiempos de intercontacto representan la duración entre dos interacciones sucesivas o contactos entre individuos, como correos electrónicos, llamadas telefónicas, interacciones en redes sociales o reuniones cara a cara (Lee et al. 2012).

- ***Puntos de ruta autosimilares:***

Los puntos de ruta autosimilares se refieren a un concepto en el modelado de movilidad donde las ubicaciones o los puntos de ruta visitados por individuos u objetos exhiben patrones similares a sí mismos o similares a fractales. La autosimilitud implica que las propiedades estadísticas de los puntos de ruta permanecen consistentes independientemente de la escala espacial o temporal en la que se observen. Los puntos de ruta representan ubicaciones específicas o puntos de interés que las personas u objetos visitan durante su movimiento o viaje. Estos puntos intermedios pueden incluir puntos de referencia, destinos, paradas o cualquier otra ubicación importante en la trayectoria de movilidad (Lee et al. 2012).

Para esto, primero se generan puntos de ruta fractales que expresan algunos contextos sociales, como lugares de reunión comunes entre personas que comparten intereses comunes o aquellos en la misma comunidad. Este principio lleva a desarrollar un algoritmo de planificación de viajes llamado Planificación de viaje de mínima acción (LATP), propuesta desarrollada por estos autores. Aquí, se muestra que LATP puede recuperar la misma distribución de vuelo observada en trazas reales dentro de un margen de error de alrededor del 10%. El funcionamiento del algoritmo se muestra a continuación.

Algoritmo de planificación de viaje de acción mínima (LATP) con una función de distancia $d^{-\alpha}$ Lee et al. (2012).

V : Conjunto de todos los vértices (puntos de ruta)

V' : Conjunto de todos los vértices visitados

$s \in V$: Vértice inicial

$c \in V$: Vértice actual

$s \leftarrow V$

$c \leftarrow s$

$V' \leftarrow \{c\}$

while $V' \neq V$ do

 Se calcula las distancias de todos los vértices no visitados: $d(c, v) = \|c - v\|^2$

para todos : $c \in V - V'$

Para calcular la probabilidad de moverse a todos los vértices no visitados:

$$P(c, v) = \frac{\left\{ \frac{1}{d(c, v)^a} \right\}}{\sum_v \left\{ \frac{1}{d(c, v)^a} \right\}}$$

para todos $c \in V - V'$

Se elije un vertice siguiente: $v' \in V - V'$ segun las probabilidades $P(c, v) c \leftarrow v'$

$V' \leftarrow V' \cup \{c\}$

end while

El algoritmo selecciona un siguiente punto de ruta no visitado para visitar basándose en una función de probabilidad $P(c, v)$ que utiliza una función ponderada $\frac{1}{d(c, v)}$. Mientras que $d(c, v)$ es la distancia desde el punto de ruta actual “c” a un punto de ruta no visitado “v” y “a” es una constante. Sí “a” es mayor, entonces es más probable que el algoritmo elija el punto de ruta no visitado más cercano, y si “a” es cero, entonces elige aleatoriamente el siguiente punto de ruta. LATP finaliza cuando visita todos los puntos de referencia no visitados. Se justifica visitar sólo puntos de referencia no visitados porque los puntos de referencia están muy agrupados debido a su auto semejanza.

LATP es un concepto basado en el principio de mínima acción de la física, que sugiere que los sistemas tienden a seguir caminos que minimizan una cantidad específica, a menudo denominada acción. En el contexto de la planificación de viajes, LATP tiene como objetivo encontrar la ruta o itinerario de viaje que minimice una función de costo asociada con el esfuerzo de viaje, el tiempo u otros factores relevantes. Las variables y componentes clave que pueden estar involucrados en un algoritmo LATP son las siguientes:

Tabla 1

Explicación del algoritmo LATP

VARIABLE	DESCRIPCION
Origen y destino	El punto de partida y el destino deseado del viaje son variables esenciales en la planificación del viaje. Estas variables definen los puntos finales del viaje y guían al algoritmo para encontrar la ruta óptima entre ellos.
Función de Costo	La función de costo representa el objetivo o criterio a minimizar durante la planificación del viaje. Por lo general, incluye factores como el tiempo de viaje, la distancia, la congestión, el modo de transporte, las preferencias del usuario y otros parámetros relevantes. La forma específica y los pesos de la función de costo dependen de las metas y prioridades del planificador de viajes.
Red de transporte	La red de transporte representa la infraestructura y las conexiones disponibles para viajar. Incluye carreteras, autopistas, rutas de transporte público, aeropuertos y otros modos de transporte relevantes. La topología y los atributos de la red, como los tiempos de viaje, las capacidades y las restricciones, son entradas importantes para el algoritmo LATP.
Restricciones	Las restricciones juegan un papel en la planificación de viajes al limitar las opciones disponibles o imponer condiciones específicas en la selección de ruta. Estas restricciones pueden ser de tiempo, preferencias por modos de transporte específicos, restricciones en ciertas carreteras o áreas y otras limitaciones definidas por el usuario.

Algoritmo de optimización	Busca la ruta óptima o casi óptima en base a la función de costo y las restricciones definidas. Se pueden utilizar varias técnicas de optimización, como el algoritmo de Dijkstra, el algoritmo A*, los algoritmos genéticos u otros enfoques metaheurísticos.
Salida	La salida del algoritmo LATP es la ruta o itinerario de viaje optimizado que satisface la función de costo y las restricciones. Por lo general, incluye la secuencia de puntos intermedios, modos de transporte, tiempos de viaje estimados y cualquier otro detalle relevante necesario para el viaje.

Fuente: Elaborada por el autor

En este enfoque, primero se modelan y capturan las características de los desplazamientos humanos en SLAW, considerando la auto semejanza y la tendencia a minimizar el esfuerzo en los patrones de movimiento. Se analizan las distribuciones estadísticas de las longitudes de paso, intervalos entre pasos u otras variables relacionadas con el movimiento humano. Luego, esta comprensión de los patrones de movimientos humanos se integra en el proceso de LATP para la planificación de viajes y rutas. Al considerar la auto semejanza y los principios de mínimo esfuerzo, se pueden optimizar las rutas de viaje para reflejar la estructura fractal y los patrones eficientes de movimiento humano.

La integración de SLAW con LATP permite tener en cuenta tanto la auto semejanza en los movimientos humanos como los principios de mínimo esfuerzo en la planificación de rutas de viaje. Esto puede resultar en rutas más eficientes y adaptadas a los patrones y características de movimiento observados en las caminatas humanas, brindando una experiencia de viaje más fluida y cómoda para los usuarios. Esta información se puede utilizar para diseñar protocolos y algoritmos de redes móviles más eficaces que puedan adaptarse a los patrones de movilidad cambiantes de los usuarios en una red móvil.

5.2. Modelo de movilidad en clúster (CMM).

Es un modelo de movilidad que se utiliza para simular el movimiento de nodos en redes móviles. En este modelo, los nodos se agrupan en clústeres y el movimiento de los nodos dentro de cada clúster se correlaciona. Sin embargo, el movimiento de nodos entre clústeres no está correlacionado, lo que permite simulaciones realistas de los patrones de movilidad. Al dividirse los nodos en clústeres, cada clúster tiene un radio especificado. Dentro de cada grupo, los nodos se mueven de forma aleatorio o adoptan un modelo de movimiento. La velocidad y la dirección del movimiento de cada nodo están determinadas por un conjunto de variables aleatorias, que se generan en base a distribuciones

estadísticas que son representativas de los patrones de movilidad del mundo real (Lim et al., 2006).

- **El Pseudocódigo del CMM que usa es el siguiente:**

S_i : Una subárea en una red, donde $0 \leq i \leq S_t$

K_i : El número de nodos en la subárea S_i .

φ_i : La probabilidad de que un nodo seleccione.

S_i : Como subárea de destino.

(A) Crecimiento (diseño inicial):

Cuando un nuevo nodo se une a la red

for($i = 0$; $i < s_t$; $i++$) {

calculamos la popularidad de la subárea S_i

$K_i \leftarrow$ población de la subárea de S_i

$$\varphi_i \leftarrow \frac{(K_i + 1)^\alpha}{\sum_v ((K_j + 1)^\alpha)}$$

}

Elegir una subárea de destino usando $\varphi_i S_i$

Elegir una posición aleatoria dentro de la subárea elegida;

Cuando la red alcanza el número predeterminado de nodos;

for (cada área central S_i tal que $K_i \gg \frac{n}{S_t}$)

Calcular la población en estado estacionario:

$K'_n \leftarrow$ población de la subárea de S_i en estado estacionario ($K_i(1 - \theta)$)

Elegir aleatoriamente una subárea de destino para cada uno de los nodos excluidos;

Elegir una posición aleatoria dentro de la subárea elegida;

Al principio CMM genera un diseño inicial, todas las subáreas no tienen nodo, por lo tanto, la probabilidad será igual cuando una subárea se le asigne el siguiente nodo.

Por ejemplo, si una subárea S_i tiene nodos K_i su probabilidad $\varphi_i \leftarrow \frac{(K_i+1)^\alpha}{\sum_v ((K_j+1)^\alpha)}$, donde α es el exponente de agrupamiento. A medida que avanza el proceso, algunas subáreas

tendrán mayor probabilidad que otras y se convertirán en áreas centrales. Sin embargo, los nodos se ubican aleatoriamente dentro de las subáreas elegidas. El proceso de crecimiento finaliza cuando se ha asignado subáreas a todo el número predeterminado de nodos. El diseño inicial es el resultado de este proceso. Los φ_i finales se utilizarán en el siguiente paso y no se cambiarán durante la simulación como lo explica Radhika Ranjan R., (2010).

(B) Recableado (movilidad):

Cuando un nodo se mueve en la red, selecciona una subárea S_i basado en la probabilidad final de $\varphi_i S_i$; dentro de S_i el destino se elige al azar;

El segundo paso CMM induce la movilidad. Cada nodo se vuelve a cablear de una subárea a otra cuando repite los ciclos de pausa y movilidad. Sin embargo, un punto de referencia se selecciona, en primer lugar, eligiendo una subárea y luego eligiendo una posición dentro de esa subárea. El principio de vinculación preferencial utilizando φ_i se utiliza para elegir una subárea. La clave es que el nivel de concentración de nodos se reduce considerablemente en el diseño inicial durante el paso de movilidad. La razón es que los nodos no sólo se vuelven a cablear a los puntos de referencia, sino que también viajan entre los puntos de referencia (Radhika Ranjan R., 2010).

Un nodo se ubica aleatoriamente en la red durante un porcentaje de su vida útil, pero se ubica sin escala durante el resto del tiempo. Llamemos a este porcentaje fracción de movilidad ϑ , que desempeñará un papel clave para derivar la población de la subárea en estado estacionario.

Este pseudocódigo describe los pasos básicos del modelo de movilidad agrupada (CMM). El modelo asume que los nodos se mueven de forma independiente dentro de sus grupos, pero permanecen dentro de un cierto rango definido por el radio del grupo. También permite que los nodos cambien sus posiciones y velocidades a intervalos aleatorios. Los resultados de la simulación se pueden analizar para evaluar varios protocolos y algoritmos de red en redes móviles.

Cuando un nodo alcanza el límite de un clúster, tiene una cierta probabilidad de permanecer en el mismo clúster o moverse a un clúster vecino. La probabilidad de

permanecer en el mismo clúster suele ser mayor que la probabilidad de moverse a un clúster vecino, lo que crea un patrón de movimiento agrupado. De modo que, el modelo CMM proporciona una forma realista y eficiente de simular los patrones de movilidad en redes móviles, lo que es útil para estudiar el rendimiento de varios protocolos y aplicaciones de red en diferentes escenarios.

5.3. Modelo de movilidad de usuarios impulsado por la atracción de puntos de acceso y algoritmo de decisión de dirección (HADUMM).

El modelo HADUMM es un modelo de movilidad centrado en el usuario que se enfoca en simular y analizar los patrones de movimiento de las personas en un entorno determinado, impulsado por la atracción de puntos de acceso específicos basado en el modelo de Manhattan (Divecha et al., 2007). Es un modelo en el que se decide la dirección que tomará el nodo simulado en cada momento bajo el algoritmo de decisión de dirección (Direction Deciding Algorithm, DDA) (Guo et al., 2010).

HADUMM sigue el siguiente esquema conceptual:

- ***Identificación de puntos de acceso:***

Identificamos y definimos los puntos de acceso o puntos de interés dentro del entorno. Estos pueden ser lugares como parques, centros comerciales, restaurantes, puntos de referencia o cualquier otra área que atraiga a los usuarios.

- ***Inicialización de usuarios:***

Se crea una población de usuarios virtuales dentro del modelo. A cada usuario se le asignan características iniciales, que incluyen ubicación, preferencias, comportamiento de movilidad y otros atributos relevantes.

- ***Cálculo de atracción:***

Realizamos el cálculo del nivel de atracción de cada punto de acceso para cada usuario en función de sus preferencias y las características del punto de acceso. Esto podría involucrar factores como la distancia, la popularidad, las comodidades o cualquier otro criterio relevante.

- ***Simulación de movilidad:***

Los patrones de movilidad de los usuarios se simulan mediante la actualización iterativa de sus posiciones y movimientos en función de un algoritmo de movilidad impulsado por la atracción de puntos de acceso.

- **Algoritmo de decisión de dirección:**

Se determina el próximo destino o dirección del usuario considerando su ubicación actual, el atractivo de los puntos de acceso cercanos y, potencialmente, otros factores como la distancia, la congestión o las limitaciones de tiempo. El algoritmo podría asignar mayor prioridad o peso a puntos de acceso más atractivos según las preferencias del usuario.

- **Movimiento y actualización:**

Los usuarios se mueven hacia el punto de acceso seleccionado, siguiendo caminos o rutas apropiados, teniendo en cuenta los modos de transporte, los tiempos de viaje y cualquier restricción o limitación en el entorno. Una vez que los usuarios llegan a su destino, pueden volver a evaluar sus preferencias y seleccionar un nuevo punto de acceso o dirección.

- **Análisis y evaluación:**

Los patrones de movilidad simulados son analizados para obtener información sobre el comportamiento de los usuarios, los flujos de tráfico, la popularidad de los puntos de acceso o el impacto de varios factores en la dinámica de la movilidad.

El algoritmo de decisión de dirección juega un papel crucial en la determinación del movimiento de los usuarios dentro del entorno. Considera la ubicación actual del usuario, el atractivo de los puntos de acceso cercanos y, potencialmente, otros factores como la congestión, el tiempo de viaje o las limitaciones. Con base en esta información, el algoritmo determina el próximo destino o dirección para el usuario.

La DDA tiene en cuenta varios factores y criterios para tomar decisiones informadas con respecto al movimiento del usuario. A continuación, se detalla el funcionamiento del algoritmo de decisión de dirección:

Tabla 2

Funciones del algoritmo DDA.

Función	Descripción
Ubicación actual	El algoritmo considera la ubicación actual del usuario dentro del entorno simulado.
Puntos de acceso cercanos	El algoritmo identifica los puntos de acceso o puntos de interés que se encuentran cerca de la ubicación actual del usuario.

Evaluación de atracción	Para cada punto de acceso cercano, el algoritmo evalúa su nivel de atracción en función de criterios predefinidos. Esto puede incluir factores como la popularidad, las comodidades, las preferencias del usuario o cualquier otra métrica relevante.
Pesos de preferencia	Si el modelo incorpora preferencias de usuario o pesos para puntos de acceso, el algoritmo considera estos pesos en el proceso de evaluación. Los hotspots con pesos de preferencia más altos pueden recibir más importancia o prioridad.
Restricciones y consideraciones	El algoritmo tiene en cuenta cualquier restricción o consideración que pueda afectar el movimiento del usuario. Esto puede incluir factores como la distancia, el tiempo de viaje, la congestión, el modo de transporte o cualquier otra limitación específica del entorno que se simula.
Toma de decisiones	En función de la evaluación de puntos de acceso cercanos y teniendo en cuenta las limitaciones, el algoritmo determina el próximo destino o dirección para el usuario. Esta decisión generalmente se toma seleccionando el punto de acceso con el mayor valor de atracción o peso de preferencia.
Actualización de movimiento	Una vez que se determina el siguiente destino o dirección, la posición del usuario se actualiza en consecuencia dentro del entorno simulado y el proceso se repite para los puntos de decisión posteriores.

Fuente: Elaborada por el autor

En general, el algoritmo de decisión de dirección juega un papel crucial en la determinación del movimiento del usuario y permite la simulación y el análisis de varios escenarios en los modelos de movilidad, lo que permite la evaluación de intervenciones, estrategias de optimización o decisiones políticas.

En resumen, el modelo de movilidad del usuario impulsado por la atracción de puntos de acceso, combinado con un algoritmo de decisión de dirección, ofrece un marco que facilita la simulación, evaluación y comprensión del movimiento del usuario en varios escenarios y permite la exploración de intervenciones para mejorar la movilidad dentro de un entorno específico.

5.4. Modelo simple de transporte y movilidad humana (SMOOTH).

Es un enfoque simplificado para modelar la movilidad humana que tiene como objetivo capturar los patrones de movimiento básicos de las personas sin tener en cuenta los detalles intrincados. Esto proporciona un marco sencillo para comprender y simular la movilidad en varios contextos. El modelo SMOOTH utiliza paseos aleatorios como principio fundamental para simular la movilidad humana.

Las caminatas aleatorias involucran a individuos que se mueven paso a paso en una secuencia de direcciones aleatorias. Este mecanismo simple captura la noción de

exploración y aleatoriedad en el movimiento humano. Mientras que los paseos aleatorios proporcionan un patrón de movimiento básico, SMOOTH incorpora restricciones espaciales para hacer que el modelo sea más realista. Estas restricciones pueden representar barreras físicas, como muros o áreas intransitables, o características ambientales que influyen en las opciones de movimiento, como caminos, aceras o destinos atractivos (Munjal et al., 2011).

Luego incorpora puntos o destinos atractivos para influir en las decisiones de movimiento. Estos puntos pueden representar ubicaciones de interés, como puntos de referencia, parques o centros de actividades. Es más probable que los individuos se muevan hacia puntos atractivos, creando patrones de convergencia o agrupamiento. Además de los puntos atractivos, SMOOTH incluye puntos repulsivos para modelar comportamientos de evitación. Los puntos repulsivos pueden representar obstáculos, áreas peligrosas o áreas con mucha congestión. Las personas tienden a evitar estos puntos, lo que resulta en desvíos o rutas alternativas (Munjal et al., 2011).

La aleatoriedad permite movimientos impredecibles, que representa preferencias o tendencias individuales, como la preferencia por ciertas áreas o la tendencia a evitar lugares concurridos para luego poder incluir dinámicas de tiempo para capturar variaciones en los patrones de movilidad a lo largo del tiempo. Esto puede involucrar factores tales como rutinas diarias, actividades periódicas o variaciones temporales en el atractivo o repulsión de ciertos puntos.

Al considerar la dinámica del tiempo, el modelo puede simular diferentes patrones durante períodos de tiempo o estaciones específicos, proporcionando un marco simplificado pero intuitivo para comprender y simular la movilidad humana (Munjal et al., 2011). En la figura 1 se muestra el proceso que usa SMOOTH para la captura de patrones de los usuarios.

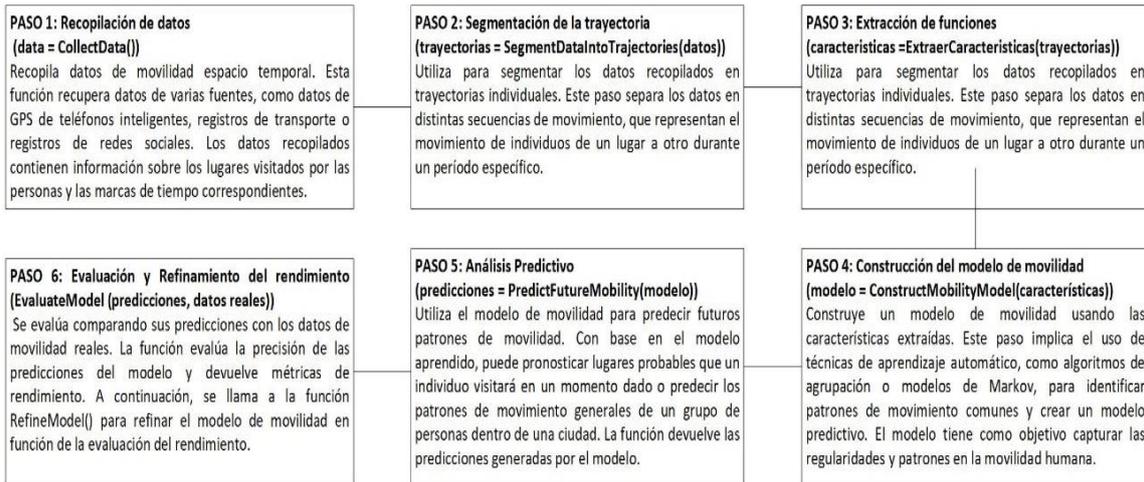


Fig. 2 Explicación del pseudocódigo de SMOOTH

Si bien es posible que no capture las complejidades de la toma de decisiones individuales o las interacciones sociales, aún puede proporcionar información valiosa y servir como base para modelos de movilidad más sofisticados. SMOOTH es particularmente útil cuando se necesita una representación rápida y sencilla de la movilidad humana, o cuando los datos detallados o los recursos computacionales son limitados.

5.5. Caracterización del escenario radio.

El objetivo de este escenario de prueba es evaluar diferentes modelos de movilidad y su impacto en el rendimiento de la red 5G en un entorno urbano con alta densidad de usuarios y cargas de tráfico centradas en usuarios peatonales y vehiculares (Dense Urban-eMBB). Las directrices del entorno de prueba para tecnologías 5G reutilizan el diseño de red de prueba para tecnologías 4G definido en la Sección 8.3 del Informe UIT-R M.2135-1. El diseño consta de 19 sitios colocados en un diseño hexagonal, cada uno de los cuales contiene 3 celdas sectorizadas (Pérez et al. (2021) y MATLAB (2023)).

Tabla 3

Caracterización del escenario.

PARAMETRO	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
Cellular layout	Hexagonal grid, 57 cells (3x19 sites) ISD = 0,2 Km	Proporciona información sobre la disposición y configuración de las celdas en una red celular:
		- 57 Celdas: La red celular consta de un total de 57 celdas.

PARAMETRO	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
		<ul style="list-style-type: none"> - Sitios 3x19: Las 57 celdas se distribuyen a través de la red usando una configuración de 3 filas y 19 columnas de sitios. - ISD = 0,2 km: ISD significa "Distancia entre sitios". Lo que indica que la distancia entre sitios vecinos o estaciones base se establece en 0,2 km.
Total Users	27309 (area = 1000 x 1000), Venue User = 20739, Random Users = 270	<p>Total de usuarios: Esto indica que hay un total de 1980 usuarios en el entorno simulado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área = 1000 x 1000: Esto especifica las dimensiones del área simulada. - Usuarios del lugar=20379. - Usuarios aleatorios = 270.
Cellular area	1 Km ² (1000 x 1000)	<p>Nos indica sobre la extensión geográfica o el área de cobertura de una red celular:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área Celular: La red celular cubre un área de 1 km², que representa el espacio geográfico total dentro del cual opera la red..
Transmission direction	DL	En una red celular, la DL (Enlace descendente) representa la ruta de transmisión desde la estación base hasta el equipo del usuario.
Carrier frequency	4 GHz	Frecuencia portadora de 4 GHz se refiere a una frecuencia específica utilizada para la comunicación inalámbrica en redes celulares.
System bandwidth	20 MHz	Un ancho de banda del sistema de 20 MHz se refiere al rango total de frecuencias asignadas para la comunicación inalámbrica.
Frequency reuse	1	Se utiliza la misma banda o canal de frecuencia en todas las celdas de una red celular sin ningún patrón de reutilización de frecuencia o separación de frecuencia
Propagation model	Shadow fading distribution: log-normal ($\sigma_{SF} = 6$)	$\sigma_{SF} = 6$: El valor representa la desviación estándar de la distribución log-normal de desvanecimiento de sombras.
Channel model	Multipath fading, EPA model	<p>Al incorporar los efectos de la propagación por trayectos múltiples, el modelo proporciona una representación realista de las variaciones de la señal y el desvanecimiento que se experimenta en tales escenarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desvanecimiento de trayectos múltiples - El modelo EPA (Extended Peatonal A)
Service model	Data traffic	Tráfico de datos: el tráfico de datos se refiere al intercambio de información digital, generalmente en forma de archivos, documentos, imágenes, videos o cualquier otro contenido digital, entre dispositivos conectados a una red

PARAMETRO	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
Base station model	Tri-sectorized antenna, MIMO 8x8, EIRPmax=47 dBm	Antena Tri-sectorizada: La estación base está equipada con un sistema de antena tri-sectorizada. Esto significa que la configuración de la antena consta de tres sectores o antenas direccionales, MIMO 8x8: MIMO (Multiple-Input Multiple-Output): Lo que significa que tiene ocho antenas de transmisión y ocho antenas de recepción. EIRPmax=47 dBm: EIRP es la potencia total radiada por una antena en una dirección específica.
Scheduler	Round Robin - Best Channel	Round Robin y Best Channel opera a través de los usuarios activos de manera secuencial, y para cada usuario selecciona el mejor canal disponible.
Power control	Equal transmit power per PRB	Bloques de recursos físicos (PRB): El espectro de frecuencia disponible se divide en pequeñas unidades llamadas PRB.
RRM features	Radio Distance (venue-cells), HO margin	Distancia de radio (celdas de lugar): Se refiere a la distancia física entre el lugar o el área de cobertura. Margen HO: Significa Handover, que es el proceso de transferir una llamada en curso o una sesión de datos de una celda a otra.
HO parameter settings	HO margin = 5 dB	Esto significa que cuando la intensidad o la calidad de la señal de la celda de destino es al menos 5 dB mejor que la de la celda de servicio, se iniciará un traspaso.

Fuente: Elaborada por el autor en base a Pérez et al. (2021) y MATLAB (2023))

6. Resultados.

6.1. Análisis cualitativo.

Los usuarios en el escenario se dirigen hacia las zonas de interés para simular los movimientos rutinarios de los humanos hacia estas zonas previas al evento. Una vez que han acudido a estas zonas y después de que pase cierto tiempo, el movimiento realizado en los usuarios simulados es en forma de multitudes o grupos de personas. Este movimiento es lógico realizarlo ya que después de acudir a las zonas de interés, es probable que los usuarios se hayan reunido con otros usuarios lo cual implica dirigirse hacia el lugar del evento en forma grupal. En la tabla 4 se realiza un análisis cualitativo que permite capturar las características relevantes de cada uno de los modelos seleccionados aplicado a ese escenario. De esta forma, nos permite asignar valores a cada modelo de movilidad con el fin de encontrar el correcto para el escenario propuesto.

Tabla 4

Caracterización del escenario y modelos de movilidad.

Modelo de movilidad	Escenario	Características
Caminata de Acción Mínima Autosimilar (SLAW) (Lee et al. 2012).	<ul style="list-style-type: none"> - La velocidad que tiene para ir al estadio es de 3 Km/H - En el estado el usuario tiene una velocidad igual 0, las personas se encuentran en reposo. - Los usuarios se concentran en lugares específicos para luego ir al estadio. - El comportamiento social de las personas para reunirse en puntos estratégicos lo realizan mediante redes sociales. 	<ul style="list-style-type: none"> - La estructura general y las características de caminar siguen siendo similares independientemente de los detalles específicos. - El movimiento de los usuarios se puede entenderse como una serie de acciones mínimas. - Los patrones y movimientos repetitivos observados al caminar pueden escalarse y repetirse en diferentes niveles.
Clustered Mobility Model (CMM) (Lim et al., 2006).	<ul style="list-style-type: none"> - El moviendo de los usuarios está determinado por la atracción del evento en estadio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se enfoca en la formación y movimiento de clusters de entidades móviles. - Capturar la formación dinámica y la disolución de estos grupos. - Considera factores como velocidad, dirección, aceleración y tiempos de pausa para replicar el movimiento realista de las entidades - Incorpora capacidades de comunicación entre entidades dentro de un clúster y entre diferentes clústeres.
Modelo de movilidad de usuarios impulsado por la atracción de puntos de acceso y algoritmo de decisión de dirección (HADUMM) (Guo et al., 2010).		<ul style="list-style-type: none"> - Representa el movimiento de los usuarios en una red en función de su atracción por puntos de acceso. - Los usuarios están influenciados por factores como la intensidad de la señal, la calidad del servicio, la proximidad u otras métricas que hacen que ciertos puntos sean más visitados.
Modelo simple de transporte y movilidad humana (SMOOTH) (Munjaj et al., 2011).		<ul style="list-style-type: none"> - Capturar las características básicas de la movilidad humana en los sistemas de transporte. - Involucrar factores tales como rutinas diarias, actividades periódicas o variaciones temporales en el atractivo o repulsión de ciertos puntos. - Genera trazas sintéticas que pueden imitar el movimiento humano real en diversos escenarios

Fuente: Elaborada por el autor

6.2. Análisis cuantitativo.

Para poder proponer un modelo de movilidad fiable y realista, capaz de imitar con precisión el movimiento humano y resolver la pregunta de investigación, en la tabla 5 se muestran los resultados cuantitativos. Estos permiten escoger el modelo de movilidad que mejor se adapta a este escenario característico.

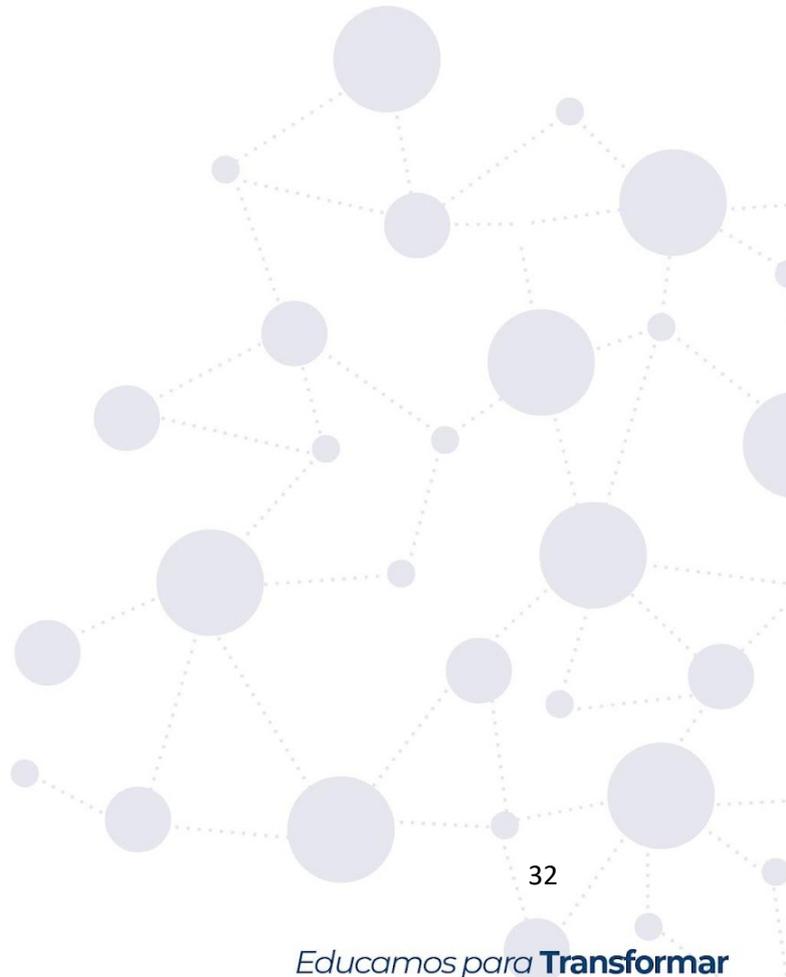
Los criterios a tomar en cuenta para realizar una buena caracterización son: el modelo de movilidad se debe adaptar a un escenario urbano macro, el segundo debe considerar las distribuciones de usuarios aglomerados, y finalmente debe representar con precisión los patrones de movimiento del mundo real de los nodos móviles bajo una consideración que sea capaz de manejar una gran cantidad de nodos sin aumentar excesivamente la complejidad computacional.

Las características descritas en la tabla 5 se relacionan la movilidad humana y están agrupadas en 4 categorías. La primera son las Características espaciales que están compuestas por la distribución de usuarios aglomerados, modelo de propagación, velocidad de usuarios que nos indique que las personas visitan el destino que está más cerca de su waypoint actual, es decir, las personas al no moverse con una velocidad constante siguen patrones de aceleración. La segunda son las Características temporales que comprenden las zonas de concentración de usuarios, punto de ruta autosimilares y basado en contacto. Nos indica que las personas tienen a regresar a los lugares visitados anteriormente. Finalmente, la última categoría son las Características geográficas que son ubicaciones dentro de las áreas que les personas les gusta visitar seguido y se denominan zonas de puntos críticos.

La relación directa entre los movimientos humanos y la estructura de la ciudad, las limitaciones geográficas (como edificios, calles y carreteras) juegan un papel importante a la hora de evaluar el escenario. A partir de nuestro análisis, comparamos diferentes modelos de movilidad para estudiar su efecto sobre 9 parámetros principales. Se demuestra que el modelo de movilidad SLAW es el que mejor se adapta para ese escenario en concreto, el cual intenta modelar el comportamiento humano en el ámbito de las dependencias sociales; como la agrupación de personas a través de un conjunto de reglas de interacción. Esto se realiza con una representación más realista de la caminata humana, incluido el tiempo de pausa, LATP (Least Action Trip Planning), atracción de puntos calientes (hotspots) y dependencias sociales.

Tabla 5*Análisis de resultados cuantitativos.*

MODELOS MOVILIDAD / CARACTERÍSTICAS DEL ESCENARIO	SLAW	CMM	HADUMM	SMOOTH
Distribución de usuarios aglomerados	1	1	1	0
Modelo de propagación	1	0	0	0
Velocidad del usuarios	1	0	1	1
Zonas de concentración de usuarios	1	1	1	1
Variación de velocidad	1	0	1	0
Punto de ruta autosimilares	1	1	1	0
Restricciones geográficas	0	1	1	1
Datos de ubicación geográfica	1	0	0	1
Basado en contacto	1	0	0	1
Total	8	4	6	5

Fuente: Elaborada por el autor

7. Discusión.

Los modelos de movilidad antes mencionados dan una perspectiva de los últimos resultados en este campo. Esta investigación se centra en los modelos que se basan para escenarios urbano-macro en redes móviles de última generación. Aunque los modelos investigados presentan muchas características interesantes, todas ellas podrían mejorarse aún más, por ejemplo, de aumentar su complejidad. La mayoría de ellos se centra principalmente en una característica del movimiento humano como su aleatoriedad y su agrupación.

El CMM modela el comportamiento de agrupación y las transiciones entre varios grupos, sin embargo, no modela otras características como el tamaño de la red que afecta la fracción de movilidad (Radhika Ranjan R., 2010). Mientras que HADUMM es mejor en términos de movimientos realistas, pero no tiene una distribución uniforme por lo que es un modelo difícil de implementar y relativamente complicado (Pérez et al. 2021). SMOOTH soluciona el problema de evitar obstáculos, pero no mejora otras características estadísticas de los modelos anteriores como la función de ciclo de vida (Munjal et al., 2011).

El SLAW recopila varios comportamientos humanos con el fin de brindar muchas características que imitan la caminata humana, puntos de acceso tiempos de pausa e inter-contactos simulados de manera realista. Los principales inconvenientes de SLAW son: la falta de restricciones como el tiempo regulado, ruta de oficina regular directa y más rápida y una velocidad constante utilizada para modelar. Estos inconvenientes pueden corregirse a costa de aumentar la complejidad del modelo (Ponsundari, S., & Siva, G. E. (2013).

8. Conclusiones.

En esta investigación se recopiló información sobre modelos de movilidad basados en contexto social para escenarios urbano-macro en redes móviles. Determinado sus ventajas, desventajas y sus propiedades técnicas de cada uno de ellos. De igual forma se revisó importantes metodologías analíticas existentes para la caracterización en un escenario en concreto.

Los usuarios pueden asumir diferentes roles dentro de un modelo, determinando su comportamiento de movilidad. Por lo tanto, se identificó en la literatura 4 modelos que abarcan las cualidades en función de un contexto social describiendo su funcionamiento y propiedades con la finalidad de realizar un análisis de acuerdo con el escenario propuesto.

Por medio de un análisis cualitativo de los modelos de movilidad investigados se identificó que SLAW propone un solución fiable y realista para el movimiento de personas dentro del escenario a evaluar. Su calificación es de 8 puntos, con los cuales permite tener una visión clara para posibles simulaciones en el escenario planteado.

Existe un sinnúmero de modelos movilidad que brindan una percepción clara de la movilidad humana, pero falta la creación estructurada de modelos de movilidad que aborden un marco teórico para diseñar modelos realistas. Esto se propone con el fin de brindar orientación y establecer un conjunto estricto de reglas para caracterizar un escenario.

9. Recomendaciones.

En cuanto a los modelos de movilidad, se necesitan más investigaciones para caracterizar las propiedades comunes de la conectividad humana y las características distintivas de los entornos de aplicación específicos. Sin embargo, un próximo desafío es realizar la simulación de estos 4 modelos y verificar los comportamientos que se tiene al aplicar en este escenario en concreto.

Realizar la caracterización para otros escenarios radio como: De interiores (indoor), rurales, conexiones vehículo a vehículo (V2V). A pesar de que han surgido muchos nuevos modelos de movilidad en los últimos años, todavía queda mucho por investigar en términos de modelos realistas que generarían patrones humanos de movilidad de la vida real.

10. Referencias bibliográficas.

- Aschenbruck, N., Munjal, A., & Camp, T. (2011). Trace-based mobility modeling for multi-hop wireless networks. *Computer Communications*, 34(6), 704–714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.comcom.2010.11.002>
- Backstrom, L., Sun, E., & Marlow, C. (2010). Find Me If You Can: Improving Geographical Prediction with Social and Spatial Proximity. *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web*, 61–70. <https://doi.org/10.1145/1772690.1772698>
- Boldrini, C., Conti, M., & Passarella, A. (2009). The Sociable Traveller: Human Travelling Patterns in Social-Based Mobility. *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access*, 34–41. <https://doi.org/10.1145/1641776.1641782>
- Camp, T., Boleng, J., & Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2(5), 483–502. <https://doi.org/10.1002/wcm.72>
- Campos, C. A. V, Otero, D. C., & de Moraes, L. F. M. (2004). Realistic individual mobility Markovian models for mobile ad hoc networks. *2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE Cat. No.04TH8733)*, 4, 1980-1985 Vol.4. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2004.1311389>
- Cho, E., Myers, S. A., & Leskovec, J. (2011). Friendship and Mobility: User Movement in Location-Based Social Networks. *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1082–1090. <https://doi.org/10.1145/2020408.2020579>
- De Nardis, L., & Benedetto, M.-G. Di. (2022). Mo3: A Modular Mobility Model for Future Generation Mobile Wireless Networks. *IEEE Access*, 10, 34085–34115. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3161541>
- Divecha, B., Abraham, A., Grosan, C., & Sanyal, S. (2007). Impact of Node Mobility on MANET Routing Protocols Models. *JDIM*, 5, 19–23.
- Fortes, S., Palacios, D., Serrano, I., & Barco, R. (2018). Applying Social Event Data for the Management of Cellular Networks. *IEEE Communications Magazine*, 56(11), 36–43. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700580>
- Ge, X., Ye, J., Yang, Y., & Li, Q. (2016). User Mobility Evaluation for 5G Small Cell Networks Based on Individual Mobility Model. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 528–541. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2525439>
- Ghosh, R., Das, A., Venkateswaran, P., Sanyal, S. K., & Nandi, R. (2005). An Efficient Social Network-Mobility Model for MANETs. In *Distributed Computing-IWDC 2005: 7th International Workshop* (pp. 349–354). https://doi.org/10.1007/11603771_38

- Gorawski, M., & Grochla, K. (2014). Review of mobility models for performance evaluation of wireless networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 242, 567–577. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02309-0_62
- Guo, H., Gao, Z., Zhang, H., Guan, Z., Chen, X., & Qiu, X. (2010). A hotspot attraction driven user mobility model and direction deciding algorithm. *The IEEE Symposium on Computers and Communications*, 960–962. <https://doi.org/10.1109/ISCC.2010.5546726>
- Kang, X., Liu, L., Zhao, D., & Ma, H. (2021). TraG: A Trajectory Generation Technique for Simulating Urban Crowd Mobility. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(2), 820–829. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2976777>
- Lee, K., Hong, S., Kim, S. J., Rhee, I., & Chong, S. (2012). SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 20(2), 515–529. <https://doi.org/10.1109/TNET.2011.2172984>
- Lim, S., Yu, C., & Das, C. R. (2006). Clustered Mobility Model for Scale-Free Wireless Networks. *Proceedings. 2006 31st IEEE Conference on Local Computer Networks*, 231–238. <https://doi.org/10.1109/LCN.2006.322105>
- MATLAB. (2023, August 3). *SINR Map for a 5G Urban Macro-Cell Test Environment*.
- Munjal, A., Camp, T., & Navidi, W. C. (2011). SMOOTH: A Simple Way to Model Human Mobility. *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 351–360. <https://doi.org/10.1145/2068897.2068957>
- Musolesi, M., & Mascolo, C. (2007). Designing Mobility Models Based on Social Network Theory. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 11(3), 59–70. <https://doi.org/10.1145/1317425.1317433>
- Navidi, W., & Camp, T. (2004). Stationary distributions for the random waypoint mobility model. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 3(1), 99–108. <https://doi.org/10.1109/TMC.2004.1261820>
- Pazand, B., & McDonald, C. (2007). A Critique of Mobility Models for Wireless Network Simulation. *6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007)*, 141–146. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2007.15>



- Pérez, A., Torres, R., Fortes, S., Baena, E., & Barco, R. (2021). *Modelos de movilidad para simulación de multitudes sociales en entornos celulares*.
<https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/22953>
- Schwamborn, M., & Aschenbruck, N. (2013). Introducing Geographic Restrictions to the SLAW Human Mobility Model. *2013 IEEE 21st International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, 264–272.
<https://doi.org/10.1109/MASCOTS.2013.34>
- Solmaz, G., Akbaş, M. İ., & Turgut, D. (2015). A Mobility Model of Theme Park Visitors. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 14(12), 2406–2418.
<https://doi.org/10.1109/TMC.2015.2400454>
- Solmaz, G., & Turgut, D. (2019). A Survey of Human Mobility Models. *IEEE Access*, 7, 125711–125731. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939203>
- Tabassum, H., Salehi, M., & Hossain, E. (2019). Fundamentals of Mobility-Aware Performance Characterization of Cellular Networks: A Tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3), 2288–2308. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2907195>
- Theoleyre, F., Tout, R., & Valois, F. (2007). New metrics to evaluate mobility models properties. *2007 2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing*.
<https://doi.org/10.1109/ISWPC.2007.342624>
- Van Anh Duong, D., & Yoon, S. (2018). A social relationship-aware mobility model. *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 658–663. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2018.8355150>
- Wen, Y.-T., Lei, P.-R., Peng, W.-C., & Zhou, X.-F. (2014). Exploring Social Influence on Location-Based Social Networks. *2014 IEEE International Conference on Data Mining*, 1043–1048.
<https://doi.org/10.1109/ICDM.2014.66>
- Zhang, W., Gui, X., An, J., & Jiang, J. (2012). Location Attraction Mobility Model for Mobile Ad Hoc Network. *2012 IEEE/ACIS 11th International Conference on Computer and Information Science*, 83–87. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2012.66>
- Abreu, J. L. (2014). El Método de la Investigación Research Method. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 9(3), 195–204. *Journal of Good Conscience*, 9(3), 195–204.

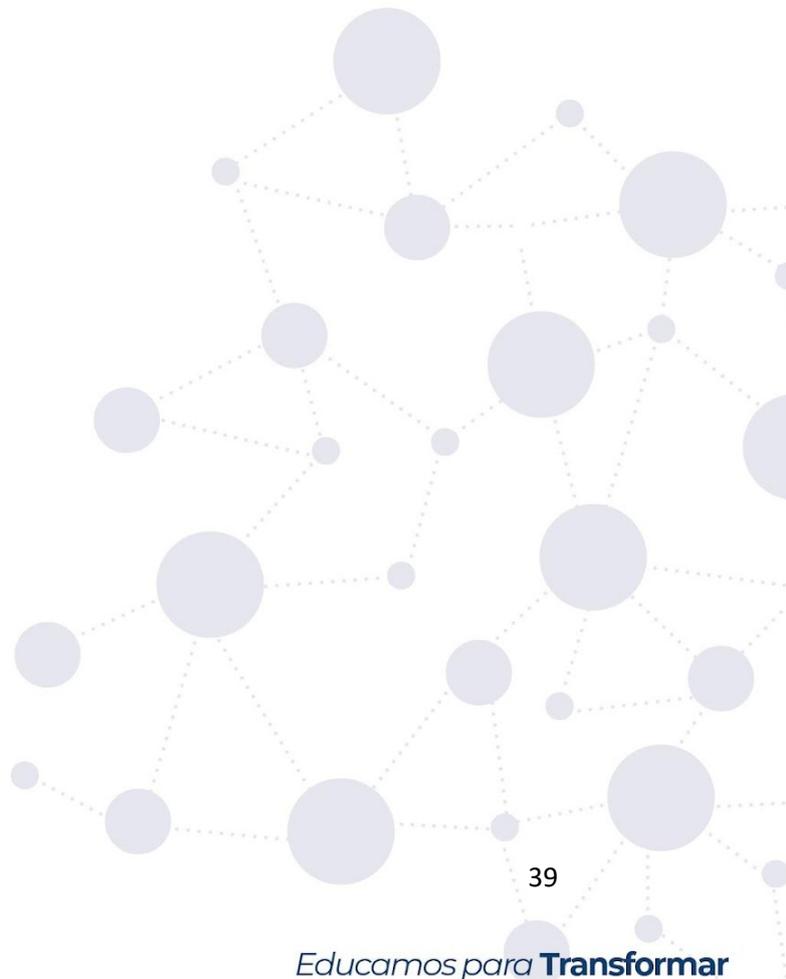


Radhika Ranjan Roy. 2010. Handbook of Mobile Ad Hoc Networks for Mobility Models

(1st. ed.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Ponsundari, S., & Siva, G. E. (2013). Designing a human mobility model based routing protocol

fordelay tolerant network (DTN). *Rroj*.



11. Anexos

Anexo 1. Certificado de traducción.

CERTIFICATION OF TRANSLATION ACCURACY

An instance of a certificate of translation sample follows.

I, Andres Roberto Baldassari C. declare that I am fluent in the English and Spanish languages, and that the translation of this ABSTRACT, related to VÍCTOR ENRIQUE CALDERÓN PARDO, the original of which is in the Spanish language, truly reflects the content, meaning and style of the original text and constitutes in every respect a correct and true translation of the original document.

TRANSLATORS QUALIFICATIONS

Universidad Central del Ecuador - Bachelor in Arts in English Teaching.

Pontificia Universidad Católica – Master in Applied Linguistics English – Spanish

Certified Translator – Senescyt register

Universidad Central del Ecuador – Authorized translator

Andres Baldassari C. does not vouch for the authenticity of the aforementioned copy of the document or statements contained therein.

Andres Baldassari C. and his associates are not liable for any action/losses taken by the holder of this translation.



Andrés Baldassari MA.App.Lng
Certified Translator – Senescyt - MDT-3104-CCL-259519
Phone: (593) 098 7030 511
Email: andresbaldassari@hotmail.com





CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Andrés Baldassari
MA.App.Lng

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la tesis titulada: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE MOVILIDAD DE USUARIOS BASADO EN CONTEXTO SOCIAL PARA ESCENARIOS URBANO-MACRO EN REDES MÓVILES DE ÚLTIMA GENERACIÓN", de autoría VÍCTOR ENRIQUE CALDERÓN PARDO con cédula de identidad Nro. 1105759953, egresado de la facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del Ing. Renato Benjamín Torres Carrión, Mg. Sc. previo a la obtención del título de Magíster en Telecomunicaciones.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyere conveniente.

Quito, 27 de julio de 2023



Andrés Baldassari MA.App.Lng
Certified Translator – Senescyt - MDT-3104-CCL-259519
Celular: (593) 098 7030 511
Email: andresbaldassari@hotmail.com

