



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Facultad de Ciencias Empresariales
Departamento de Sistemas de Información

Algoritmos para construir regiones de encubrimiento por lotes con criterios de privacidad de ubicación y seguridad física de ubicación

Yeison Ávila González

Profesor Guía: Patricio Galdames Sepúlveda

CONCEPCIÓN, 2019

*Memoria presentada para dar conformidad a los requisitos exigidos por la
Universidad del Bío-Bío para optar al Título de Ingeniero Civil en
Informática.*

Resumen

El presente proyecto se efectúa para dar cumplimiento a los requisitos establecidos por la Universidad del Bío-Bío en el proceso de titulación de la carrera de Ingeniería Civil Informática.

El proyecto consiste en la implementación de algoritmos para la construcción eficiente de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas móviles, los cuales tienen requisitos de privacidad y seguridad física de ubicación impuestos por los estos usuarios.

Para llevar a cabo el proyecto, se implementan dos técnicas construcción de regiones de encubrimiento por lotes, llamados “Bottom-Up” (BU) y “Top-Down” (TD), los cuales consideran los requerimientos privacidad y de seguridad física de ubicación demandados por múltiples usuarios.

Se realiza una interfaz gráfica que permite la fácil manipulación del software de simulación. Este software permite la configuración de diferentes parámetros para simular el comportamiento de estas técnicas en distintos escenarios y provee resultados obtenidos a través de distintas métricas. Finalmente se presentan resultados relevantes que permiten comparar el comportamiento de las técnicas simuladas

Índice General

1. Introducción.....	15
1.1. Definición del problema	17
1.2. Objetivos del proyecto de título.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos	18
2. Estudio del arte	19
2.1. Trabajos relacionados	19
2.1.1. “Implementación y simulación de algoritmo de construcción en Batch de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas”	19
2.1.2. "Anonymous Usage of Location-Based Services Through Spatial and Temporal Cloaking"	20
2.1.3. "Feeling-based Location Privacy Protection in Location-based Services"[3]	20
2.1.4. "Achieving K-anonymity in Privacy-Aware Location-Based Services"[4] ...	21
2.1.5. "Location Cloaking for Safety Protection of Ad Hoc Networks[5]	22
2.1.6. "Batching Location Cloaking Techniques for Location Privacy and Safety Protection"[6]	23

2.2.	Conceptos principales	23
2.2.1.	Anonimato	23
2.2.2.	Privacidad de ubicación.....	24
2.2.3.	Seguridad de ubicación.....	25
2.3.	Motivación para la construcción eficiente de regiones de encubrimiento.....	26
3.	Técnicas escogidas a implementar	28
3.1.	Términos generales	29
3.2.	Técnicas implementadas	32
3.2.1.	Técnica Bottom-Up	33
3.2.1.1.	Algoritmo 1: Construyendo una región de encubrimiento para un usuario u	34
3.2.1.2.	Algoritmo 2: Algoritmo de encubrimiento de usuarios por lotes “Bottom-up”	35
3.2.2.	Técnica Top-down.....	36
3.2.2.1.	Algoritmo 3: Algoritmo de encubrimiento de usuarios por lotes “Top-down”	37
4.	Especificaciones de requerimientos de software	39

4.1.	Alcances.....	39
4.2.	Objetivos del software	40
4.2.1.	Objetivo general	40
4.2.2.	Objetivos específicos.....	40
4.3.	Requisitos mínimos del software.....	41
4.3.1.	Requisitos de sistema operativo	41
4.3.2.	Requisitos de software.....	41
4.3.3.	Requisitos de hardware.....	42
4.4.	Descripción global del producto	42
4.4.1.	Interface de hardware	42
4.4.2.	Interface de software	42
4.4.3.	Interface de comunicación.....	42
4.5.	Requerimientos específicos	43
4.5.1.	Requerimientos funcionales del sistema.....	43
4.5.2.	Interfaces externas de entrada.....	44
5.	Análisis y diseño del ambiente de simulación.....	48

5.1.	Especificación de hardware y software.....	48
5.1.1.	Especificaciones de hardware.....	48
5.1.2.	Especificaciones de software.....	48
5.2.	Aplicación desarrollada	49
5.2.1.	Parámetros de entrada de la aplicación.....	49
5.2.2.	Métodos de la aplicación:.....	54
5.2.3.	Uso de la aplicación.....	61
5.3.	Casos de uso.....	64
5.3.1.	Actores.....	64
5.3.2.	Casos de uso y descripción.....	64
5.3.2.1.	Diagrama de casos de uso	65
5.3.2.2.	Casos de uso y descripción.....	66
6.	Experimentos	84
6.1.	Ejecución de técnicas de anonimato	84
6.1.1.	Gráficos de representación	85
6.2.	Comparaciones y conclusiones a partir de las métricas.....	86

6.2.1.	Costo Computacional	87
6.2.2.	Número regiones de encubrimiento construidas	89
6.2.3.	Media	92
6.2.4.	Desviación estándar	94
6.2.5.	(RE/K) promedio	96
6.2.6.	Entropía promedio	98
6.2.7.	Tiempo de ejecución.....	100
7.	Conclusiones.....	102
8.	Bibliografía.....	104
9.	Anexos	106
8.1.	Anexo 01: Datos de métricas	106
9.1.1.	Usuarios	106
9.1.2.	Valor K	110
9.1.3.	Valor θ	115
9.1.4.	Valor M	117
9.1.5.	Tamaño de las celdas	120

9.1.6.	Valor Alto x Ancho	123
8.2.	Anexo 02: Gráficos de métricas.....	126
9.1.7.	Usuarios	126
9.1.8.	Valor K	130
9.1.9.	Valor θ	134
9.1.10.	Valor M.....	138
9.1.11.	Tamaño de las celdas	142
9.1.12.	Valor Alto x Ancho.....	146

Índice Figuras

Figura 1: Arquitectura tradicional de comunicación entre un LBS, un LDS y un usuario. .	29
Figura 2: Espacio en donde se distribuyen los distintos usuarios de acuerdo a la probabilidad de cada celda.	30
Figura 3: Ubicación de la aplicación.	61
Figura 4: Diseño de la aplicación.	63
Figura 5: Diagrama de casos de usos.....	65
Figura 6: Gráfico de representación de costo computacional.	85
Figura 7: Gráfico de representación de número de regiones de encubrimiento construidas.	86
Figura 8: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos usuarios.....	126
Figura 9: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos usuarios.	127
Figura 10: Gráfico de media en pruebas a distintos usuarios.	127
Figura 11: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos usuarios.	128
Figura 12: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos usuarios.....	128
Figura 13: Gráfico de entropía en pruebas a distintos usuarios.....	129
Figura 14: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos usuarios.....	129

Figura 15: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores K	130
Figura 16: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores K	130
Figura 17: Gráfico de media en pruebas a distintos valores K	131
Figura 18: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores K	131
Figura 19: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores K	132
Figura 20: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores K	132
Figura 21: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores K	133
Figura 22: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores θ	134
Figura 23: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores θ	134
Figura 24: Gráfico de media en pruebas a distintos valores θ	135
Figura 25: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores θ	135
Figura 26: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores θ	136
Figura 27: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores θ	136
Figura 28: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores θ	137
Figura 29: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores M	138

Figura 30: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores M.	138
Figura 31: Gráfico de media en pruebas a distintos valores M.	139
Figura 32: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores M.....	139
Figura 33: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores M.....	140
Figura 34: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores M.....	140
Figura 35: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores M.....	141
Figura 36: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	142
Figura 37: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	142
Figura 38: Gráfico de media en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	143
Figura 39: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	143
Figura 40: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	144
Figura 41: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.	144

Figura 42: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas. 145

Figura 43: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores ancho x alto. .. 146

Figura 44: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores de ancho x alto. 146

Figura 45: Gráfico de media en pruebas a distintos valores de ancho x alto. 147

Figura 46: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores de ancho x alto. 147

Figura 47: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores de ancho x alto. .. 148

Figura 48: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores de ancho x alto.. 148

Figura 49: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores de ancho x alto. 149

Índice Tablas

Tabla 1: Requerimientos funcionales del sistema.	43
Tabla 2: Interfaces externas de entrada.	47
Tabla 3: Parámetros de entrada de la aplicación.	53
Tabla 4: Métodos principales de la aplicación.	61
Tabla 5: Análisis de las simulaciones en relación al costo computacional.	89
Tabla 6: Análisis de las simulaciones en relación al número de regiones de encubrimiento construidas.	90
Tabla 7: Análisis de las simulaciones en relación a la media.	93
Tabla 8: Análisis de las simulaciones en relación a la desviación estándar.	95
Tabla 9: Análisis de las simulaciones en relación al promedio de (RE/K).	97
Tabla 10: Análisis de las simulaciones en relación a la entropía promedio.	99
Tabla 11: Análisis de las simulaciones en relación al tiempo de ejecución.	101
Tabla 12: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes usuarios.	106
Tabla 13: Resultados simulaciones con diferentes usuarios n°1.	108
Tabla 14: Resultados simulaciones con diferentes usuarios n°2.	109

Tabla 15: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores K	110
Tabla 16: Resultados simulaciones con diferentes valores K n°1.	112
Tabla 17: Resultados simulaciones con diferentes valores K n°2.	114
Tabla 18: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores θ	115
Tabla 19: Resultados simulaciones con diferentes valores θ n°1.	116
Tabla 20: Resultados simulaciones con diferentes valores θ n°2.	116
Tabla 21: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores M	117
Tabla 22: Resultados simulaciones con diferentes valores M n°1.	118
Tabla 23: Resultados simulaciones con diferentes valores M n°2.	119
Tabla 24: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes tamaños de las celdas.	120
Tabla 25: Resultados simulaciones con diferentes tamaños de las celdas n°1.	121
Tabla 26: Resultados simulaciones con diferentes tamaños de las celdas n°2.	122
Tabla 27: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores alto x ancho.	123
Tabla 28: Resultados simulaciones con diferentes valores alto x ancho n°1.	124
Tabla 29: Resultados simulaciones con diferentes valores alto x ancho n°2.	125

1. Introducción

Históricamente, las personas siempre han encontrado la forma de ubicarse y guiarse en el mundo. Por ejemplo, en un principio solo lo lograban viendo el sol en el día y con las estrellas por las noches. Luego con el paso del tiempo, y con la invención de instrumentos como la brújula, se hizo la tarea aún más fácil, incluso para los navegantes, como el mismo Cristóbal Colón, quien en 1492 descubrió América en compañía de una.

Gracias a la modernidad de hoy en día, resulta bastante fácil para una persona el saber su ubicación exacta, ya que le basta con solo emplear un dispositivo móvil y una conexión a la red. Con este dispositivo, esta persona puede acceder a servicios de ubicación que, en unos pocos segundos, puede proporcionarle su paradero o localización.

A su vez complementando a los servicios de localización, también existen los servicios basados en la localización o LBS (Location Based-Services), quienes ofrecen al usuario la entrega de información en tiempo real de acuerdo al lugar en el que este se encuentra. Por ejemplo, cuando un usuario proporciona su paradero a un LBS, este le puede proporcionar detalles como la ruta óptima para llegar a un destino deseado o, encontrar el restorán más cercano, o incluso encontrar aquellos lugares típicos de la ciudad en la que se encuentra.

Sin lugar a dudas, son miles los beneficios que trae el uso de los servicios LBS, pero cuando compartimos nuestra ubicación precisa, como nuestro domicilio, lugar de trabajo, o los lugares a los cuales nos dirigimos, el LBS puede inferir de esta información detalles personales. Por ejemplo, el LBS puede combinar información de nuestro paradero con información pública, como paginas blancas, concluir con nuestro estilo de vida y como

también con nuestra identidad, por tanto, comprometiendo nuestra privacidad. Peor aún, estos detalles pudieran ser empleados por LBS o una tercera parte que accede a esta información, para atentar físicamente en contra nuestra, comprometiendo nuestra seguridad física.

Existen varias investigaciones [2], [[3]], [[4]][5] que han buscado resolver estos problemas a la privacidad y seguridad física. Una de las posibles soluciones consiste en que el usuario limite la resolución de su ubicación que proporciona al LBS. Esta solución asume que un usuario mejora su protección la privacidad cuando disminuye la resolución liberada de su ubicación. Por ejemplo, si a este usuario no le importa comprometer su privacidad, el estará dispuesto a liberar su paradero con gran precisión. Por el contrario, si desea proteger su privacidad y seguridad, él podría liberar una región suficientemente grande que le de confianza para acceder a un servicio del LBS.

A esta región de protección se le denomina la “región de encubrimiento” del usuario. Esta se construye de modo tal que contiene la posición real del usuario y otras posibles posiciones que también sean probables que él se encuentre. Por tanto, cuando un usuario accede al LBS, este liberara junto a su petición una región encubrimiento en reemplazo de su posición exacta.

La finalidad de este documento es abordar el problema de la construcción de regiones de encubrimiento para un gran número de usuarios de forma eficiente, que satisfaga los requisitos de privacidad y seguridad física de ubicación que estos usuarios demanden. Para esto se implementan dos diferentes técnicas para construir estas regiones, las cuales fueron desarrolladas en [6]. Luego, mediante un simulador gráfico, se midió la efectividad de estas

soluciones en distintos escenarios, donde los usuarios tienen requisitos heterogéneos de privacidad y seguridad física de ubicación.

1.1. Definición del problema

El presente proyecto es la continuación del proyecto de título llamado “Implementación y simulación de algoritmo de construcción en Batch de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas” [1]. En dicho trabajo, se implementaron técnicas de construcción de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas.

En dicho trabajo, solo se implementan técnicas que construyen regiones de encubrimiento bajo criterios de privacidad de ubicación.

En este trabajo se simula un ambiente de prueba que construye regiones de encubrimiento añadiendo un criterio distinto como es la seguridad física de ubicación.

1.2. Objetivos del proyecto de título

A continuación, se describen los objetivos definidos para el desarrollo de este proyecto.

Objetivo General

Implementar nuevas técnicas de construcción de regiones de encubrimiento basadas en el concepto de seguridad de ubicación para usuarios de redes inalámbricas.

Objetivos Específicos

1. Realizar estudio bibliográfico de trabajos que emplean el concepto de seguridad de ubicación.
2. Desarrollar un ambiente gráfico que distribuya los usuarios móviles considerando diversas funciones de densidad y probabilidad.
3. Desarrollar una aplicación que permita gráficamente simular las técnicas propuestas.
4. Desarrollar una aplicación que evalúe el rendimiento de las técnicas bajo diversos parámetros, como número de usuarios o el nivel de seguridad.

2. Estudio del arte

En esta sección se estudiarán las distintas las tecnologías y herramientas utilizadas en el proyecto, indicando cuales son los trabajos relacionados que se utilizaron como base para desarrollar el proyecto, los conceptos fundamentales encontrados en estos y que a su vez se implementaran en las técnicas desarrolladas y evaluadas en el proyecto.

2.1. Trabajos relacionados

En este punto se detallan los distintos trabajos que se utilizaron como base para desarrollar este proyecto.

2.1.1. “Implementación y simulación de algoritmo de construcción en Batch de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas”

En el trabajo de titulo desarrollado por Tobar [1], se simulan diferentes técnicas propuestas de generación de regiones de encubrimiento para usuarios en redes inalámbricas que usan servicios basados en localización, mostrando los distintos resultados y comparándolas entre ellas para su análisis.

La aplicación desarrollada se realiza para simular un ambiente real, mostrando en donde hay una mayor o menor densidad de población, por consiguiente, una mayor o menor posibilidad de que un usuario busque por productos o servicios en esa área.

Las técnicas implementadas toman en cuenta los datos entregados por el usuario y los datos obtenidos desde la base de datos conectada a la aplicación para calcular los sectores más parecidos a la ubicación real y así entregar un conjunto de ubicaciones lo suficientemente parecidas para poder encubrir la ubicación real del usuario.

2.1.2."Anonymous Usage of Location-Based Services Through Spatial and Temporal Cloaking"

En el trabajo de Gruteser et al. [2] propone una técnica, que usando K-anonimato, los usuarios entregan a los LBS solamente datos despersonalizados, por lo cual, según el autor, esto genera un beneficio tanto para el usuario como para el proveedor del servicio.

Un usuario, junto a otros k-1 usuarios que también se encuentren en el área del usuario que realiza la consulta, uniéndose crean una región de encubrimiento.

2.1.3."Feeling-based Location Privacy Protection in Location-based Services"[3]

En el trabajo de Toby Xu et al. [3], plantea que el problema del enfoque tradicional del k-anonimato, ya que plantean que la privacidad se trata de sensaciones, por lo tanto, es incómodo el representar su sentir basado en un número.

Se propone un modelo de privacidad basado en sensaciones de tranquilidad de un área determinada, la idea es permitir que un usuario exprese su requisito de privacidad especificando una región pública en la cual el usuario se siente cómodo entregar su ubicación actual estando dentro de esa región, en lugar de entregar un valor K .

2.1.4. "Achieving K -anonymity in Privacy-Aware Location-Based Services"[4]

Ben Niu en este trabajo [4], detallan la problemática al respecto del anonimato en la red, y proponen dos soluciones que distan de otras propuestas, la primera un algoritmo DLS (Dummy-Location Selection) y la segunda, un algoritmo DLS mejorado para alcanzar un grado de anonimato en los servidores LBS (Location-Based Services) conocido como K -anonimato.

Los autores señalan diferentes puntos a tomar en consideración para la máxima eficiencia de sus algoritmos, un ejemplo es evitar utilizar un servidor como anonimizador para evitar cuellos de botella y a la vez reducir la probabilidad de que un atacante pueda ingresar al servidor anonimizador y así obtener la posición real del usuario.

Los algoritmos que proponen utilizan diferentes puntos geográficos dentro de un área seleccionada para generar diversos usuarios falsos que tengan una probabilidad de hacer una consulta igual o muy parecida a la del usuario real.

Si bien el algoritmo DLS utiliza una técnica de conjuntos aleatorios para realizar sus puntos de anonimato, el algoritmo DLS va más allá, al realizar los mismos pasos tomando en cuenta, además de la entropía, la región de encubrimiento.

2.1.5. "Location Cloaking for Safety Protection of Ad Hoc

Networks[5]

En este trabajo Tobi Xu et al. [5], buscan el evitar que un adversario encuentre, y así destruya a un usuario basándose en su información de ubicación física.

Esto lo consiguen reduciendo la resolución de ubicación del usuario y así logran un nivel deseado de protección de seguridad a través de una región de encubrimiento.

Este nivel de seguridad de una región geográfica se define como una relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, por lo tanto, mientras mayor es el nivel de seguridad, menos atractivo para un adversario es atacar un usuario.

Se proponen dos algoritmos, uno que son para usuarios que están estáticos, y el otro que son para usuarios que se están continuamente desplazando.

Se utilizará este concepto de nivel de seguridad para la confección de las regiones de encubrimiento del proyecto.

2.1.6. "Batching Location Cloaking Techniques for Location Privacy and Safety Protection"[6]

En este trabajo desarrollado por Patricio Galdames et al. [6], los autores presentan dos diferentes técnicas las cuales construyen regiones de encubrimiento de manera eficiente para múltiples usuarios que tengan requisitos tanto de privacidad como seguridad física de ubicación.

Estas técnicas llamadas “Bottom-Up” y “Top-Down” son las que se implementaran y simularan en este proyecto.

2.2. Conceptos principales

En este punto se revisarán los conceptos principales encontrados en los trabajos relacionados, los cuales servirán como base para desarrollar al proyecto

2.2.1. Anonimato

Según la RAE anonimato se puede definir como “carácter o condición de anónimo”, mientras que la definición para anónimo es” situación de quien oculta su nombre”. En el ámbito de la informática esto se puede definir como las acciones que realiza un usuario, pero sin revelar su identidad. En los trabajos anteriormente mencionados, para lograr el anonimato un usuario debe limitar la resolución de su ubicación. Esto se logra cuando en vez de entregar su ubicación real, el usuario envía al LBS una región de encubrimiento.

En [1], [2], [4] esta región de encubrimiento tiene la propiedad del k-anonimato, es decir, en esta se encuentra la posición real del usuario, pero además contiene otras k-1 ubicaciones ficticias.

La tarea de seleccionar las ubicaciones falsas para crear una región de encubrimiento no es igual en todas las investigaciones que hablan del tema, por ejemplo en [2], [3], esta se la asigna a una tercera parte de confianza, llamadas anonimizadores, los cuales seleccionan las ubicaciones según el tipo de protección que el usuario demanda. En otras investigaciones [1], [4] son los mismos usuarios, que en colaboración con otros usuarios son los encargados de crear sus propias regiones de encubrimiento. Finalmente, también existen investigaciones [5] que se definen de tipo híbrida, en donde tanto usuarios como anonimizadores son los responsables de crear las regiones de encubrimiento.

2.2.2.Privacidad de ubicación

De acuerdo a la RAE, la privacidad se puede definir como “Ámbito de la vida privada que se tiene derecho a proteger de cualquier intromisión”, así mismo, en el área de la privacidad de ubicación, esta se puede definir como “garantizar que la ubicación real de un usuario está protegida”.

Siguiendo estas definiciones, las regiones de encubrimiento tienden a tener mejor privacidad cuando en estas se encuentran una mayor cantidad de usuarios.

Para proteger la privacidad de ubicación, varias investigaciones también han abordado el tema de diferentes maneras, en [2] usa anónimamente un LBS, evitando que un adversario

logré saber la identidad del usuario, incluso si identifica a todos los usuarios haciendo coincidir las regiones de encubrimiento con la información pública disponible. Por otra parte, en [1],[4] se afirma que k usuarios han estado en algún momento en la región de encubrimiento, así mismo, el adversario no logra identificar en qué periodo de tiempo el usuario solicita el servicio LBS, asegurando su privacidad.

2.2.3.Seguridad de ubicación

El termino seguridad se define literalmente como “cualidad de seguro”, mientras que la definición para seguro es “libre y exento de riesgo”.

Efectivamente, para la seguridad de ubicación este concepto se puede definir de la misma forma, ya que se busca que seguridad de un usuario, evitando un posible ataque y atentado en contra de este.

En [5] el objetivo es crear una región de encubrimiento que contenga la posición real del usuario, pero intenta evitar que el adversario utilice esa región completa para encontrar y destruir al usuario objetivo y a todos los demás que utilicen la misma región de encubrimiento.

Para asegurar la seguridad de esa región, se determina un nivel de seguridad, la cual se define como la relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, por lo tanto, mientras mayor es el nivel de seguridad, menos atractivo para un adversario es atacar los usuarios que se encuentren dentro de ella.

2.3. Motivación para la construcción eficiente de regiones de encubrimiento

El reducir la resolución de ubicación satisface la necesidad de limitar los riesgos de privacidad y seguridad, pero a su vez, aumenta los trabajos del servidor LBS y del anonimizador. Para un servidor LBS, si un usuario entrega solamente su ubicación exacta, para este es mucho más fácil calcular el resultado para aquella ubicación, en cambio sí debe entregar el resultado para una región de encubrimiento, es decir la posición real junto a otras posiciones ficticias, el servidor debe calcular las respuestas para todas esas ubicaciones. Estas consultas en donde la ubicación se ha ocultado se definen como consulta de ubicación encubierta (LCQ), si un gran número de usuarios necesita los servicios LCQ, para un servidor LBS puede ser catastrófico, aún más cuando tiene que lidiar con grandes cantidades de regiones de encubrimiento, ya sea en tiempos de ejecución cuando los usuarios solicitan un alto nivel de protección, como ejemplo, teniendo un alto valor para K.

Para el anonimizador, para encontrar regiones de encubrimiento también puede traer problemas, si tiene una alta demanda para encontrar regiones de encubrimiento para un número elevado de clientes, este podría convertirse en un cuello de botella, y así los clientes tendrían tiempos de respuesta muy elevados. Este problema no ayuda para un servidor LBS que entrega respuestas en tiempo real.

En [1] solo considera el problema de la privacidad de ubicación, pero el objetivo de este proyecto es complementar dicho trabajo, por lo tanto, se incluirá este concepto de seguridad de ubicación, implementando ambos. Una región de encubrimiento para la privacidad debe

evitar que un adversario encuentre al usuario real, entre los usuarios ficticios que se encuentren dentro de un área, por lo tanto, mientras más usuarios ficticios existan dentro de esa área, mucho mejor para el usuario real. Sin embargo, la seguridad de ubicación es básicamente lo opuesto, ya que, si el área de la región es muy densa, esta será más atractiva para el adversario localizar a todos los usuarios dentro de esa región y destruirlos.

3. Técnicas escogidas a implementar

Con los diferentes enfoques propuestos en los trabajos relacionados estudiados anteriormente, para este proyecto se propone un enfoque unificado que se utilizará para la construcción de regiones de encubrimiento, los cuales exigirán requisitos tanto de privacidad de ubicación como de seguridad de ubicación.

Para lograr este objetivo se utilizan dos técnicas desarrolladas en [6], las cuales, considerando los requisitos de privacidad y seguridad de ubicación, construyen regiones de encubrimiento en Batch para múltiples usuarios.

Según el conocimiento del profesor, este problema de reunir los conceptos de privacidad y seguridad de ubicación, no ha sido desarrollado anteriormente. Además, estas técnicas también abordan el problema de la sobrecarga de trabajo a los servidores LBS, gracias a la mejora en la escalabilidad del anonimizador, ya que la misma región de encubrimiento puede ser aplicada a otros usuarios, dependiendo si estos cumplen con sus respectivos requisitos.

Para medir la efectividad de las técnicas, se realizarán pruebas en diferentes escenarios y parámetros, con los cuales se procederá a analizar dichos resultados con respecto a una serie de métricas, y posteriormente poder concluir en base a estos.

3.1. Términos generales

Se explicarán los términos generales que asume el sistema para la ejecución de las técnicas.

En primer lugar, se asume que se utilizara un único servidor de anonimato, ubicado entre el usuario y el LBS, para todos los usuarios que requieran su región de encubrimiento, tal como se muestra en la figura 1.

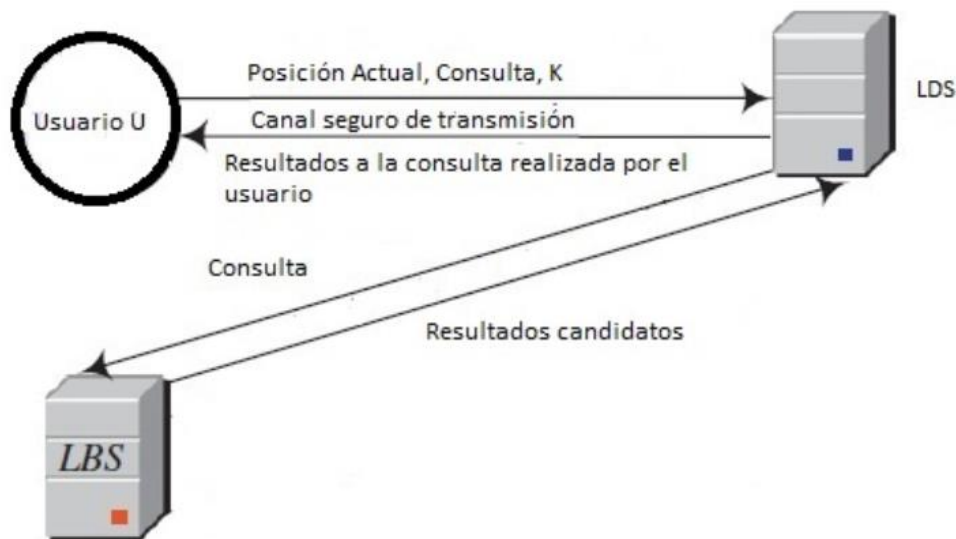


Figura 1: Arquitectura tradicional de comunicación entre un LBS, un LDS y un usuario.

El área total de la red en donde están ubicados los usuarios que realizarán las consultas está dividido en celdas de tamaños $n \times m$, tal como se muestra en la figura 2. La información de probabilidad de que un usuario este ubicado en celda no está asociada a una base de datos, sino a que están asignadas dinámicamente en base a distintos tipos de distribución, tal como se requiera.

Cada usuario que necesite protección, incluirá su posición representada en un punto 2D $(X_u; Y_u)$, y sus requisitos de privacidad (K_u) y seguridad (θ_u) de ubicación. El sistema considera que recibe un largo conjunto de consultas de usuarios, los cuales se agrupan en una cola de espera denominada como U , finalmente, para cada usuario que exista en U , se le asignara una región de encubrimiento, denominada como CR_u , la cual satisface sus requisitos de privacidad y seguridad de ubicación.

0	0	0	0	0	0,016	0,016	0,016
0	0	0	0	0	0,016	0,016	0,031
0	0	0	0,016	0,016	0,016	0,031	0,031
0	0	0	0,016	0,016	0,016	0,031	0,031
0	0	0	0,016	0,016	0,031	0,031	0,047
0	0	0	0,016	0,016	0,031	0,031	0,047
0	0	0,016	0,016	0,016	0,031	0,047	0,047
0	0,016	0,016	0,016	0,016	0,031	0,047	0,078

Figura 2: Espacio en donde se distribuyen los distintos usuarios de acuerdo a la probabilidad de cada celda.

En términos de privacidad, tal como se utiliza en [1], [4], se asegura que para cada usuario, su región de encubrimiento tendrá al menos K celdas, que maximice su entropía. Esto se logra cuando los usuarios envían su posición, el anonimizador mantiene un conteo de la frecuencia en que cada celda, basado en eso, se define la probabilidad de consulta como

$$q_i = \frac{\text{Número de consultas originadas desde la celda } i}{\text{Número de consultas desde el área entera}}$$

Donde $\sum_{i=1}^{n \times m} q_i = 1$, además la entropía para una CR esta denominada como

$$H(CR) = - \sum_{j=1}^K P_j \log_2(P_j)$$

Donde, P_j representa la probabilidad de solicitud normalizada de la celda c_j . Esta probabilidad es calculada como $P_j = \frac{q_j}{\sum_{l=1}^K q_l}$, así la mientras mejor es la entropía de una región de encubrimiento, es mejor la privacidad de ubicación.

En términos de seguridad de ubicación, tal como en [5] se define un nivel de seguridad de una región de encubrimiento como $SL(CR) = \frac{A(CR)}{N(CR)}$, donde $A(CR)$ es el área total de la región de encubrimiento, y $N(CR)$ es el número de usuarios que están dentro de $A(CR)$.

Así, para usuario que exige su seguridad de ubicación θ_u , su región de encubrimiento cumplirá con tal si

$$SL(CR) \geq \theta_u$$

3.2. Técnicas implementadas

En este punto se explicará detalladamente en qué consisten las dos técnicas que se implementaran en este proyecto, por lo tanto, antes se define la notación principal a utilizar en nuestras técnicas.

- C_N es el conjunto de todas las celdas existentes en el área total.
- CR se le llama a una región de encubrimiento.
- U es el conjunto de usuarios que requieren privacidad y seguridad de ubicación, así mismo se c_u a la celda en donde está la posición real del usuario, y CR_u como la región de encubrimiento de dicho usuario.
- K_u es la protección de privacidad de ubicación que un usuario exige.
- θ_u es la protección de seguridad física de ubicación que un usuario exige.
- $\#(CR)$ es el número de celdas de contiene una CR.
- $C(u, r)$ es un subconjunto de C_n , la cual contiene a r celdas vecinas tanto a la izquierda como a la derecha de C_u , dichas celdas previamente ordenadas respecto a su probabilidad de ubicación.
- La ocupancia de una celda c_i , es el número de usuarios ubicados en dicha celda.
- θ_{max} es el máximo requisito de ubicación que un usuario puede demandar.
- CR_t es la región de encubrimiento temporal.
- E_{max} es la entropía máxima.

A continuación, se desarrollan ambas técnicas, la primera llamada Bottom-up, primero encuentra la región de encubrimiento más pequeña que satisface el requisito de privacidad, teniendo esta evalúa si cumple con el requisito de seguridad de ubicación, y añade celdas hasta cumplir con eso. La segunda técnica llamada Top-down, a diferencia de la técnica anterior, primero parte con todas las celdas como región de encubrimiento, y va descartando celdas una a una intentando reducir lo más posible esta región, pero siempre evaluando que los requisitos de privacidad y seguridad de ubicación sean satisfechos.

3.2.1. Técnica Bottom-Up

Esta primera técnica está basada en dos algoritmos, a los cuales les llamaremos algoritmo 1 y algoritmo 2. El objetivo del primer algoritmo es construir una región de encubrimiento candidata, que cumple con el requisito de privacidad demandada por un usuario, para lograr esto el algoritmo encuentra un conjunto candidato de celdas de tamaño $2K_u$ con la máxima entropía (línea 4-6), finalmente (línea 8), se construye un nuevo conjunto de tamaño K_u , escogidas desde el conjunto de tamaño $2K_u$, y seleccionadas de forma aleatoria en base a probabilidad inversamente proporcional a la ocupancia de sus celdas, priorizando a los celdas que tengan menos usuarios.

3.2.1.1. Algoritmo 1: Construyendo una región de encubrimiento para un usuario u

Datos de entrada: Usuario u , m

Resultado: Una región de encubrimiento CR_u que satisface K_u

1. $i \leftarrow 0$,
2. $C_{max} \leftarrow \emptyset$;
3. *for* $i < m$
4. $C \leftarrow 2K_u$ celdas con igual probabilidad desde C_N ;
5. $C_{max} \leftarrow C$ con la mayor entropía;
6. $i++$;
7. *end*
8. $CR_u \leftarrow$ seleccionar K_u celdas desde C_{max} con probabilidad $\frac{1}{\text{ocupancia de la celda}}$;
9. Retornar CR_u ;

El algoritmo 2 es el más importante de la técnica, cuya finalidad es entregar las regiones de encubrimiento para todos los usuarios en U . La idea es construir la primera región de encubrimiento para el usuario que requiera mayor privacidad de ubicación u_l y es revisado si necesita ser extendido para satisfacer la seguridad de ubicación.

Específicamente, el algoritmo 2 primero escoge al usuario l , que tiene el máximo requisito de privacidad de ubicación (K_l , línea 1), luego se llama al algoritmo 1 con el usuario previamente escogido para encontrar su región de encubrimiento (CR_l) de tamaño K_l , posteriormente se verifica el nivel de seguridad de esta región con el requisito de seguridad del usuario (θ_l , línea 4), si esta cumple, se asigna esta región al usuario l y a todos los usuarios que estén dentro de CR_l y que cumplan con los mismo requisitos de privacidad y seguridad de ubicación (línea 5 - 6), así, se remueven de U a todos los usuarios que se le asignaron su CR (línea 7), en cambio, si el nivel de seguridad no cumple, se escoge una celda de forma aleatoria desde C_N que no este CR_l , con probabilidad de ser escogida inversamente a su ocupancia (línea 10), posteriormente esta celda es añadida al CR_l (línea 11), para volver a evaluar su nivel de seguridad, y así realizar estos pasos hasta que U este vacía, o que $CR_l=C_N$ (línea 12).

3.2.1.2. Algoritmo 2: Algoritmo de encubrimiento de usuarios por lotes “Bottom-up”

Datos de entrada: Conjunto U

Resultado: Un conjunto de regiones de encubrimiento para cada usuario u en U que satisface sus respectivos K_u y θ_u

1. $l \leftarrow$ se escoge al usuario con mayor K_l , en el caso de haber más de uno se escoge al de mayor θ_l ;

2. $CR_l \leftarrow$ se llama al algoritmo 1 (l);
3. *Repetir*
4. *If* $SL(CR_l) \geq \theta_l$ *entonces*
5. *for* todos los usuarios u localizados en CR_l
6. $CR_u \leftarrow CR_l$ si $K_l - \Delta \leq K_u \leq K_l$ y $\theta_u \leq \theta_l$;
7. Remove u desde U solo si CR_u es igual a CR_l ;
8. *end*
9. *end*
10. $c \leftarrow$ desde $C_N - CR_l$ con probabilidad $\frac{1}{\text{ocupancia de la celda}}$;
11. $CR_u \leftarrow CR_u \cup \{c\}$;
12. *Hasta* que $U = \emptyset$ o que $CR_l = C_N$;

3.2.2. Técnica Top-down

Esta segunda técnica está basada solamente en el algoritmo 3, el objetivo de este algoritmo es construir es regiones de encubrimiento para todos los usuarios en U . Se define a C_N como la región de encubrimiento correspondiente a toda el área (línea 1), se elige desde U al usuario l con mayor requisito de seguridad θ_l (línea 4) y se le asigna como su CR_l a C_N (línea 5). Luego se intenta reducir el tamaño de CR_l mientras el tamaño de esta ($\#(CR)$) sea mayor o igual a K_l (líneas 6-21). Para reducir CR_l , se escoge una celda desde CR_l con probabilidad en base a su ocupancia (línea 10), y se calcula el nivel de seguridad del $CR_l - \{c\}$ (línea 11), si esto se cumple, se calcula la entropía de $CR_l - \{c\}$ y después de realizar las m iteraciones (línea 9), guardamos en CR_t el conjunto $CR_l - \{c\}$ que contenga la mejor

entropía (E_{max} , línea 13-14). Posterior a las iteraciones, si la E_{max} es distinta a 0, se asigna a CR_t como CR_l (línea 18-19). El conjunto CR_l se le asigna al usuario l y a todos los demás usuarios que estén dentro del conjunto y que cumplan con los requisitos (línea 22), y se eliminan de U a todos los usuarios que tiene su CR asignada (línea 23). Se realiza estos pasos hasta que U este vacía (línea 24).

3.2.2.1. Algoritmo 3: Algoritmo de encubrimiento de usuarios por lotes “Top-down”

Datos de entrada: Conjunto U

Resultado: Un conjunto de regiones de encubrimiento para cada usuario u en U que satisface sus respectivos K_u y θ_u

1. $C_N \leftarrow$ todas las celdas existentes en el área total;
2. *If* $SL(C_N) \geq \theta_{max}$ *entonces*
3. *repetir*
4. $l \leftarrow$ se escoge al usuario con mayor θ_l , en el caso de haber más de uno se escoge al de mayor K_l ;
5. $CR_l \leftarrow C_N$;
6. *repetir*
7. $E_{max} \leftarrow 0$;
8. $i \leftarrow 0$;

9. *for* $i < m$
10. $c \leftarrow$ desde CR_l con probabilidad en base a la ocupancia de las celdas;
11. *If* $SL(CR_l - \{C\}) > \theta_l$ *entonces*
12. *If* $E(CR_l - \{C\}) > E_{max}$ *entonces*
13. $E_{max} \leftarrow E(CR_l - \{c\})$;
14. $CR_t \leftarrow CR_l - \{c\}$;
15. *end*
16. *end*
17. *end*
18. *If* $E_{max} \neq 0$ *entonces*
19. $CR_l \leftarrow CR_t$;
20. *end*
21. *Hasta* que $(\#(CR) = K_l)$ o $(E_{max} = 0)$;
22. Conjunto CR_l para usuario l y todos los usuarios en CR_l que tengan
 $K_l - \Delta \leq K_u \leq K_l$ y $\theta_u \leq \theta_l$;
23. *Remove* u desde U solo si CR_u es igual a CR_l
24. *Hasta* que $U = \emptyset$;
25. *End*

4. Especificaciones de requerimientos de software

4.1. Alcances

La aplicación a desarrollar permitirá la simulación de las técnicas de construcción de regiones de encubrimiento, cuyos resultados se utilizarán para el análisis y comparación de estas.

La aplicación permite:

- Generar dinámicamente el área en donde se realizarán las simulaciones.
- Simular las técnicas de construcción de regiones de encubrimiento con los parámetros previamente asignados.
- Modificar gráficamente los parámetros para las simulaciones de las técnicas.
- Visualizar a todos los usuarios de la simulación realizada.
- Entregar los resultados de las métricas dentro del simulador.
- Almacenar los resultados de las métricas de las simulaciones realizadas en un archivo de texto.

La aplicación no permite:

- Utilizar mapas reales.
- Asignar manualmente la ubicación de los usuarios.
- Utilizar el mismo mapa más de una vez.
- Realizar las simulaciones si no se cumplen las condiciones para ejecutar las técnicas.
- Comparar los resultados de las distintas simulaciones.

4.2. Objetivos del software

4.2.1. Objetivo general

Comparar técnicas de construcción de regiones de encubrimiento para usuarios móviles.

4.2.2. Objetivos específicos

- Construir un mapa en donde se ubiquen los usuarios de forma dinámica basada en los parámetros previamente asignados.
- Modificar los parámetros de la aplicación.
- Asignar la ubicación de los usuarios en base a la probabilidad de las celdas del mapa previamente creado.
- Visualizar a todos los usuarios gráficamente en el mapa.
- Entregar los resultados de las métricas al finalizar la simulación.
- Guardar los resultados de las simulaciones en un archivo de texto.

4.3. Requisitos mínimos del software

Se indicarán las condiciones mínimas de software para poder ejecutar correctamente la aplicación.

4.3.1. Requisitos de sistema operativo

La aplicación fue desarrollada en el lenguaje de programación Java, por lo tanto, puede ejecutarse correctamente en los siguientes sistemas operativos:

- Linux (en todas las distribuciones recientes).
- Windows (7 y posteriores).
- Solaris 10 y posteriores.
- MacOS X 10.8.3 y posteriores.

4.3.2. Requisitos de software

Para utilizar la aplicación, el equipo debe contar con el JRE (máquina virtual de Java, cuya función es hacer de intermediario entre una aplicación programada en Java y el sistema operativo, para que la aplicación sea ejecutada) instalado.

4.3.3. Requisitos de hardware

Para ejecutar la aplicación solamente se necesita un computador que sea compatible con cualquier sistema operativo previamente detallados en el punto 4.3.1, ya que esta aplicación es lo suficientemente liviana para poder ser ejecutada en cualquier equipo.

4.4. Descripción global del producto

4.4.1. Interface de hardware

La aplicación solamente utiliza las interfaces de hardware normales, ya sea un teclado, un mouse y una pantalla.

4.4.2. Interface de software

La aplicación utiliza JRE, el cual es una máquina virtual que cumple como intermediario entre el sistema operativo y la aplicación desarrollada en lenguaje Java, para que esta última pueda ser ejecutada.

4.4.3. Interface de comunicación

La aplicación al ser un simulador, no se comunica con ningún otro dispositivo.

4.5. Requerimientos específicos

4.5.1. Requerimientos funcionales del sistema

Nombre	Descripción
Ejecutar simulación	La aplicación simulara con los parámetros previamente asignados.
Modificar parámetros	La aplicación permite al usuario modificar los parámetros ya establecidos.
Visualizar usuarios y regiones de encubrimiento.	La aplicación permite visualizar a todos los usuarios y sus respectivas regiones de encubrimiento en el mapa.
Entregar datos	La aplicación muestra en pantalla los resultados de las métricas de la simulación.

Tabla 1: *Requerimientos funcionales del sistema.*

4.5.2. Interfaces externas de entrada

Nombre	Descripción
Ancho del lienzo	Corresponde al número de celdas ubicadas horizontalmente.
Altura del lienzo	Corresponde al número de celdas ubicadas verticalmente.
Número de Usuarios	Corresponde al número de usuarios que solicitan regiones de encubrimiento con requisitos de privacidad y seguridad de ubicación.
Valor K mínimo	El valor K corresponde al mínimo de usuarios que han estado en algún momento en la región de encubrimiento, dicho valor se utiliza para medir la privacidad de ubicación.
Valor K máximo	El valor K corresponde al máximo de usuarios que han estado en algún momento

	<p>en la región de encubrimiento, dicho valor se utiliza para medir la privacidad de ubicación.</p>
<p>Valor de M</p>	<p>El valor M corresponde al número de iteraciones que realizan las técnicas en algunos de sus pasos para generar las regiones de encubrimiento.</p>
<p>Valor θ mínimo</p>	<p>Es el valor mínimo que puede tomar θ, el cual corresponde la relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, dicho valor se utiliza para medir la seguridad de ubicación.</p>
<p>Valor θ máximo</p>	<p>Es el valor máximo que puede tomar θ, el cual corresponde la relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, dicho valor se utiliza para medir la seguridad de ubicación.</p>

Tamaño de las celdas	Corresponde al tamaño en metros que se le asigna a cada celda.
Distribución	Corresponde a la distribución de los usuarios dentro de las celdas, basados en la probabilidad de que un usuario este ahí. La suma de todas las probabilidades de las celdas es igual a 1.
Técnica a Utilizar	Corresponde a que técnica se utilizará para realizar las simulaciones.
Mostrar	Indica que usuarios se representaran gráficamente en el simulador.
# de Usuario a mostrar	Se ingresa el número de usuario a mostrar, Siempre y cuando la opción del parámetro Mostrar sea igual a “Usuario a Mostrar”.
Probabilidad	Muestra las celdas del simulador pintadas con un tono celeste, cada una de estas con

	un tono correspondiente al valor de su probabilidad.
Usuarios	Muestra las celdas del simulador pintadas con un tono amarillo, cada una de estas con un tono correspondiente al número de usuarios.

Tabla 2: Interfaces externas de entrada.

5. Análisis y diseño del ambiente de simulación

5.1. Especificación de hardware y software

En este punto se detallará el hardware y software que fue utilizado para desarrollar la aplicación.

5.1.1. Especificaciones de hardware

Los hardware utilizados corresponden a dos equipos portátiles con diferentes especificaciones, las cuales se detallarán a continuación.

- i. Laptop Sony Vaio SVE14125CLB, procesador Intel Core i5-3210M (2.5GHz), disco duro HDD 500 GB y 4GB de RAM.
- ii. Laptop Lenovo IdeaPad 320-14IKBN, procesador Intel Core i7 7500U (2.7 GHz), disco duro HDD 1 TB y 4GB de RAM.

Estos equipos cuentan con Windows 10 como su sistema operativo.

5.1.2. Especificaciones de software

El software utilizado para el desarrollo de la aplicación es:

- IDE utilizado para el desarrollo: NetBeans en su versión 8.2
- Lenguaje de programación: JAVA 1.8

5.2. Aplicación desarrollada

Se desarrollo una aplicación en lenguaje Java, que tiene por finalidad el ejecutar las diferentes técnicas, asignando a estos determinados parámetros, y cuyos resultados son necesarios evaluar las métricas. A continuación, se detallan los métodos principales y los parámetros, los cuales son fundamentales para el funcionamiento de la aplicación, además de explicar la forma correcta para hacer uso de la aplicación.

5.2.1. Parámetros de entrada de la aplicación

En la tabla 3, se presentan los parámetros de entrada que el usuario puede modificar en la aplicación para realizar las simulaciones requeridas, estas estarán detalladas por su nombre, tipo de entrada, valores que pueden ingresar (marcado con un “*” el valor que esta por defecto), y una breve descripción de este.

Nombre	Tipo de entrada	Valores	Descripción
Ancho del lienzo	Barra de desplazamiento	4, 8, 12*, 16, 29, 24.	Corresponde al número de celdas ubicadas horizontalmente.

Altura del lienzo	Barra de desplazamiento	4, 8, 12*, 16, 29, 24.	Corresponde al número de celdas ubicadas verticalmente.
Número de Usuarios	Barra de desplazamiento	100, 325, 550*, 775, 1000, 1225, 1450.	Corresponde al número de usuarios que solicitan regiones de encubrimiento con requisitos de privacidad y seguridad de ubicación.
Valor K mínimo	Barra de desplazamiento	2, 4, 6*, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.	El valor K corresponde al mínimo de usuarios que han estado en algún momento en la región de encubrimiento, dicho valor se utiliza para medir la privacidad de ubicación.
Valor K máximo	Barra de desplazamiento	2, 4, 6*, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.	El valor K corresponde al máximo de usuarios que han estado en algún momento en la región de encubrimiento, dicho valor se utiliza para medir la privacidad de ubicación.

Valor de M	Barra de desplazamiento	1, 2, 3, 4, 5*, 6, 7, 8, 9, 10.	El valor M corresponde al número de iteraciones que realizan las técnicas en algunos de sus pasos para generar las regiones de encubrimiento.
Valor θ mínimo	Barra de desplazamiento	1, 11*, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101.	Es el valor mínimo que puede tomar θ , el cual corresponde la relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, dicho valor se utiliza para medir la seguridad de ubicación.
Valor θ máximo	Barra de desplazamiento	1, 11*, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91, 101.	Es el valor máximo que puede tomar θ , el cual corresponde la relación entre el área y la cantidad de usuarios dentro de ella, dicho valor se utiliza para medir la seguridad de ubicación.

Tamaño de las celdas	Barra de desplazamiento	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10*, 11, 12, 13, 14, 15.	Corresponde al tamaño en metros que se le asigna a cada celda.
Distribución	Cuadro de lista	Uniforme*, Lineal, Radial, Azar.	Corresponde a la distribución de los usuarios dentro de las celdas, basados en la probabilidad de que un usuario este ahí. La suma de todas las probabilidades de las celdas es igual a 1.
Técnica a Utilizar	Cuadro de lista	Bottom-Up*, Top-Down.	Corresponde a que técnica se utilizará para realizar las simulaciones.
Mostrar	Cuadro de lista	Todos los Usuarios *, Todos los Usuarios & K, Usuario a Mostrar.	Indica que usuarios se representaran gráficamente en el simulador.

# de Usuario a mostrar	Texto plano	Solo números ingresados desde teclado	Se ingresa el número de usuario a mostrar, Siempre y cuando la opción del parámetro Mostrar sea igual a “Usuario a Mostrar”.
Probabilidad	Cuadro de verificación	Activado*, desactivado	Muestra las celdas del simulador pintadas con un tono celeste, cada una de estas con un tono correspondiente al valor de su probabilidad.
Usuarios	Cuadro de verificación	Activado*, desactivado	Muestra las celdas del simulador pintadas con un tono amarillo, cada una de estas con un tono correspondiente al número de usuarios.

Tabla 3: Parámetros de entrada de la aplicación.

5.2.2. Métodos de la aplicación:

En la tabla 4 se presentan los principales métodos que realiza la aplicación para poder simular las distintas técnicas en las pruebas a realizar. Estas estarán detalladas por el nombre de la clase en donde están declaradas, su nombre, parámetros de entrada, y una breve descripción de esta.

Clase	Métodos	Parámetros de entrada	Descripción
Main	public static void crearFecha()	-	Captura la hora y fecha actual, la cual se utilizará para nombrar el archivo con los resultados.
Main	public static boolean validarConstantes()	-	Valida que los parámetros ingresados cumplan con los requisitos de las técnicas a evaluar.
Laberinto	private void crearUsuarios()	-	Crea todos los usuarios necesarios.
Laberinto	private void valoresUReal()	-	Asigna los valores pertenecientes a un usuario.

Laberinto	private void usuarioCasilla()	-	Ingresa los usuarios a su determinada celda, correspondiente a su posición.
Laberinto	private void asignarTecnica()	-	Asigna la técnica que se ejecutara.
Laberinto	public void mostrarUsuariosPanel()	-	Repinta las celdas dependiendo de los usuarios que se necesiten mostrar.
Tecnicas	public void tecnicaBottomUp()	-	Método principal para la ejecución de la técnica Bottom-up, se realiza hasta que todos los usuarios tengan su región de encubrimiento asignada.
Tecnicas	public void escogerUsuMayor()	-	Escoge al usuario con mayor valor K, si existe más de uno, se escoge al de mayor valor θ .
Tecnicas	public ArrayList<K> AlgoritmoA()	-	Método que encuentra la región de encubrimiento del usuario con mayor valor K.

Tecnicas	public K[][] cargarDatosMatriz()	K[][] nCj, int porK	Se capturan las probabilidades existentes en las celdas.
Tecnicas	private void ordenarCoords()	-	Se ordenan las celdas respecto a su valor de probabilidad.
Tecnicas	private void crearEscogidos()	int porK	Se escogen las celdas candidatas a ser parte de la región de encubrimiento.
Tecnicas	public K[][] construirCj()	K coords[], K nCj[], int posF, int k, int porK	se escogen la mitad de las celdas candidatas de forma aleatoria.
Tecnicas	public K[][] creandoPj()	K[][] Pj, K[][] CjC, int m, int k, int porK	El valor de cada celda escogida, se divide por la sumatoria de estas mismas.
Tecnicas	public double[] entropia()	double[] H, K[][] Pj, int	Se calcula la entropía de todos los conjuntos de celdas candidatas.

		m, int k, int porK	
Tecnicas	public double resultadosDLS()	double[] H	Se escoge al conjunto de datos que tenga mejor entropía.
Tecnicas	public void construyendoConjunto C03()	-	Se escoge k-1 celdas candidatas del conjunto de datos con mayor entropía, en base a la probabilidad 1/ocupancia.
Tecnicas	public void AlgoritmoB()	-	Con el valor del factor de seguridad, se pregunta si este es mayor al valor θ del usuario, para asignar el conjunto de celdas como región de encubrimiento.
Tecnicas	public void SFcu()	-	Se calculan el valor del factor de seguridad de las celdas que corresponde a la región de encubrimiento.

Tecnicas	public void asignarREusu()	-	Se asigna el conjunto de celdas al usuario con mayor K, que cumple el requisito de factor de seguridad.
Tecnicas	public void preguntarUsus()	-	Se asigna el mismo conjunto de celdas a los demás usuarios que cumplan con los requisitos.
Tecnicas	public void EliminarUsus()	-	Se eliminan los usuarios que ya tienen su región de encubrimiento lista.
Tecnicas	crearconjCn()	-	Si ocurre el caso que el factor de seguridad no cumple, se crea un nuevo conjunto de celdas con todas las celdas existentes que no pertenezcan al conjunto anterior.
Tecnicas	public void agregarCenResultado()	-	Se agrega la nueva celda al conjunto de celdas principal, para volver a calcular su factor de seguridad

Tecnicas	public void tecnicaTopDown()	-	Método principal de la técnica Top-Down, que se realiza hasta que todos los usuarios tengan su región de encubrimiento asignada.
Tecnicas	public void establecerCn()		Se establece a todas las celdas como el conjunto de celdas candidato.
Tecnicas	public void escogerUsu θ Mayor()	-	Escoge al usuario con mayor valor θ , si existe más de uno, se escoge al de mayor valor K.
Tecnicas	public void establecerCuMayor()	-	Asigna un nuevo conjunto que contenga a todas las celdas.
Tecnicas	public void escogerCeldadesdeCu()	-	Nuevo conjunto temporal de celdas, con una celda menos respecto al anterior conjunto, y escogida en base a su ocupancia.

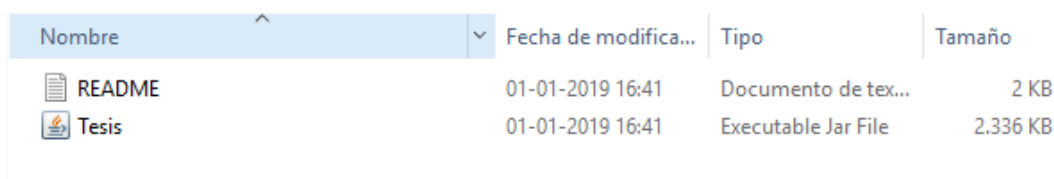
Metricas	private void promedioRE()	-	Calcula el promedio del tamaño de las regiones de encubrimiento de los usuarios
Metricas	private void desviacionEstandar()	-	Calcula la desviación estándar con respecto al promedio de los usuarios.
Metricas	private void promerioREK()	-	Calcula el promedio entre el tamaño de las regiones de encubrimiento /valor K de los usuarios
Metricas	private void Entropia()	-	Calcula el promedio de la entropía de los usuarios.
Metricas	private void tiempoEjecucion()	-	Calcula el tiempo de ejecución en que se realizó el cálculo de la técnica.
Metricas	private void escribirMetricas()	-	Escribe los valores de las métricas en un archivo de texto.

Celda	public void addUsu()	Usuario usu	Añade al usuario en la celda.
Celda	public int numTotalUsu()	.	Retorna cantidad total de usuarios existentes en la celda.

Tabla 4: Métodos principales de la aplicación.

5.2.3. Uso de la aplicación

Este proyecto al ser desarrollado en lenguaje JAVA, se logra ejecutar gracias al archivo “Tesis.jar”, el cual se encuentra dentro de la carpeta “/dist” del proyecto, tal como se observa en la Figura 3.



Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
README	01-01-2019 16:41	Documento de tex...	2 KB
Tesis	01-01-2019 16:41	Executable Jar File	2.336 KB

Figura 3: Ubicación de la aplicación.

La ventaja de este archivo es que se puede ejecutar directamente, sin necesidad de abrir un programa antes, como el utilizar un IDE (entorno de programación que sirve como editor de código, compilador, depurador y constructor de interfaz gráfica) para poder compilar este.

El único requisito para poder utilizar esta aplicación, es que el equipo en que se ejecute cuente con el JRE (máquina virtual de Java, cuya función es hacer de intermediario entre una aplicación programada en Java y el sistema operativo, para que la aplicación sea ejecutada) instalado.

Al ejecutar la aplicación, tal como se ve en la figura 3, en la sección izquierda de esta contamos con una sección en donde se puede escoger que técnica se ejecutara, cambiar los parámetros con los cuales se pueden realizar las distintas pruebas para evaluar estas, además de permitir escoger que usuario se pueden visualizar. En el sector derecho de la aplicación, permite visualizar representativamente las regiones de encubrimiento construidas, a su vez también aparecen las métricas correspondientes a los resultados de cada una de las pruebas y al lado de ese panel, el botón “Aceptar”, con el cual se pone en marcha la aplicación.

Algoritmo de Batch para construir RE con criterios de PU y SU Probabilidad Usuarios Salir

Ancho del Lienzo	<input type="range" value="12"/>	4 8 12 16 20 24 28
Altura del Lienzo	<input type="range" value="12"/>	4 8 12 16 20 24 28
Número de Usuarios	<input type="range" value="1000"/>	550 775 1000 1225 1450
Valor K mínimo	<input type="range" value="8"/>	2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
Valor K máximo	<input type="range" value="8"/>	2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
Valor de M	<input type="range" value="5"/>	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Valor θ mínimo	<input type="range" value="11"/>	1 11 21 31 41 51 61 71 81 91 101
Valor θ máximo	<input type="range" value="11"/>	1 11 21 31 41 51 61 71 81 91 101
Tamaño mts de las celdas	<input type="range" value="10"/>	3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Distribución	Uniforme <input type="button" value="v"/>	
Técnica a Utilizar	Bottom-Up <input type="button" value="v"/>	
Mostrar	Todos los Usuarios <input type="button" value="v"/>	
# de Usuario a mostrar	<input type="text"/>	<input type="button" value="Mostrar"/>

Aceptar

Figura 4: Diseño de la aplicación.

Finalmente, estos resultados se guardan en un archivo “.txt”, ubicado en el mismo directorio de la aplicación “/dist” (Figura 3), y los cuales se guardan con nombre correspondiente a la fecha y hora en la cual se realizaron las pruebas.

5.3. Casos de uso

5.3.1. Actores

Usuario:

El usuario es la persona que utilizará el software desarrollado, el cual puede simular las técnicas con los parámetros preestablecidos por la misma, o bien modificar los parámetros de este para obtener diferentes resultados.

Este usuario no requiere de preparación previa para ejecutar el simulador, ya que los parámetros a modificar están dentro de un rango establecido, por lo tanto, este solo necesita mover escoger el valor que requiera para la simulación.

5.3.2. Casos de uso y descripción

El usuario tiene control absoluto de la aplicación, permitiéndole ejecutar este directamente, o a su vez modificar los parámetros para ejecutar la técnica a simular.

Además, el sistema no cuenta con un sistema de entrada por contraseña, por lo que el usuario puede acceder a todas las funcionalidades del simulador desde el principio.

5.3.2.1. Diagrama de casos de uso

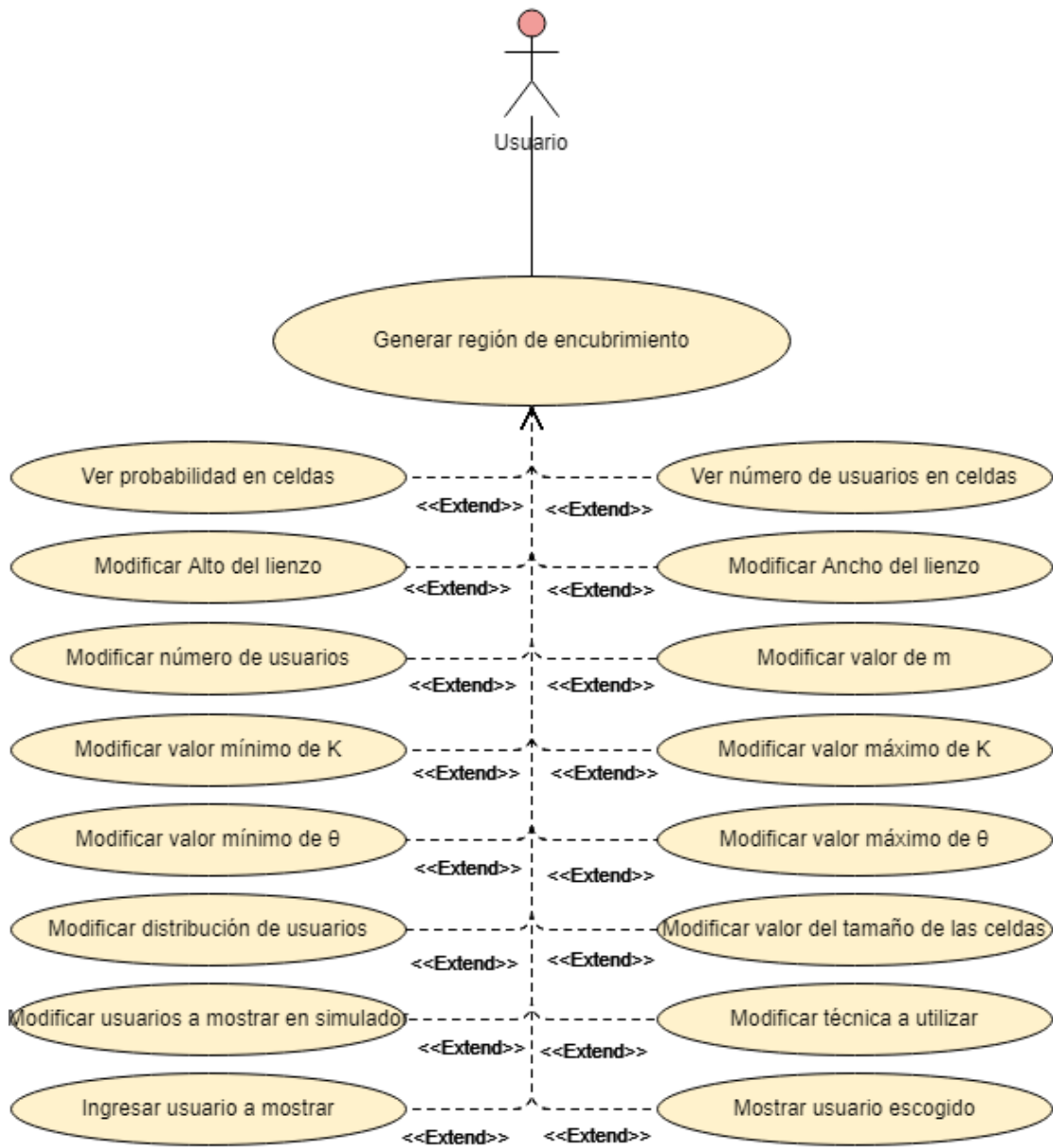


Figura 5: Diagrama de casos de usos.

5.3.2.2. Casos de uso y descripción

5.3.2.2.1. Caso de uso: Modificar ancho del lienzo

Descripción:

Se modifica el ancho del lienzo en donde estarán ubicados los usuarios.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor del ancho del lienzo.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor del ancho del lienzo.	2.- Se reestablece el valor del ancho del lienzo.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el ancho del lienzo con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.2. Caso de uso: Modificar alto del lienzo

Descripción:

Se modifica el alto del lienzo en donde estarán ubicados los usuarios.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor del alto del lienzo.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor del alto del lienzo.	2.- Se reestablece el valor del alto del lienzo.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el alto del lienzo con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.3. Caso de uso: Modificar número de usuarios

Descripción:

Se modifica el número de usuarios que se utilizarán para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el número de usuarios.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el número se usuarios.	2.- Se reestablece el número de usuarios.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el número de usuarios con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.4. Caso de uso: Modificar valor de m

Descripción:

Se modifica el valor de m que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor de m.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor de m.	2.- Se reestablece el valor de m.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor de m con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.5. Caso de uso: Modificar valor de mínimo de K

Descripción:

Se modifica el valor de mínimo de K que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor mínimo de K.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor mínimo de K.	2.- Se reestablece el valor mínimo de K.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor mínimo de K con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.6. Caso de uso: Modificar valor de máximo de K

Descripción:

Se modifica el valor de máximo de K que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor máximo de K.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor máximo de K.	2.- Se reestablece el valor máximo de K.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor máximo de K con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.7. Caso de uso: Modificar valor de mínimo de θ

Descripción:

Se modifica el valor de mínimo de θ que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor mínimo de θ .

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor mínimo de θ .	2.- Se reestablece el valor mínimo de θ .

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor mínimo de θ con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.8. Caso de uso: Modificar valor de máximo de θ

Descripción:

Se modifica el valor de máximo de θ que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor máximo de θ .

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor máximo de θ .	2.- Se reestablece el valor máximo de θ .

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor máximo de θ con el cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.9. Caso de uso: Modificar distribución de usuarios

Descripción:

Se modifica la distribución que tendrán los usuarios dentro de las celdas que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar la distribución de los usuarios.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica la distribución de los usuarios.	2.- Se reestablece la distribución de los usuarios.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema

Post condiciones:

Se establece la distribución de los usuarios con la cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.10. Caso de uso: Modificar valor del tamaño de las celdas

Descripción:

Se modifica el valor del tamaño de las celdas que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar el valor del tamaño de las celdas.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica el valor del tamaño de las celdas.	2.- Se reestablece el valor del tamaño de las celdas.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Se informa que el valor asignado no es correcto, ya que no cumple con los requisitos de la técnica escogida.

Post condiciones:

Se establece el valor del tamaño de las celdas con la cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.11. Caso de uso: Modificar técnica a utilizar

Descripción:

Se modifica la técnica que se utilizará para realizar las simulaciones.

Pre condiciones:

El usuario puede modificar la técnica a utilizar.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica la técnica a utilizar.	2.- Se reestablece la técnica a utilizar.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema

Post condiciones:

Se establece la técnica a utilizar con la cual se realizará la simulación.

5.3.2.2.12. Caso de uso: Modificar usuarios a mostrar en simulador

Descripción:

Se modifica los usuarios que pueden mostrar en las celdas del simulador.

Pre condiciones:

El usuario puede escoger entre ver a todos usuarios o alguno en específico para ver en el simulador.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario modifica que usuarios muestra en el simulador.	2.- Se reestablece los usuarios que se mostrarán en el simulador.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema

Post condiciones:

Se establece los usuarios a mostrar en el simulador.

5.3.2.2.13. Caso de uso: Ingresar usuario a mostrar

Descripción:

Se ingresa el número de usuario a mostrar en las celdas del simulador.

Pre condiciones:

El usuario debe haber escogido la opción de “Usuario a Mostrar” en la opción “Mostrar” del simulador.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario ingresa el número del usuario a mostrar en el simulador.	2.- Se reestablece el número del usuario que se mostrará en el simulador.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario ingresa un número mayor del número de usuarios.	2.- Se reemplaza el valor ingresado del usuario por el último usuario de la simulación.

Post condiciones:

Se establece el número del usuario en específico a mostrar en el simulador.

5.3.2.2.14. Caso de uso: Mostrar usuario escogido

Descripción:

Se actualizan las celdas del simulador mostrando solamente al usuario escogido.

Pre condiciones:

El usuario debe haber escogido la opción de “Usuario a Mostrar” en la opción “Mostrar” del simulador, además de ingresar el número del usuario en específico para ver en el simulador.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario presiona el botón mostrar	2.- Se muestra en el simulador el usuario en específico escogido.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	Si el usuario no ingresa un valor, se utiliza el que viene por defecto.

Post condiciones:

Se muestra en el simulador el usuario escogido.

5.3.2.2.15. Caso de uso: Ver probabilidad en celdas

Descripción:

Se actualizan las celdas del simulador pintando estas con un tono correspondiente al valor de probabilidad de cada celda.

Pre condiciones:

El usuario debe haber realizado la simulación, y presionar la casilla de verificación.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario activa la casilla de verificación.	2.- Se muestra en el simulador las celdas pintadas con respecto a su probabilidad.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- No se visualizan las celdas ni el tono de la probabilidad de estas si no existe una simulación.

Post condiciones:

Se muestra en el simulador las celdas pintadas con respecto a su probabilidad.

5.3.2.2.16. Caso de uso: Ver número de usuarios en celdas

Descripción:

Se actualizan las celdas del simulador pintando estas con un tono correspondiente al número de usuarios existentes de cada celda.

Pre condiciones:

El usuario debe haber realizado la simulación y presionar la casilla de verificación.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
1.- El usuario activa la casilla de verificación.	2.- Se muestra en el simulador las celdas pintadas con respecto al número de usuarios existentes en estas.

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- No se visualizan las celdas ni el tono de los usuarios existentes de estas si no existe una simulación.

Post condiciones:

Se muestra en el simulador las celdas pintadas con respecto al número de usuarios.

5.3.2.2.17. Caso de uso: Generar región de encubrimiento

Descripción:

Se genera la región de encubrimiento requerida para los usuarios.

Pre condiciones:

El usuario debe haber realizado la simulación.

Flujo de eventos básicos:

Usuario	Sistema
<p>1.- El usuario presiona el botón “Aceptar”.</p>	<p>2.- Se realiza la construcción de la región de encubrimiento para los usuarios que requieran protección.</p> <p>3.- Se muestra en el simulador los usuarios y sus regiones de encubrimientos generadas.</p>

Flujo de eventos alternativos:

Usuario	Sistema
	1.- Si alguno de los datos no se ingresó correctamente, no se realiza la simulación.

Post condiciones:

Se muestra en el simulador las regiones de encubrimiento generadas para los usuarios.

6. Experimentos

En esta sección, se comentan los resultados de las simulaciones realizadas en la aplicación. También, se presentan las métricas que fueron consideradas para analizar los resultados obtenidos en las pruebas, los cuales permitieron comparar las técnicas.

Posterior a la ejecución de las pruebas, con resultados obtenidos y representados en forma de gráficos, se analizaron las ventajas y desventajas de cada técnica.

6.1. Ejecución de técnicas de anonimato

Con la aplicación desarrollada, se ejecutaron distintas pruebas a las técnicas propuestas con distintos parámetros, para así obtener una variada gama de resultados.

Para las técnicas Bottom-Up y Top-Down, cada una se evaluaron en un mapa ficticio de distribución de usuarios en base a tres probabilidades de ubicación distintas (uniforme, lineal, radial), a su vez, para cada una de estas distribuciones se realizaron pruebas cambiando parámetros, ya sea número de usuarios, valor de privacidad K , valor de seguridad θ , valor de iteración m , tamaño de celdas, ancho y alto del lienzo.

Los resultados de las pruebas se muestran en forma de gráficos, lo que facilita la comprensión para el su posterior análisis. Para cada gráfico, el eje x representa los distintos valores que se le asignaron a los parámetros, en cambio el eje y representan los valores de la métrica evaluada.

A continuación, a modo de ejemplo se utilizarán para representación algunas de las gráficas de las métricas correspondientes a las pruebas realizadas. El resto de los gráficos de las pruebas realizadas son adjuntadas en la sección “Anexo 02: Gráficos de métricas”.

6.1.1. Gráficos de representación

El costo computacional evaluado con distintos números usuarios indicado en la figura 6 es mucho menor en la técnica Bottom-Up ya que esta técnica necesita menos iteraciones en sus métodos, en comparación a la técnica Top-Down, que posee mayores valores en sus iteraciones.

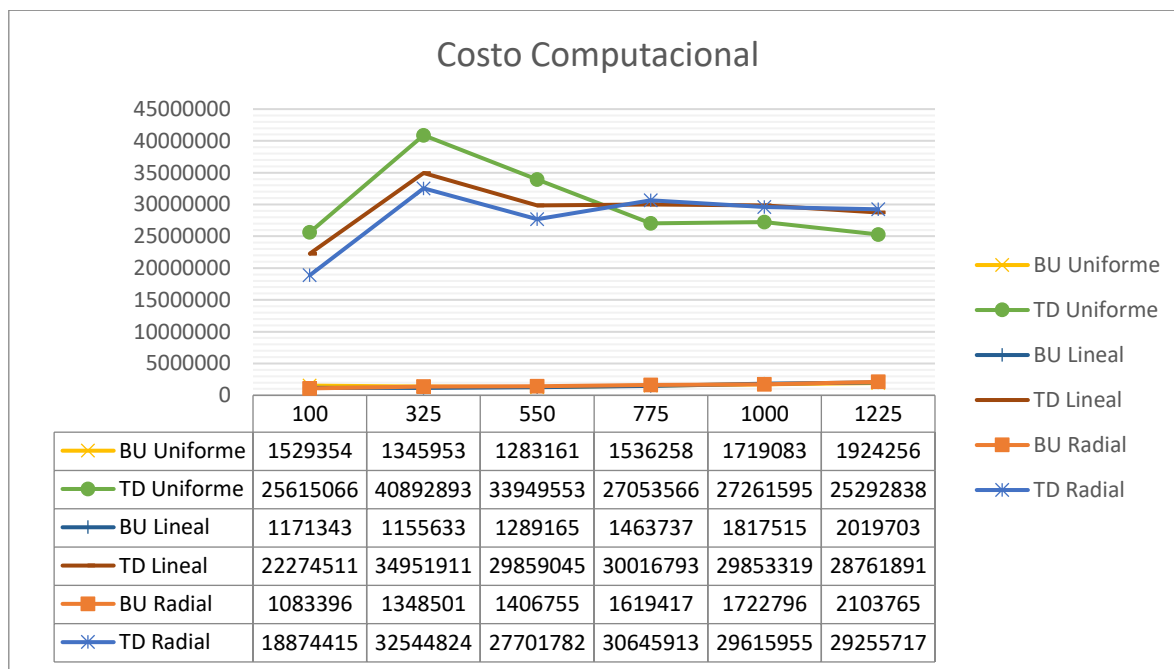


Figura 6: Gráfico de representación de costo computacional.

En la figura 7, se observa que el número de las regiones construidas en la técnica Bottom-Up es mucho menor en comparación a la técnica Top-Down.

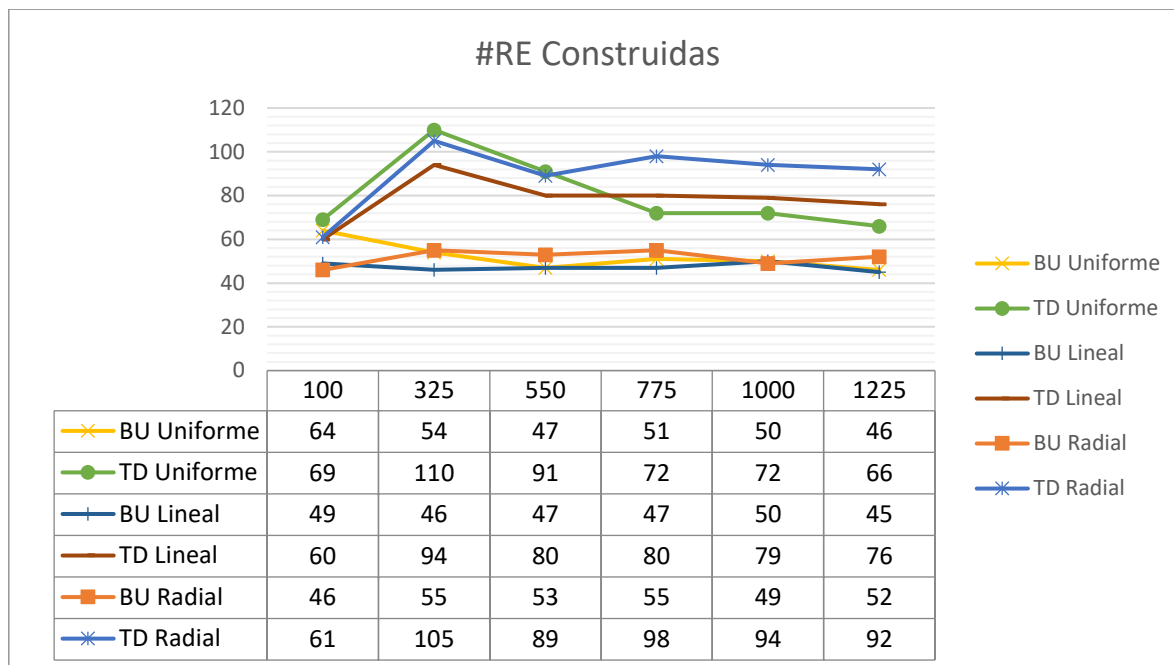


Figura 7: Gráfico de representación de número de regiones de encubrimiento construidas.

6.2. Comparaciones y conclusiones a partir de las métricas

Luego de realizar las diversas simulaciones, se analizan estos resultados con distintas métricas, para concluir los comportamientos de cada técnica, sometidas a diversos parámetros y ambientes, obteniendo así las diferencias y semejanzas entre estas técnicas.

A continuación, se evalúan los resultados de las técnicas Bottom-Up (BU) y Top-Down (TD) métrica por métrica, analizando cada uno de los resultados obtenidos.

6.2.1. Costo Computacional

Esta métrica evalúa el número de iteraciones realizadas durante las simulaciones de las técnicas, estos datos se pueden observar en la tabla 5, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, el costo computacional aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

En las simulaciones realizadas con distintos números de usuarios (figura 8), a pesar de la distribución escogida, el costo computacional es mayor en el caso de la técnica TD, pero en ambas técnicas los valores de las iteraciones se mantienen a pesar del número de usuarios.

Diferente es el caso en las pruebas cuando aumenta el valor K (figura 15), ya que, el costo computacional siempre disminuye, pero los valores de las iteraciones son mucho más altos en las pruebas de las técnicas TD.

En el caso de aumentar el valor θ relacionado con la seguridad de ubicación (figura 22), los valores de las iteraciones se mantienen en el caso de todas las pruebas de BU y del TD en el caso uniforme, en cambio para el TD lineal y TD radial, el costo computacional aumenta. Sigue la tendencia de que las técnicas TD tienen mayor valor en el costo computacional en comparación a las técnicas BU.

Al incrementar el valor de m (figura 29), para los casos de BU, el resultado tiende a mantenerse en las pruebas con distintos números de usuarios, en cambio para las pruebas

realizadas en TD, en todas las pruebas, las probabilidades aumentan. Se mantiene la tendencia de las técnicas TD son mayores a las BU.

Al cambiar el tamaño de las celdas (figura 36), los valores tanto como para BU y para TD se mantienen, pero con la diferencia que los valores de BU son mucho menores a los de TD. Las técnicas TD siguen teniendo mayor costo computacional en comparación a las BU.

Finalmente, al aumentar el número de celdas del lienzo (figura 43), en todas las pruebas aumenta el valor del costo computacional, pero en los casos de TD, este incremento es mucho mayor en comparación al incremento que sufre la técnica TD en sus tres distribuciones analizadas.

Costo Comp.	Usuarios	K	Θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
TD Unifor.	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Aumenta
BU Lineal	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
TD Lineal	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Aumenta
BU Radial	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta

TD Radial	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Aumenta
-----------	----------	-----------	---------	---------	----------	---------

Tabla 5: Análisis de las simulaciones en relación al costo computacional.

6.2.2. Número regiones de encubrimiento construidas

Esta métrica evalúa el número de regiones de encubrimiento construidas durante las simulaciones de las técnicas, estos datos se pueden observar en la tabla 6, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, el número de regiones de encubrimiento aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

En las simulaciones realizadas con distintos números de usuarios (figura 9), a pesar de la distribución escogida, el número de regiones de encubrimiento construidas es mayor en el caso de la técnica TD, pero en ambas técnicas los valores de las iteraciones se mantienen a pesar del número de usuarios.

Es el caso en las pruebas cuando aumenta el valor K (figura 16), ya que el número de regiones de encubrimiento disminuye en ambas técnicas, pero los valores en las técnicas TD son mucho más altas.

En el caso de aumentar el valor θ (figura 23), el número de regiones de encubrimiento construidas se mantienen en el caso de todas las pruebas BU, pero aumentan en TD. El número de regiones construidas en TD es mucho mayor a las construidas en BU.

Para el caso del valor m (figura 30), tanto en las técnicas BU como TD el número de regiones de encubrimiento construidas se mantienen, pero con valores más altos para las técnicas TD.

Al modificar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 37), todas las pruebas realizadas mantienen el número de regiones construidas, pero con valores más mayores en las técnicas TD.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 44), el número de regiones de encubrimiento aumentan en ambas técnicas, pero con valores mayores en TD.

#RE Constr.	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
TD Unifor.	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
BU Lineal	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
TD Lineal	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Aumenta
BU Radial	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Aumenta
TD Radial	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Aumenta

Tabla 6: Análisis de las simulaciones en relación al número de regiones de encubrimiento construidas.

6.2.3. Media

Esta métrica evalúa la media o promedio del número de regiones de encubrimiento construidas con el número de usuarios, estos datos se pueden observar en la tabla 7, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, la media aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

Aumentando el número de usuarios (figura 10), a pesar de la distribución escogida, la media es aumenta todos los casos de BU y en TD lineal, pero se mantienen en los de TD uniforme y TD radial. Los valores de BU son mayores a los de TD.

A medida que aumenta el valor K relacionado con la privacidad de ubicación (figura 17), en todas las técnicas los valores de la media aumentan.

En cambio, al aumentar los valores θ (figura 24), En los casos de BU los valores aumentan, pero en cambio para TD, los valores se mantienen.

Para el caso del valor m (figura 31), tanto para los casos de BU y TD los valores de la media se mantienen.

Al aumentar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 38), los valores se mantienen en TD y BU uniforme, con excepción del BU lineal y BU radial.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 45), en casi todas las los valores disminuyen en un principio, con excepción del TD uniforme que es el único que mantiene su valor inicial.

Media	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Disminuye
TD Unifor.	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
BU Lineal	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuye
TD Lineal	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Disminuye
BU Radial	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Disminuye
TD Radial	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Disminuye

Tabla 7: Análisis de las simulaciones en relación a la media.

6.2.4. Desviación estándar

Esta métrica evalúa la desviación estándar de la media o promedio del número de regiones de encubrimiento, estos datos se pueden observar en la tabla 8, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, la desviación estándar aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

Al aumentar el número de usuarios (figura 11), la desviación estándar aumenta en BU y TD lineal, con excepción del TD uniforme y TD radial, en donde solo se mantiene sus valores.

A medida que aumenta el valor K relacionado con la privacidad de ubicación (figura 18), solo se mantiene en las pruebas de BU uniforme y TD uniforme, en cambio en las otras los valores de la desviación estándar disminuyen.

En cambio, al aumentar los valores θ (figura 25), para todos los casos de BU la desviación estándar aumenta, en cambio para todos los casos de TD se mantienen.

Para el caso del valor m (figura 32), tanto en BU lineal como en TD lineal y TD radial, los valores de la desviación estándar disminuyen, en cambio para el resto de las pruebas realizadas, los valores se mantienen.

Al aumentar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 39), todas las pruebas realizadas la desviación estándar disminuye con valores que llegan a 0, con excepción del TD uniforme y TD radial, en los cuales siempre tuvieron valor 0.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 46), todos los valores de la desviación estándar disminuyen, con excepción del TD uniforme que es el único que se mantiene.

Desviación estándar	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Aumenta	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Disminuye
TD Unifor.	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
BU Lineal	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuye
TD Lineal	Aumenta	Disminuye	Mantiene	Disminuye	Disminuye	Disminuye
BU Radial	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Disminuye
TD Radial	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Disminuye

Tabla 8: Análisis de las simulaciones en relación a la desviación estándar.

6.2.5. (RE/K) promedio

Esta métrica evalúa la media o promedio del número de regiones de encubrimiento en K, estos datos se pueden observar en la tabla 9, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, el promedio de las regiones de encubrimiento en K aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

En el caso de aumentar el número de usuarios (figura 12), los valores en las técnicas BU uniforme, TD uniforme y TD radial se mantienen, pero en el resto aumenta.

A medida que aumenta el valor K (figura 19) relacionado con la privacidad de ubicación, en BU lineal los valores disminuyen, en el resto de las pruebas se mantienen.

En cambio, al aumentar los valores θ (figura 26), en todos los casos TD y en BU uniforme, los valores se mantienen, en cambio para el BU lineal y BU radial, estos valores aumentan.

Para el caso del valor m (figura 33), para todas las pruebas se mantienen, con excepción del TD lineal y TD radial que disminuyen hasta llegar a los valores de las demás pruebas.

Al modificar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 40), los valores de BU lineal y BU radial disminuyen, a diferencia del resto de las pruebas en donde los valores se mantienen.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 47), para el TD uniforme y el TD lineal los valores se mantienen, pero para todas las pruebas en BU y para TD radial, el promedio disminuye.

(RE/K) Promedio	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Disminuye
TD Unifor.	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
BU Lineal	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Disminuye
TD Lineal	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Mantiene
BU Radial	Aumenta	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Disminuye	Disminuye
TD Radial	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Disminuye

Tabla 9: Análisis de las simulaciones en relación al promedio de (RE/K).

6.2.6. Entropía promedio

Esta métrica evalúa el grado de perturbación que obtiene las regiones de encubrimiento creadas, estos datos se pueden observar en la tabla 10, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, la entropía promedio aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

Al aumentar el número de usuarios (figura 13), los valores de la entropía promedio aumenta en BU uniforme y BU radial, se mantiene en TD uniforme y BU lineal, y finalmente disminuye en TD lineal y TD radial. Estos valores son muy similares en ambas técnicas.

A medida que aumenta el valor K (figura 20), en todas las entropías promedio aumenta con valores similares en ambas técnicas.

En cambio, al aumentar los valores θ (figura 27), en todos los casos la entropía promedio se mantiene con valores muy similares.

Para el caso del valor m (figura 34), en los casos de TD lineal y TD radial la entropía promedio aumenta, en cambio para el resto de las pruebas la entropía promedio se mantiene. Los valores de la entropía en las técnicas BU y TD uniforme son muy similares, a diferencia de TD lineal y TD radial, que a medida que aumenta el valor de m, aumenta su entropía acercándose a los valores de las otras entropías.

Al aumentar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 41), todas las pruebas realizadas mantienen la entropía promedio.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 48), la entropía disminuye en BU uniforme, aumenta en TD lineal y radial, y para el resto de las pruebas la entropía se mantiene, con valores muy similares entre estos.

#RE Constr.	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Disminuye
TD Unifor.	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
BU Lineal	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
TD Lineal	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Aumenta
BU Radial	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
TD Radial	Disminuye	Aumenta	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Aumenta

Tabla 10: Análisis de las simulaciones en relación a la entropía promedio.

6.2.7. Tiempo de ejecución

Esta métrica evalúa tiempo en que se ejecutaron cada una de las pruebas realizadas (en milisegundos), estos datos se pueden observar en la tabla 11, la cual resume los resultados de las simulaciones, en donde se detalla si en las pruebas donde se aumentan los parámetros evaluados, el tiempo de ejecución aumenta, se mantiene o disminuye para cada técnica. A continuación, se explican los datos analizados.

Al aumentar el número de usuarios (figura 14), el tiempo de ejecución en todas las técnicas se mantienen, pero con valores mucho mayores en las técnicas TD.

A medida que aumenta el valor K relacionado con la privacidad de ubicación (figura 21), en todas las técnicas de BU el tiempo de ejecución se mantiene, en cambio en las técnicas de TD el tiempo disminuye, con valores mucho mayores en TD.

En cambio, al alterar los valores θ (figura 28), en todos los casos de BU y en TD uniforme, el tiempo de ejecución se mantiene, en cambio para el TD lineal y TD radial, el tiempo de ejecución aumenta, los valores de TD son mucho mayores.

Para el caso del valor m (figura 35), para todas las pruebas en BU el tiempo de ejecución se mantiene, en cambio para las pruebas en TD el tiempo de ejecución aumentan con valores mucho mayores.

Al modificar el tamaño de las celdas del lienzo (figura 42), en todas las pruebas realizadas el tiempo de ejecución se mantiene, con valores mayores en las técnicas TD.

Finalmente, aumentando la cantidad de celdas que tendrán las pruebas (figura 49), el tiempo de ejecución en las técnicas BU se mantienen a diferencia de las técnicas TD en donde el tiempo de ejecución aumenta. Los valores de las técnicas TD son mucho mayores a los de la técnica BU.

#RE Constr.	Usuarios	K	θ	M	Tamaño celdas	Alto x Ancho
BU Unifor.	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
TD Unifor.	Mantiene	Disminuye	Mantiene	Aumenta	Mantiene	Aumenta
BU Lineal	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
TD Lineal	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Aumenta
BU Radial	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene	Mantiene
TD Radial	Mantiene	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Mantiene	Aumenta

Tabla 11: Análisis de las simulaciones en relación al tiempo de ejecución.

7. Conclusiones

En los tiempos actuales, es muy común para los usuarios de dispositivos móviles el solicitar servicios basados en ubicación, ya que estos son de mucha ayuda para facilitar la vida de las personas, sin embargo, el utilizar estos servicios puede ser peligroso para los usuarios.

Luego de estudiar los trabajos que emplean el concepto tanto de privacidad de ubicación como el de seguridad de ubicación, se logró determinar que el proteger y resguardar tanto la privacidad como la seguridad de ubicación de las personas, es un gran desafío que se logró abordar correctamente implementando las dos técnicas mencionadas en el proyecto, como lo son la técnica Bottom-Up que toma la ubicación real del usuario y crea una región de encubrimiento de tamaño K , la cual va aumentando mientras esta región no cumpla con los requisitos de privacidad y seguridad de ubicación; como también está la técnica de Top-Down que a diferencia de la anterior, toma todas las posiciones y va restando posiciones siempre y cuando cumpla con los requisitos de ubicación, con un tope de que la región de encubrimiento posea K posiciones.

Posteriormente, se desarrolló correctamente un ambiente gráfico que permite distribuir a los usuarios móviles dentro de un área a evaluar, considerando para esto el tipo de distribución asignada y el valor de probabilidad de cada espacio (o celda) dentro del área total.

A su vez, se realizó la aplicación que permite simular las técnicas a evaluar en el proyecto, en la cual gráficamente se pueden modificar y volver a asignar todos los parámetros y las condiciones para que se puedan realizar correctamente las simulaciones.

Con la aplicación finalizada, se evaluaron las técnicas, para ver el comportamiento de estas en distintos escenarios en base a las métricas definidas.

En el caso del costo computacional, existe una gran diferencia, ya que en las pruebas de Botttom-Up son menos iteraciones en comparación a las de Top-Down. Los números de regiones de encubrimiento construidas son mayores en los Top-Down con respecto a las Botttom-Up. En el caso de la media, tanto como la técnica Botttom-Up como Top-Down tienen valores similares, pero con pequeñas excepciones con mayores valores en Botttom-Up. Evaluando la desviación estándar, existe mayor variación en las pruebas a las técnicas Botttom-Up que en las Top-Down. En el promedio de las regiones de encubrimiento con los valores de K, los resultados de las dos técnicas son casi iguales, con excepciones también en algunos casos con mayor valor en Botttom-Up. La entropía promedio entre las dos técnicas es prácticamente igual, con casi nulas diferencias, como cuando hay mayor número de usuarios o mayor valor K, la entropía en las técnicas Top-Down tiende a ser menor. Finalmente, en tiempos de ejecución, hay una gran diferencia, siendo el más óptimo la técnica Botttom-Up, que demora mucho menos que la técnica Top-Down.

Ya con los resultados obtenidos y los análisis realizados, se puede afirmar que las dos técnicas cumplen a cabalidad los requisitos de privacidad y seguridad de los usuarios que solicitan servicios basados en ubicación, pero hay que enfatizar que la técnica Botttom-Up tiene mayores ventajas, ya que cuenta con mucho menor tiempo de ejecución y costo computacional, y con los otros resultados bastante similares en las demás métricas, siendo en la opción más aceptable para satisfacer los requisitos de un usuario que demande privacidad y seguridad de ubicación.

8. Bibliografía

- [1] Guillermo Tobar. "Implementación y simulación de algoritmo de construcción en Batch de regiones de encubrimiento para usuarios de redes inalámbricas". Proyecto de título ICINF Universidad del Bío-Bío, 2017.
- [2] Marco Gruteser & Dirk Grunwald. "Anonymous Usage of Location-Based Services Through Spatial and Temporal Cloaking". *Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. MobiSys '03*. San Francisco, CA, USA, 2003, pp. 31-42.
- [3] Toby Xu & Ying Cai. "Feeling-based Location Privacy Protection in Location-based Services". *Proc. of ACM Int'l Conf. on Computer Communications Security (CCS'09)*. Chicago, IL, USA. Sept. 2009, pp. 348-357.
- [4] Ben Niu. "Achieving K-anonymity in Privacy-Aware Location-Based Services". *IEEE INFOCOM 2014 - IEEE Conference on Computer Communications*. Apr. 2014, pp. 754-762
- [5] Tobi Xu & Ying Cai. "Location Cloaking for Safety Protection of Ad Hoc Networks". *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Computer Communications (INFOCOM'09)*. Rio de Janeiro, Brazil, Apr. 2009, pp. 1944-1952.

[6] Patricio Galdames, Claudio Gutierrez, Arturo Curiel. "Batching Location Cloaking Techniques for Location Privacy and Safety Protection". Jan. 2019.

[7] Anonimato, Fuente: <http://www.informaticayperitaje.com/anonimato-y-privacidad-en-la-red/>

[8] Privacidad, Fuente: <http://www.informaticayperitaje.com/anonimato-y-privacidad-en-la-red/>

9. Anexos

8.1. Anexo 01: Datos de métricas

En este anexo, se detallan los datos obtenidos desde la ejecución de los algoritmos que buscan proteger la privacidad y seguridad de ubicación, considerando diversas métricas. A continuación, se muestran los resultados en forma de tablas, las cuales son clasificadas teniendo en cuenta la técnica aplicada y parámetros utilizados.

9.1.1. Usuarios

Alto	Ancho	# mts	M	K	θ
12	12	10	5	6	11

Tabla 12: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes usuarios.

Técnica	# Usuarios	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	100	1529354	64	6	0
BU Uniforme	325	1345953	54	6	0
BU Uniforme	550	1283161	47	6	0
BU Uniforme	775	1536258	51	6	0
BU Uniforme	1000	1719083	50	6,062	2,411555515
BU Uniforme	1225	1924256	46	6,8163265	14,92539269
TD Uniforme	100	25615066	69	6	0
TD Uniforme	325	40892893	110	6	0

TD Uniforme	550	33949553	91	6	0
TD Uniforme	775	27053566	72	6	0
TD Uniforme	1000	27261595	72	6	0
TD Uniforme	1225	25292838	66	6	0
BU Lineal	100	1171343	49	6	0
BU Lineal	325	1155633	46	6	0
BU Lineal	550	1289165	47	6,5272727	6,53521927
BU Lineal	775	1463737	47	7,0825806	15,26012726
BU Lineal	1000	1817515	50	8,396	24,41143994
BU Lineal	1225	2019703	45	10,501224	45,07576751
TD Lineal	100	22274511	60	6	0
TD Lineal	325	34951911	94	6	0
TD Lineal	550	29859045	80	6	0
TD Lineal	775	30016793	80	6,1122581	2,779092449
TD Lineal	1000	29853319	79	6,028	1,64972725
TD Lineal	1225	28761891	76	8,7746939	74,38535845
BU Radial	100	1083396	46	6	0
BU Radial	325	1348501	55	6	0
BU Radial	550	1406755	53	6	0
BU Radial	775	1619417	55	6,3070968	5,448953732
BU Radial	1000	1722796	49	7,309	16,20345334
BU Radial	1225	2103765	52	8,4693878	24,05223907
TD Radial	100	18874415	61	6	0
TD Radial	325	32544824	105	6	0
TD Radial	550	27701782	89	6	0

TD Radial	775	30645913	98	6	0
TD Radial	1000	29615955	94	6	0
TD Radial	1225	29255717	92	6	0

Tabla 13: Resultados simulaciones con diferentes usuarios n°1.

Técnica	# Usuarios	(RE/K) Promedio	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	100	1	2,584962501	15
BU Uniforme	325	1	2,584962501	31
BU Uniforme	550	1	2,584962501	15
BU Uniforme	775	1	2,584962501	31
BU Uniforme	1000	1	2,598750831	16
BU Uniforme	1225	1	2,744712512	47
TD Uniforme	100	1	2,584962501	1031
TD Uniforme	325	1	2,584962501	1385
TD Uniforme	550	1	2,584962501	1128
TD Uniforme	775	1	2,584962501	914
TD Uniforme	1000	1	2,584962501	1285
TD Uniforme	1225	1	2,584962501	810
BU Lineal	100	1	2,434725819	62
BU Lineal	325	1	2,415772342	15
BU Lineal	550	1	2,400641965	15
BU Lineal	775	1	2,41635886	15
BU Lineal	1000	1,105	2,354284951	46
BU Lineal	1225	1,4644898	2,398681579	15

TD Lineal	100	1	2,478521665	890
TD Lineal	325	1	2,481463737	1187
TD Lineal	550	1	2,138020778	968
TD Lineal	775	1	1,830012171	968
TD Lineal	1000	1	1,825231961	969
TD Lineal	1225	1,3893878	0,966526361	922
BU Radial	100	1	2,436077228	15
BU Radial	325	1	2,450385842	15
BU Radial	550	1	2,502875773	15
BU Radial	775	1	2,480105004	16
BU Radial	1000	1	2,562661248	15
BU Radial	1225	1,1085714	2,603263975	16
TD Radial	100	1	2,550667123	625
TD Radial	325	1	2,495691727	1093
TD Radial	550	1	2,319394751	922
TD Radial	775	1	2,327791218	1015
TD Radial	1000	1	2,058444011	983
TD Radial	1225	1	1,762079489	952

Tabla 14: Resultados simulaciones con diferentes usuarios n°2.

9.1.2. Valor K

Alto	Ancho	# mts	M	Usuarios	θ
12	12	10	5	550	11

Tabla 15: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores K.

Técnica	K	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	2	2255025	96	2	0
BU Uniforme	4	1811394	73	4	0
BU Uniforme	6	1379991	51	6	0
BU Uniforme	8	1265640	43	8	0
BU Uniforme	10	1393945	44	10	0
BU Uniforme	12	1210362	34	12	0
BU Uniforme	14	1287310	33	14	0
BU Uniforme	16	1223925	28	16	0
TD Uniforme	2	47010045	126	2	0
TD Uniforme	4	44013198	118	4	0
TD Uniforme	6	27636637	74	6	0
TD Uniforme	8	37244170	100	8	0
TD Uniforme	10	27187437	73	10	0
TD Uniforme	12	25285377	68	12	0
TD Uniforme	14	19696178	53	14	0
TD Uniforme	16	18538624	50	16	0
BU Lineal	2	1997903	84	2,4381818	6,414032911

BU Lineal	4	1461346	57	4,9145455	11,51947758
BU Lineal	6	1263844	46	6,4927273	7,819660537
BU Lineal	8	1213293	41	8,0509091	1,630170097
BU Lineal	10	1110190	34	10	0
BU Lineal	12	1025303	28	12,161818	2,731266772
BU Lineal	14	1217982	31	14	0
BU Lineal	16	1296169	30	16	0
TD Lineal	2	37709278	101	2,0909091	2,132007164
TD Lineal	4	32861348	88	4	0
TD Lineal	6	28374952	76	6	0
TD Lineal	8	27968274	75	8	0
TD Lineal	10	25332615	68	10	0
TD Lineal	12	28974312	78	12	0
TD Lineal	14	27219628	74	15,249091	35,5455687
TD Lineal	16	29192741	79	16	0
BU Radial	2	2228267	95	2,0109091	0,77036001
BU Radial	4	1618022	65	4	0
BU Radial	6	1383477	52	6	0
BU Radial	8	1210921	42	8	0
BU Radial	10	1212141	39	10	0
BU Radial	12	1188151	35	12	0
BU Radial	14	1156388	31	14	0
BU Radial	16	1226257	30	16	0
TD Radial	2	35797647	115	2,0272727	1,207928354
TD Radial	4	35780289	115	4	0

TD Radial	6	27081575	87	6	0
TD Radial	8	36324704	117	8	0
TD Radial	10	27622447	89	10	0
TD Radial	12	29721399	96	12	0
TD Radial	14	24734436	80	14	0
TD Radial	16	24361225	79	16	0

Tabla 16: Resultados simulaciones con diferentes valores K n°1.

Técnica	K	(RE/K) Promedio	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	2	1	1	15
BU Uniforme	4	1	2	15
BU Uniforme	6	1	2,584962501	15
BU Uniforme	8	1	3	15
BU Uniforme	10	1	3,321928095	16
BU Uniforme	12	1	3,584962501	15
BU Uniforme	14	1	3,807354922	15
BU Uniforme	16	1	4	15
TD Uniforme	2	1	1	1581
TD Uniforme	4	1	2	1488
TD Uniforme	6	1	2,584962501	937
TD Uniforme	8	1	3	1228
TD Uniforme	10	1	3,321928095	884
TD Uniforme	12	1	3,584962501	864
TD Uniforme	14	1	3,807354922	615

TD Uniforme	16	1	4	605
BU Lineal	2	1,1054545	0,922798233	15
BU Lineal	4	1,0781818	1,86481477	15
BU Lineal	6	1	2,42447544	15
BU Lineal	8	1	2,777904497	15
BU Lineal	10	1	3,135042679	15
BU Lineal	12	1	3,422472269	15
BU Lineal	14	1	3,523114738	15
BU Lineal	16	1	3,733770311	15
TD Lineal	2	1	0,933046635	1250
TD Lineal	4	1	1,861180654	1078
TD Lineal	6	1	1,802353738	908
TD Lineal	8	1	1,800350847	890
TD Lineal	10	1	2,44155521	797
TD Lineal	12	1	2,419744028	921
TD Lineal	14	1,0636364	1,439256722	1031
TD Lineal	16	1	1,818724084	905
BU Radial	2	1	0,962725459	15
BU Radial	4	1	1,885351239	15
BU Radial	6	1	2,509033594	15
BU Radial	8	1	2,886061863	15
BU Radial	10	1	3,218401541	16
BU Radial	12	1	3,488795085	15
BU Radial	14	1	3,693950916	15
BU Radial	16	1	3,858673633	15

TD Radial	2	1	0,961442847	1218
TD Radial	4	1	1,871707058	1202
TD Radial	6	1	2,328763012	890
TD Radial	8	1	2,83526884	1203
TD Radial	10	1	2,336037213	906
TD Radial	12	1	3,19343905	953
TD Radial	14	1	2,5977757	796
TD Radial	16	1	3,118865598	765

Tabla 17: Resultados simulaciones con diferentes valores K n°2.

9.1.3. Valor θ

Alto	Ancho	# mts	M	Usuarios	K
12	12	10	5	550	6

Tabla 18: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores θ .

Técnica	θ	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	1	1498534	56	6	0
BU Uniforme	11	1379584	51	6	0
BU Uniforme	21	1332598	49	6,0563636	1,710342868
TD Uniforme	1	31720375	85	6	0
TD Uniforme	11	27636457	74	6	0
TD Uniforme	21	31721935	85	6	0
BU Lineal	1	1401897	52	6	0
BU Lineal	11	1360096	50	6,3654545	6,11182163
BU Lineal	21	1569027	53	10,063636	29,34752584
TD Lineal	1	28003807	75	6	0
TD Lineal	11	31345110	84	6	0
TD Lineal	21	34316690	92	6	0
BU Radial	1	1352487	50	6	0
BU Radial	11	1346642	49	6,6890909	8,011457704
BU Radial	21	1538783	52	9,6490909	3,005207904
TD Radial	1	28631311	92	6	0
TD Radial	11	30796566	99	6	0

TD Radial	21	34200887	110	6	0
-----------	----	----------	-----	---	---

Tabla 19: Resultados simulaciones con diferentes valores θ n°1.

Técnica	θ	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	1	2,584962501	15
BU Uniforme	11	2,584962501	15
BU Uniforme	21	2,597497346	15
TD Uniforme	1	2,584962501	1060
TD Uniforme	11	2,584962501	914
TD Uniforme	21	2,584962501	1049
BU Lineal	1	2,353185283	17
BU Lineal	11	2,436737508	15
BU Lineal	21	2,47488356	15
TD Lineal	1	2,142818874	952
TD Lineal	11	2,400748672	1015
TD Lineal	21	2,455228536	1125
BU Radial	1	2,337754448	62
BU Radial	11	2,28069558	31
BU Radial	21	2,373321218	31
TD Radial	1	2,416315103	968
TD Radial	11	2,35068956	1015
TD Radial	21	2,37745187	1125

Tabla 20: Resultados simulaciones con diferentes valores θ n°2.

9.1.4. Valor M

Alto	Ancho	# mts	Usuarios	K	θ
12	12	10	550	6	11

Tabla 21: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores M.

Técnica	M	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	1	1354224	54	6	0
BU Uniforme	3	1278573	49	6	0
BU Uniforme	5	1456062	55	6	0
BU Uniforme	7	1276971	46	6	0
BU Uniforme	10	1427359	50	6	0
TD Uniforme	1	6255019	98	6	0
TD Uniforme	3	17071514	91	6	0
TD Uniforme	5	32036514	103	6	0
TD Uniforme	7	30046316	69	6	0
TD Uniforme	10	45316999	73	6	0
BU Lineal	1	1331064	53	6,0672727	1,857711202
BU Lineal	3	1330013	51	6,4927273	4,994706289
BU Lineal	5	1339911	50	6,3036364	4,982898025
BU Lineal	7	1302731	47	6,1981818	3,786795239
BU Lineal	10	1325027	46	6	0
TD Lineal	1	6240001	98	7,4909091	23,07261265
TD Lineal	3	16323108	87	6	0

TD Lineal	5	28010280	90	6	0
TD Lineal	7	34807066	80	6	0
TD Lineal	10	47170272	76	6	0
BU Radial	1	1373928	55	6	0
BU Radial	3	1368689	53	6,0563636	1,710342868
BU Radial	5	1289723	48	6	0
BU Radial	7	1444851	53	6,0236364	1,126620046
BU Radial	10	1452389	51	6	0
TD Radial	1	6873497	108	6,1490909	4,558229321
TD Radial	3	19855711	106	6	0
TD Radial	5	28321038	91	6	0
TD Radial	7	48669356	112	6	0
TD Radial	10	61400244	99	6	0

Tabla 22: Resultados simulaciones con diferentes valores $M \neq 1$.

Técnica	M	(RE/K) Promedio	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	1	1	2,584962501	15
BU Uniforme	3	1	2,584962501	15
BU Uniforme	5	1	2,584962501	15
BU Uniforme	7	1	2,584962501	15
BU Uniforme	10	1	2,584962501	15
TD Uniforme	1	1	2,584962501	206
TD Uniforme	3	1	2,584962501	573
TD Uniforme	5	1	2,584962501	1068

TD Uniforme	7	1	2,584962501	993
TD Uniforme	10	1	2,584962501	1505
BU Lineal	1	1	2,407473958	15
BU Lineal	3	1	2,426795619	15
BU Lineal	5	1	2,436668703	15
BU Lineal	7	1	2,415247803	15
BU Lineal	10	1	2,435149393	15
TD Lineal	1	1,1018182	1,044428435	203
TD Lineal	3	1	2,149863772	531
TD Lineal	5	1	2,39712351	906
TD Lineal	7	1	2,150114782	1124
TD Lineal	10	1	2,183013254	1515
BU Radial	1	1	2,465489402	15
BU Radial	3	1	2,47438142	15
BU Radial	5	1	2,446509877	15
BU Radial	7	1	2,507346388	16
BU Radial	10	1	2,455571116	15
TD Radial	1	1,0018182	1,469675075	234
TD Radial	3	1	2,299813281	672
TD Radial	5	1	2,032189317	937
TD Radial	7	1	2,440241823	1612
TD Radial	10	1	2,393885069	2203

Tabla 23: Resultados simulaciones con diferentes valores $M n^2$.

9.1.5. Tamaño de las celdas

Alto	Ancho	M	Usuarios	K	θ
12	12	5	550	6	11

Tabla 24: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes tamaños de las celdas.

Técnica	# mts	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	7	1384959	51	6,1218182	3,013937322
BU Uniforme	10	1356118	50	6	0
BU Uniforme	12	1331346	49	6	0
BU Uniforme	15	1355799	50	6	0
TD Uniforme	7	34690278	93	6	0
TD Uniforme	10	28750751	77	6	0
TD Uniforme	12	28008299	75	6	0
TD Uniforme	15	34319273	92	6	0
BU Lineal	7	1551342	54	8,88	18,08336252
BU Lineal	10	1290887	48	6,0909091	2,132007164
BU Lineal	12	1289484	48	6	0
BU Lineal	15	1241415	46	6	0
TD Lineal	7	26153625	84	6,0527273	1,657435039

TD Lineal	10	30486365	98	6	0
TD Lineal	12	24295129	78	6	0
TD Lineal	15	28938772	93	6	0
BU Radial	7	1466862	53	7,9381818	13,41602841
BU Radial	10	1453654	55	6	0
BU Radial	12	1312598	49	6	0
BU Radial	15	1523609	58	6	0
TD Radial	7	32344449	104	6	0
TD Radial	10	33584044	108	6	0
TD Radial	12	29867590	96	6	0
TD Radial	15	31107005	100	6	0

Tabla 25: Resultados simulaciones con diferentes tamaños de las celdas n°1.

Técnica	# mts	(RE/K) Promedio	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	7	1	2,611188564	15
BU Uniforme	10	1	2,584962501	15
BU Uniforme	12	1	2,584962501	15
BU Uniforme	15	1	2,584962501	16
TD Uniforme	7	1	2,584962501	1155
TD Uniforme	10	1	2,584962501	959

TD Uniforme	12	1	2,584962501	936
TD Uniforme	15	1	2,584962501	1141
BU Lineal	7	1,1836364	2,517598622	16
BU Lineal	10	1	2,403907503	16
BU Lineal	12	1	2,452347529	16
BU Lineal	15	1	2,451994586	16
TD Lineal	7	1	2,405115299	843
TD Lineal	10	1	2,396478822	1000
TD Lineal	12	1	1,836492259	798
TD Lineal	15	1	2,429955063	937
BU Radial	7	1,0818182	2,565470515	15
BU Radial	10	1	2,492274859	15
BU Radial	12	1	2,496067174	15
BU Radial	15	1	2,474232424	15
TD Radial	7	1	2,439399809	1078
TD Radial	10	1	2,336238037	1109
TD Radial	12	1	2,455962501	999
TD Radial	15	1	2,461344255	1031

Tabla 26: Resultados simulaciones con diferentes tamaños de las celdas $n^{\circ}2$.

9.1.6. Valor Alto x Ancho

# mts	M	Usuarios	K	θ
10	5	550	6	11

Tabla 27: Parámetros utilizados para evaluar métricas con diferentes valores alto x ancho.

Técnica	Alto x Ancho	Costo computacional	# RE Construidas	Media	Desviación Estándar
BU Uniforme	8	309299	19	7,6709091	25,560584
BU Uniforme	12	1356238	50	6	0
BU Uniforme	16	6873099	97	6	0
BU Uniforme	20	27589198	167	6	0
BU Uniforme	24	82995018	246	6	0
TD Uniforme	8	2193243	28	6	0
TD Uniforme	12	32835362	88	6	0
TD Uniforme	16	241340420	205	6	0
TD Uniforme	20	856989815	298	6	0
TD Uniforme	24	2082050801	349	6	0
BU Lineal	8	318245	19	10,874545	25,95446712
BU Lineal	12	1378723	51	6,0309091	1,283532059
BU Lineal	16	5622161	79	6	0
BU Lineal	20	21505670	130	6	0
BU Lineal	24	55039774	163	6	0
TD Lineal	8	2691915	35	6,6545455	8,742789237
TD Lineal	12	27633640	74	6	0

TD Lineal	16	171925321	146	6	0
TD Lineal	20	649966538	226	6	0
TD Lineal	24	1616753466	271	6	0
BU Radial	8	317394	21	9,4490909	22,19025585
BU Radial	12	1300407	48	6,4945455	5,508934891
BU Radial	16	6213720	88	6	0
BU Radial	20	21788447	132	6	0
BU Radial	24	59689520	177	6	0
TD Radial	8	2073692	32	7,56	19,12987193
TD Radial	12	29248427	94	6	0
TD Radial	16	158014564	161	6	0
TD Radial	20	532105446	222	6	0
TD Radial	24	1362268394	274	6	0

Tabla 28: Resultados simulaciones con diferentes valores alto x ancho n°1.

Técnica	Alto x Ancho	(RE/K) Promedio	Entropía Promedio	Tiempo Ejecución
BU Uniforme	8	1,1290909	2,835731492	1
BU Uniforme	12	1	2,584962501	15
BU Uniforme	16	1	2,584962501	15
BU Uniforme	20	1	2,584962501	47
BU Uniforme	24	1	2,584962501	107
TD Uniforme	8	1	2,584962501	132
TD Uniforme	12	1	2,584962501	1099
TD Uniforme	16	1	2,584962501	5947

TD Uniforme	20	1	2,584962501	17455
TD Uniforme	24	1	2,584962501	38601
BU Lineal	8	1,6418182	2,36867552	1
BU Lineal	12	1	2,429055671	15
BU Lineal	16	1	2,395795096	31
BU Lineal	20	1	2,427685951	46
BU Lineal	24	1	2,46330483	94
TD Lineal	8	1	0,985203419	140
TD Lineal	12	1	1,826017382	890
TD Lineal	16	1	2,467045885	4420
TD Lineal	20	1	2,501404383	12372
TD Lineal	24	1	2,494148055	27574
BU Radial	8	1,3090909	2,288588019	1
BU Radial	12	1	2,29913777	15
BU Radial	16	1	2,322705627	15
BU Radial	20	1	2,362301839	47
BU Radial	24	1	2,428381895	109
TD Radial	8	1,1781818	0,974081246	124
TD Radial	12	1	2,360272083	953
TD Radial	16	1	2,498177144	3686
TD Radial	20	1	2,476145558	10326
TD Radial	24	1	2,482092228	24077

Tabla 29: Resultados simulaciones con diferentes valores alto x ancho n^o2.

8.2. Anexo 02: Gráficos de métricas

En este anexo se mostrarán los resultados de los experimentos, obtenidos al ejecutar cada una de los algoritmos, en forma de gráficos. Esto tiene como objetivo generar una representación gráfica de los datos obtenidos a partir de as métricas definidas.

Para cada gráfico, el eje x representa los distintos valores que se le asignaron a los parámetros, en cambio el eje y representan los valores resultantes de la métrica evaluada.

Para la mejor comprensión, los gráficos están agrupados de acuerdo a los parámetros utilizados y modificados.

9.1.7. Usuarios

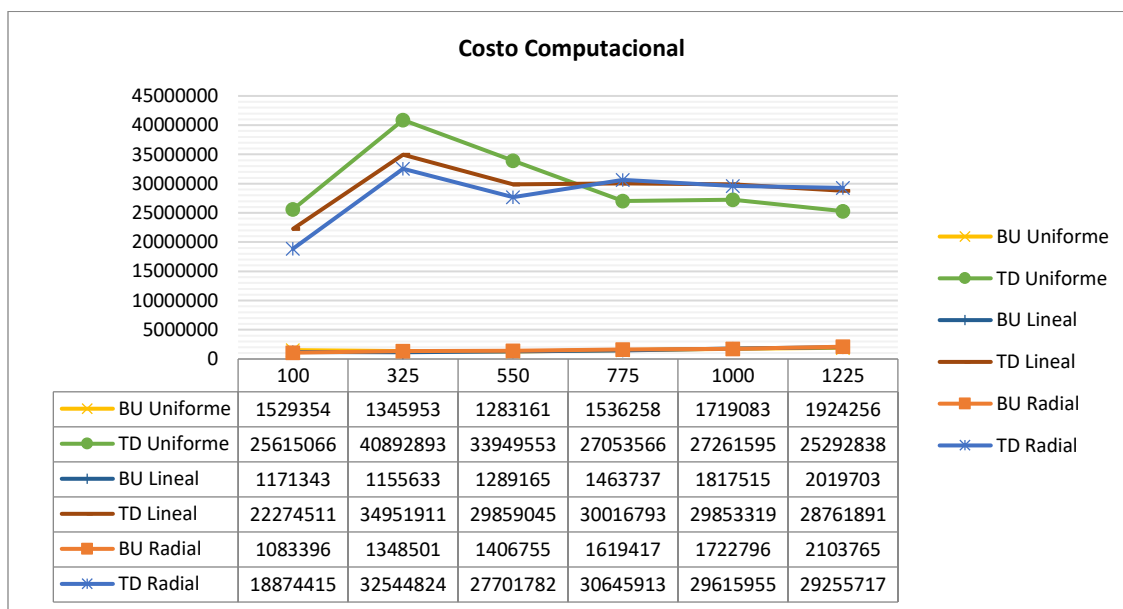


Figura 8: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos usuarios.

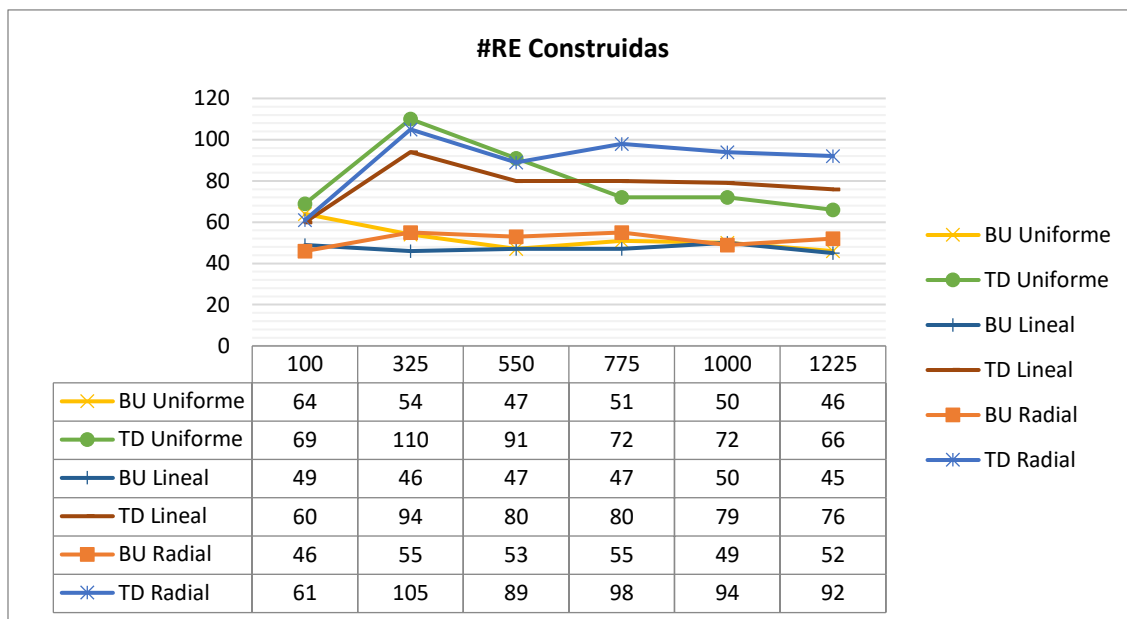


Figura 9: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos usuarios.

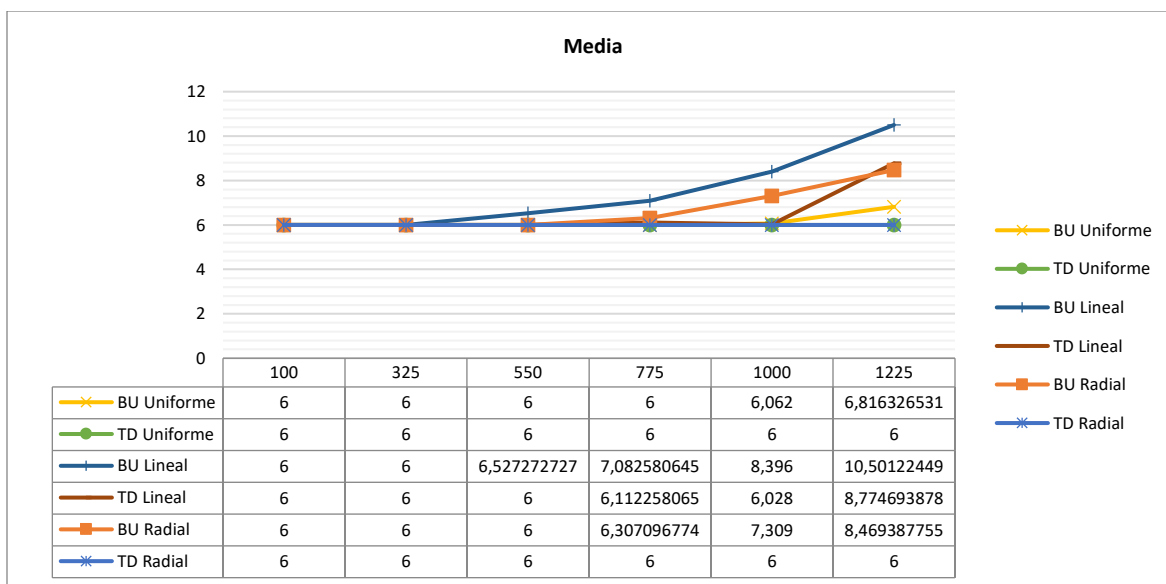


Figura 10: Gráfico de media en pruebas a distintos usuarios.

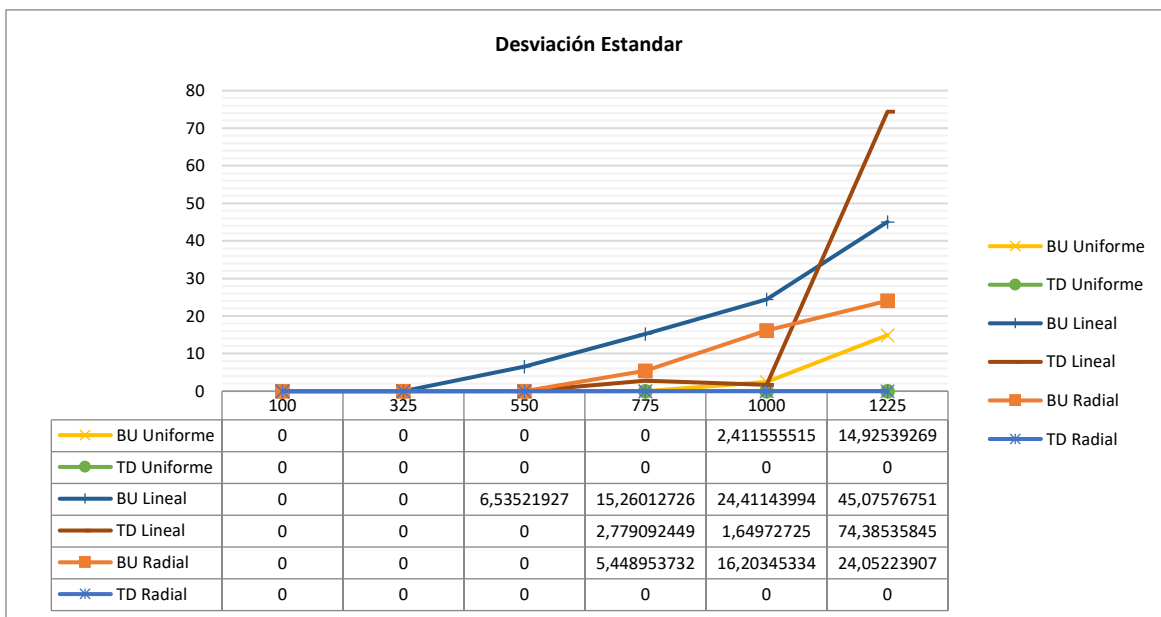


Figura 11: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos usuarios.

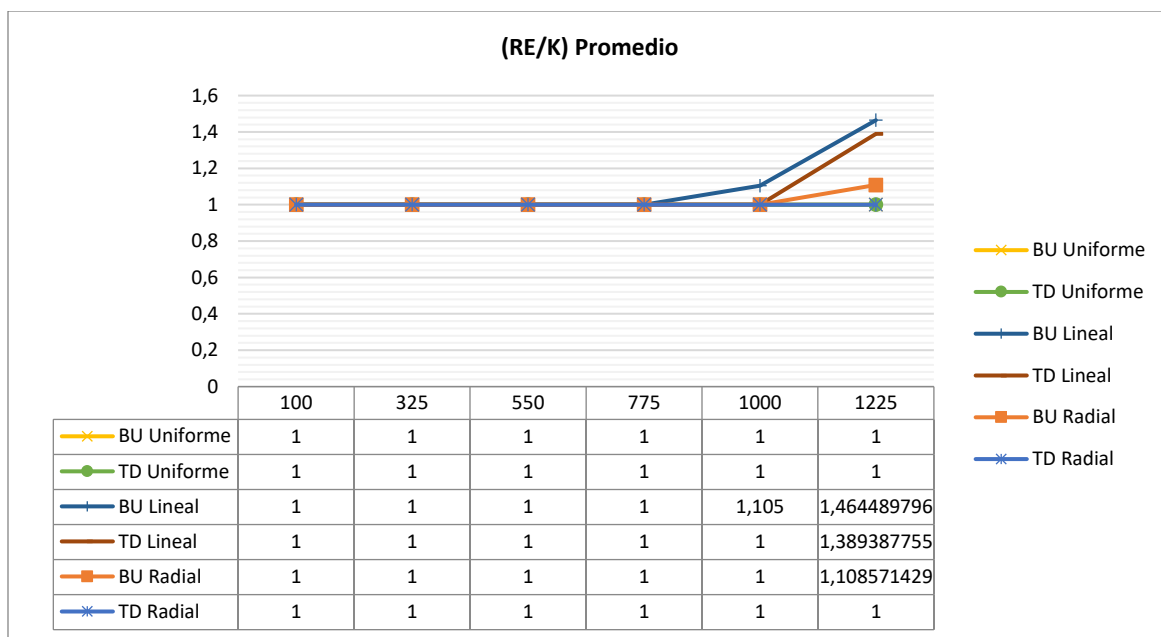


Figura 12: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos usuarios.

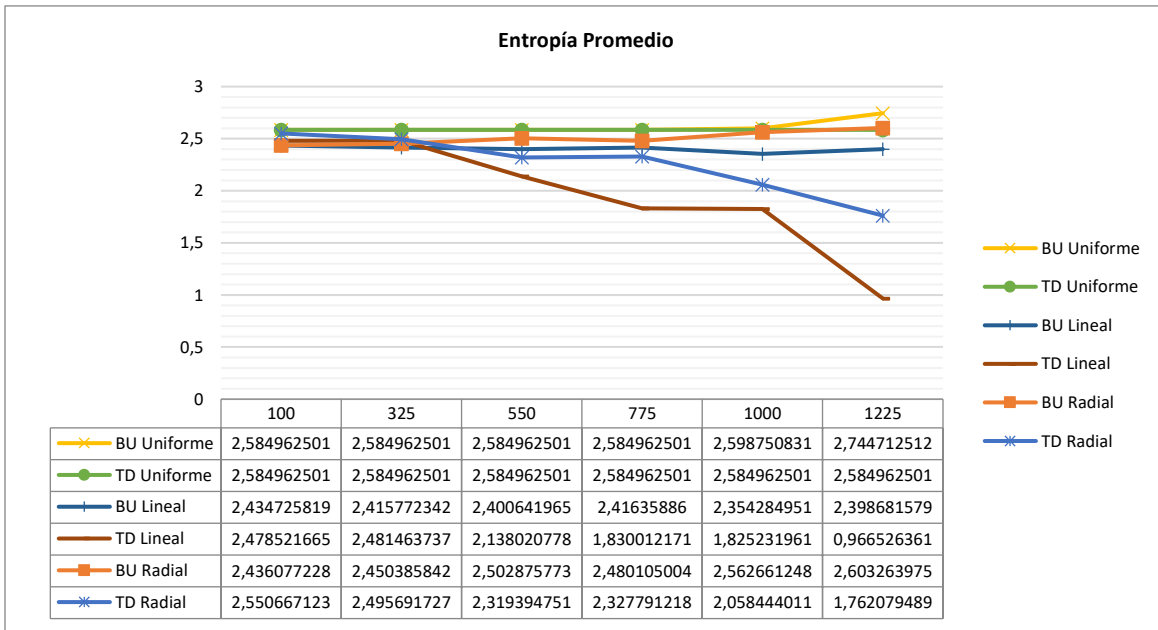


Figura 13: Gráfico de entropía en pruebas a distintos usuarios.

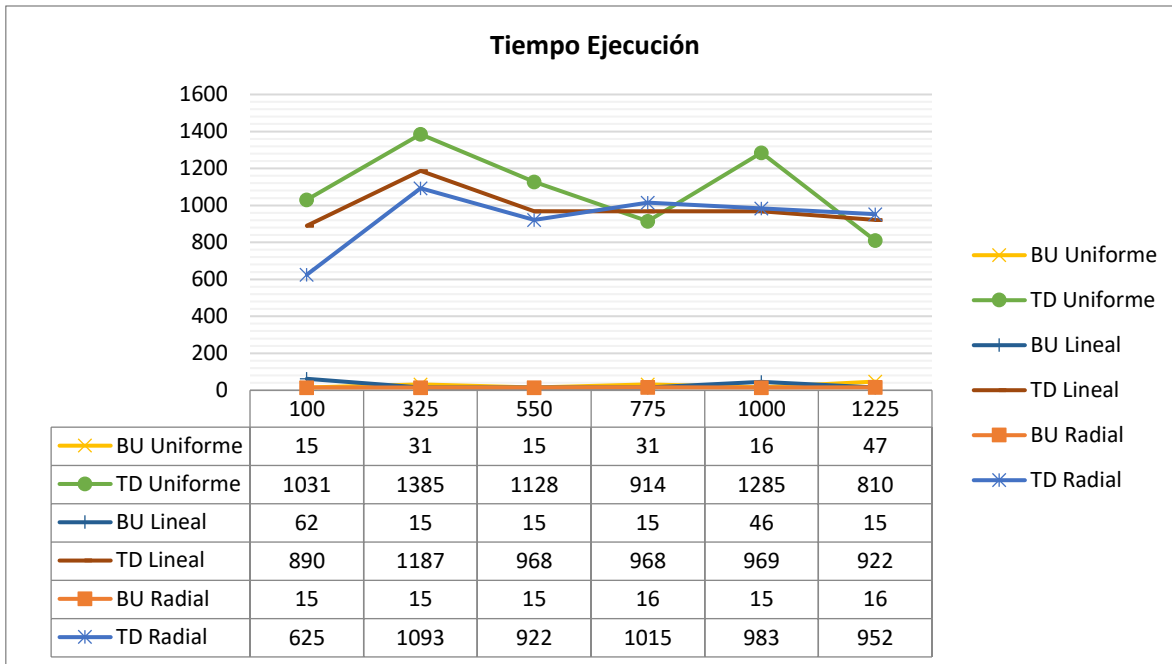


Figura 14: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos usuarios.

9.1.8. Valor K

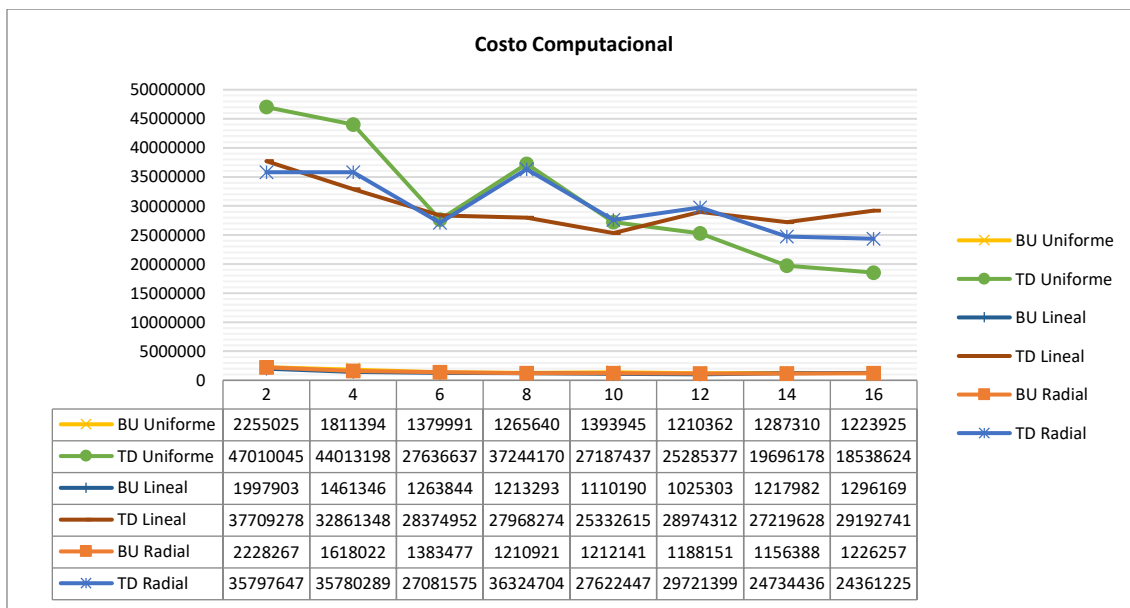


Figura 15: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores K.

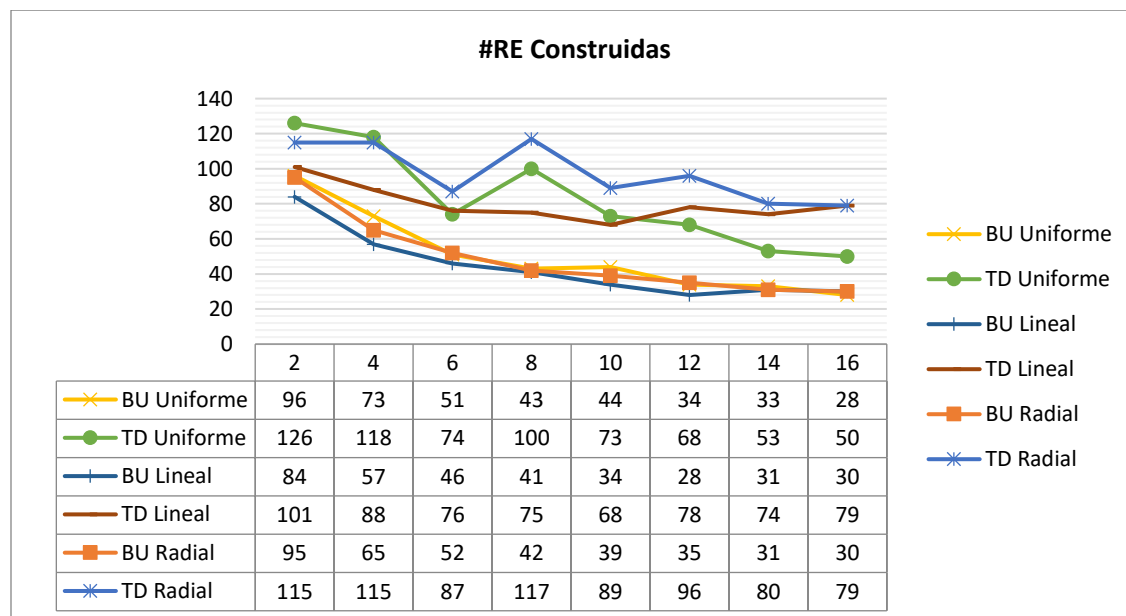


Figura 16: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores K.

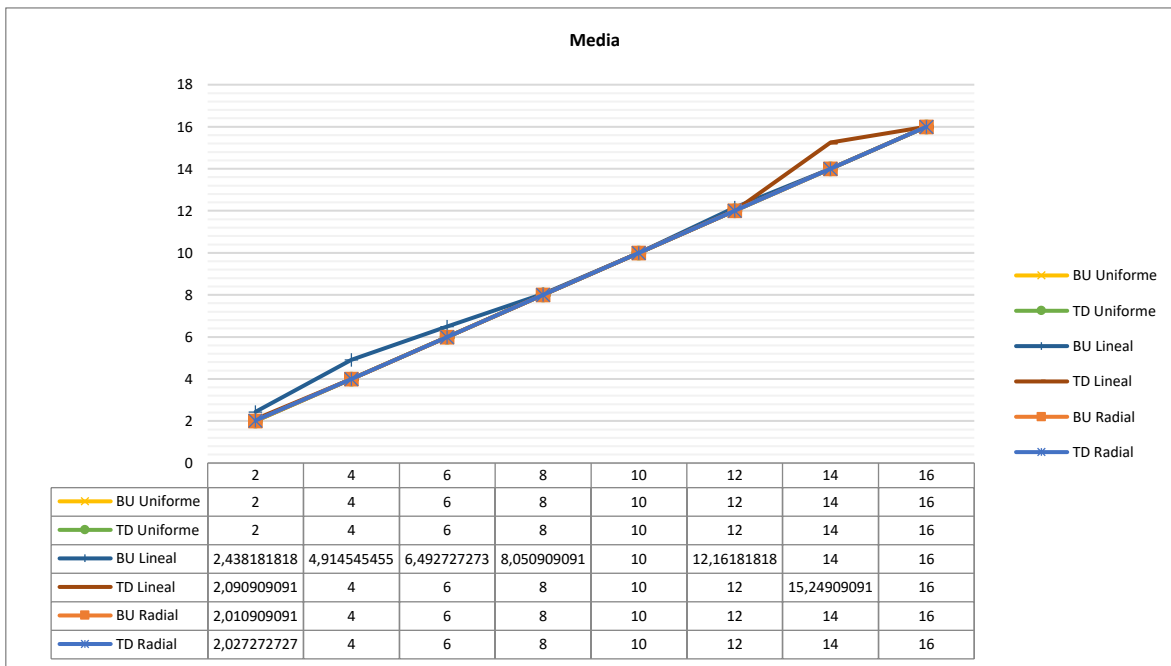


Figura 17: Gráfico de media en pruebas a distintos valores K.

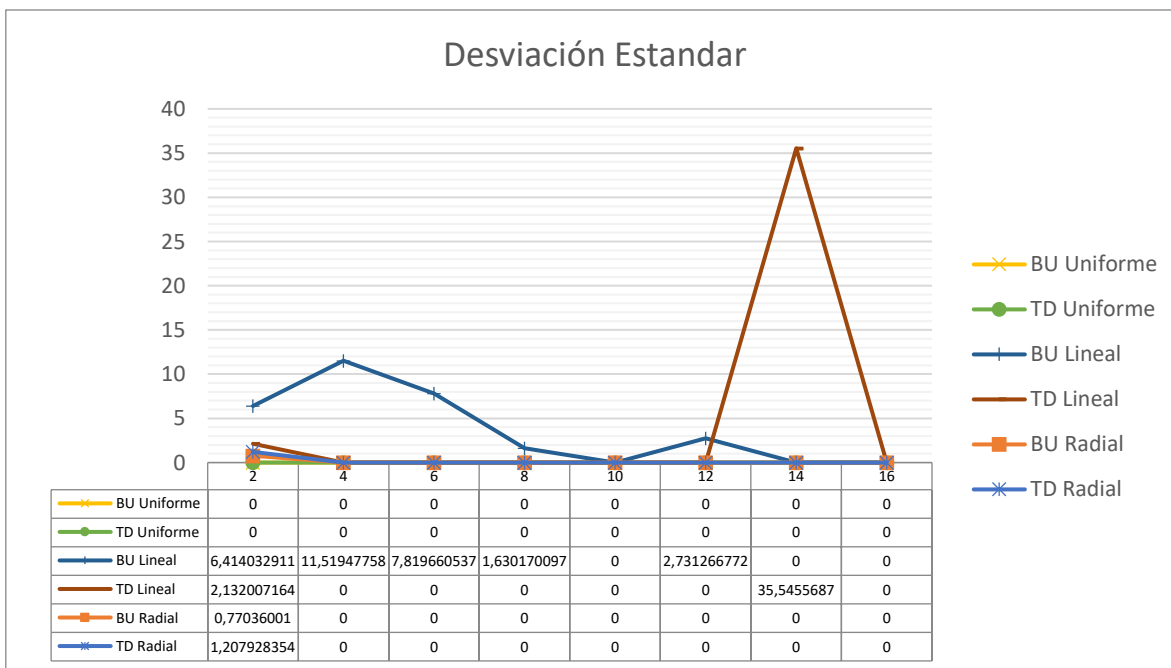


Figura 18: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores K.

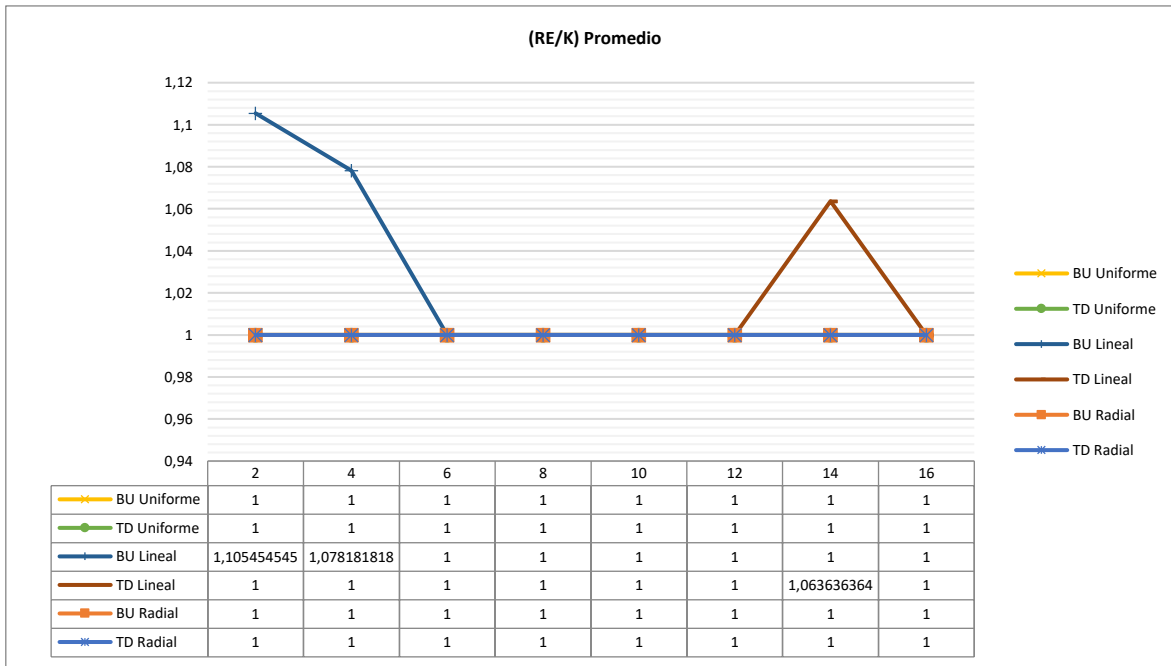


Figura 19: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores K.

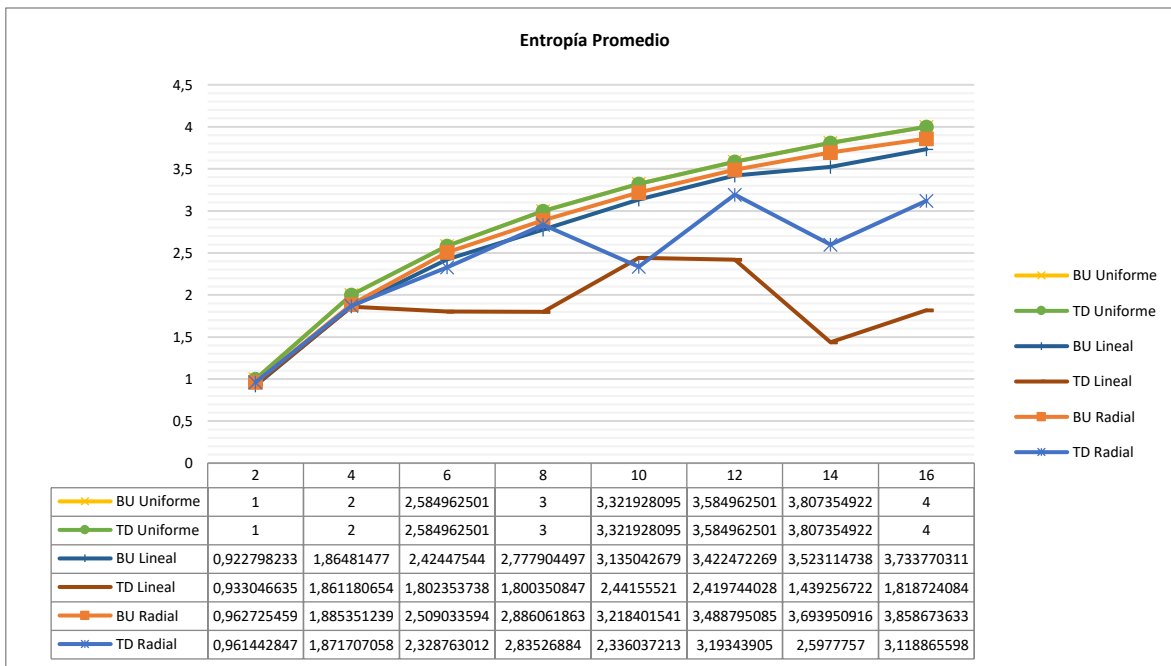


Figura 20: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores K.

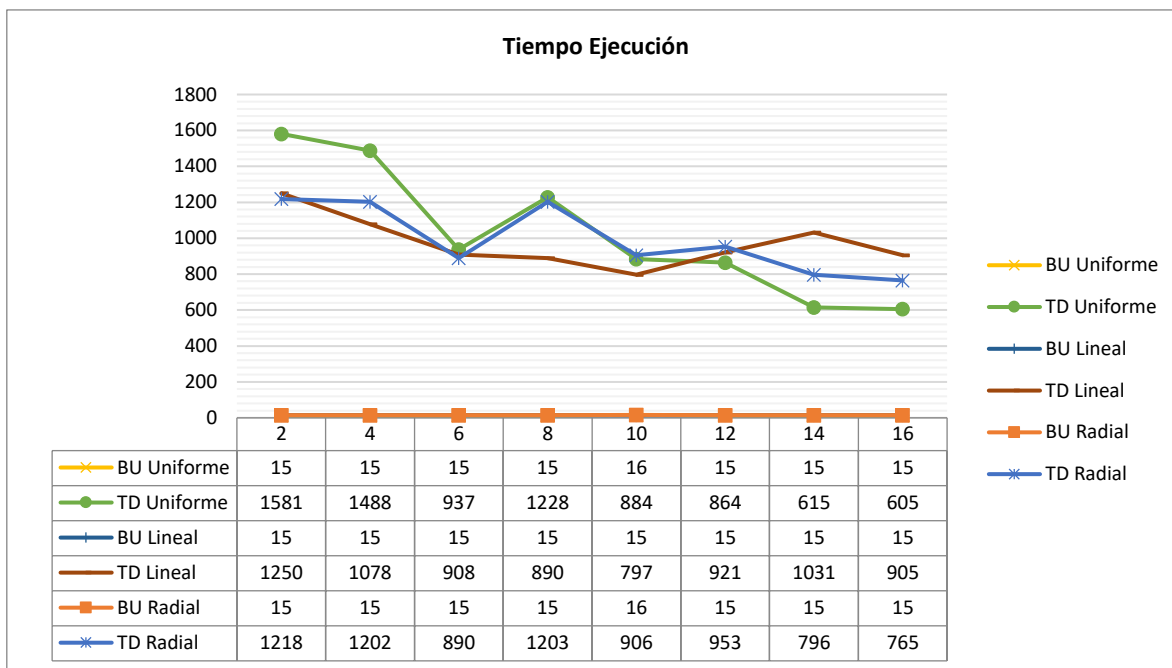


Figura 21: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores K.

9.1.9. Valor θ

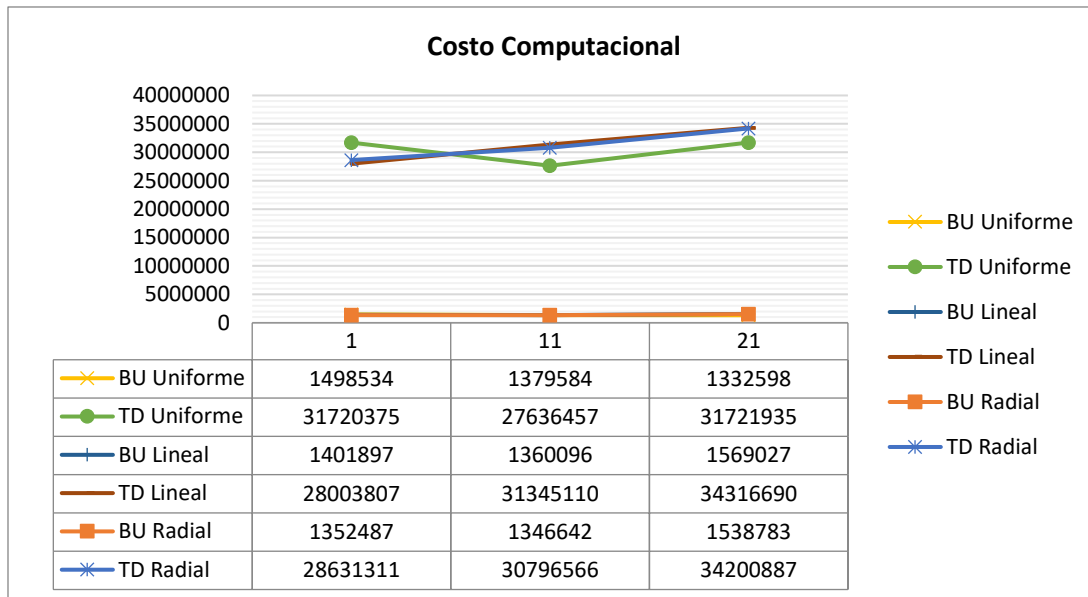


Figura 22: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores θ .

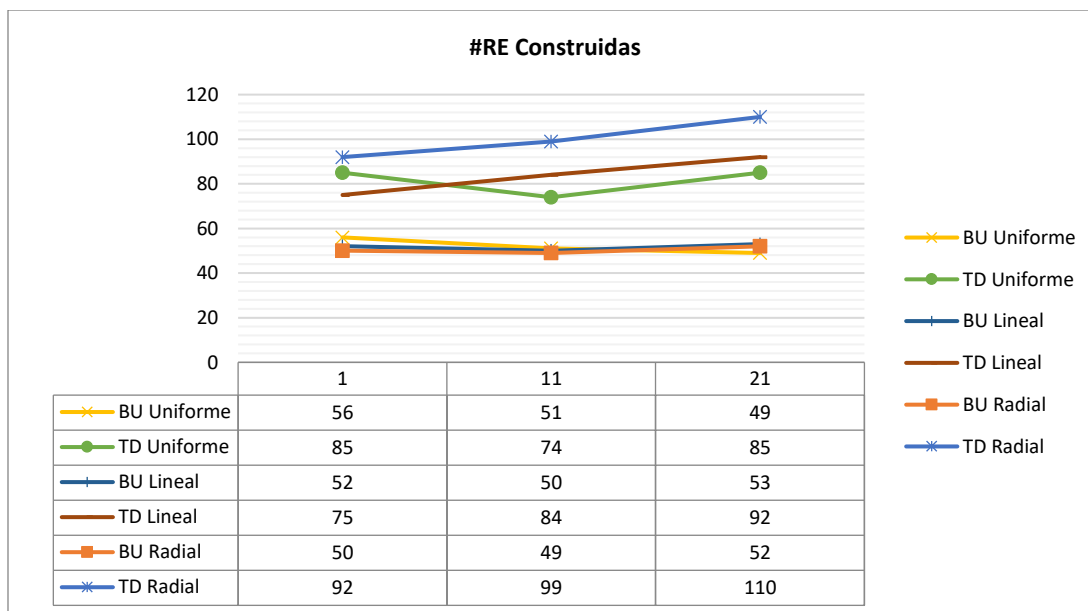


Figura 23: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores θ .

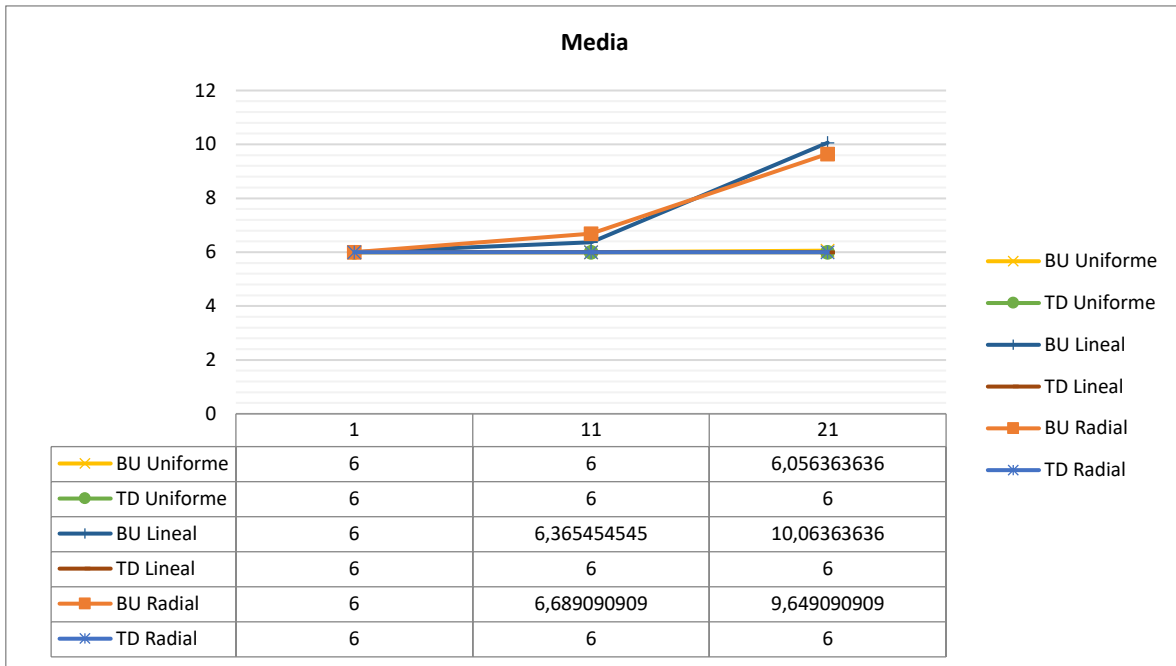


Figura 24: Gráfico de media en pruebas a distintos valores θ .

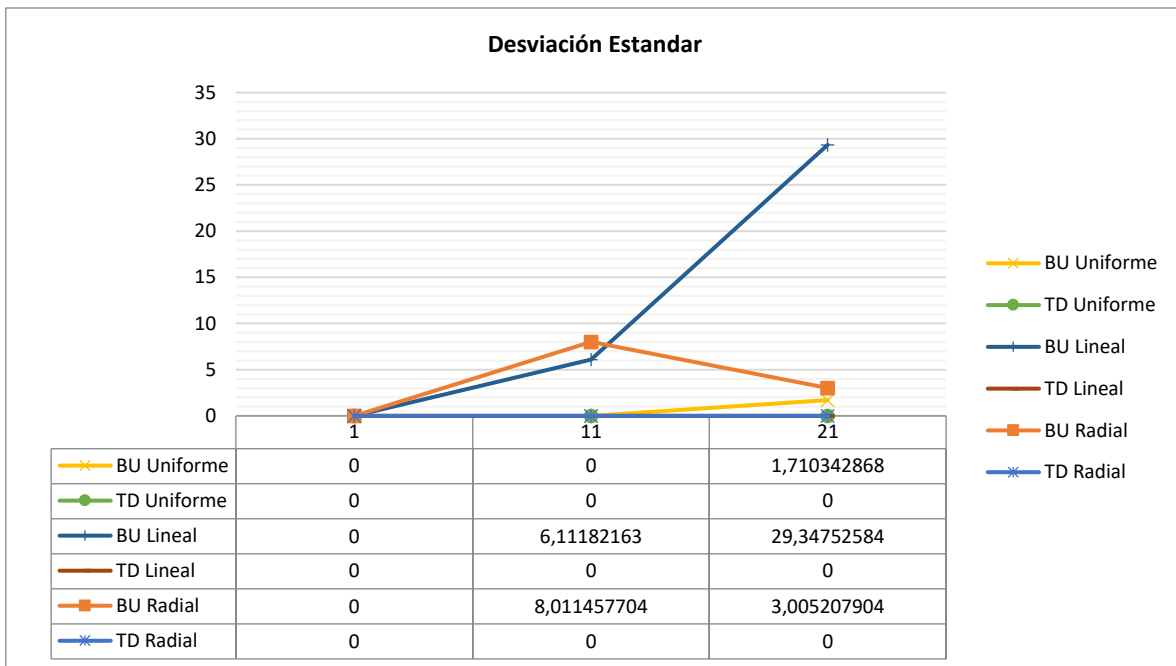


Figura 25: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores θ .

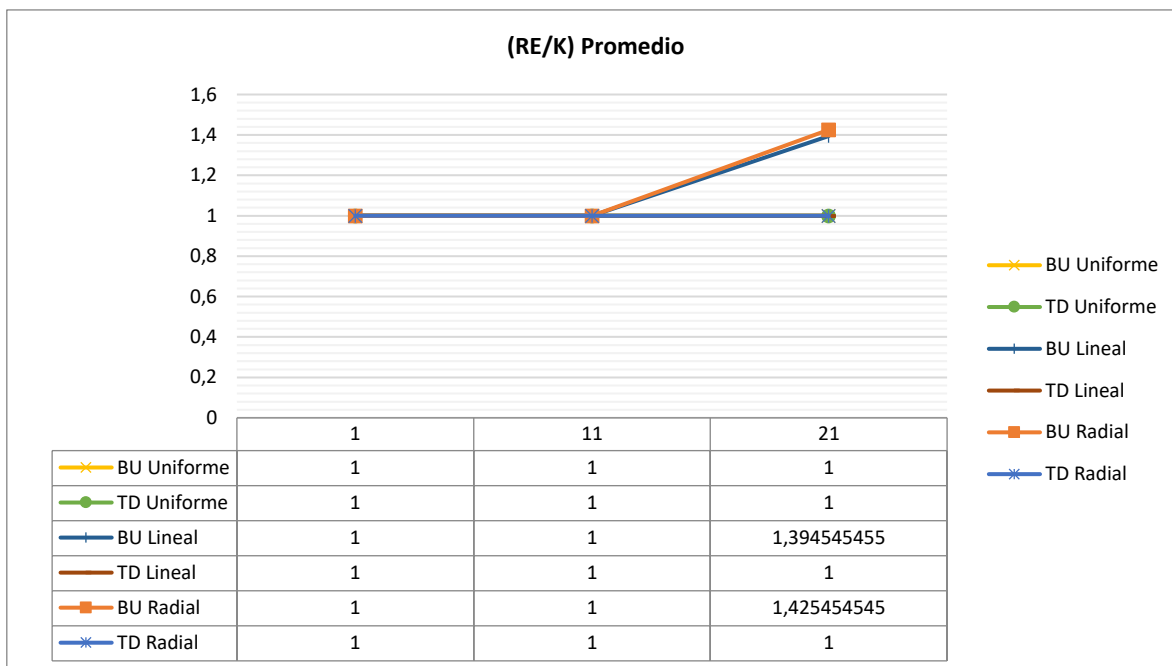


Figura 26: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores θ .

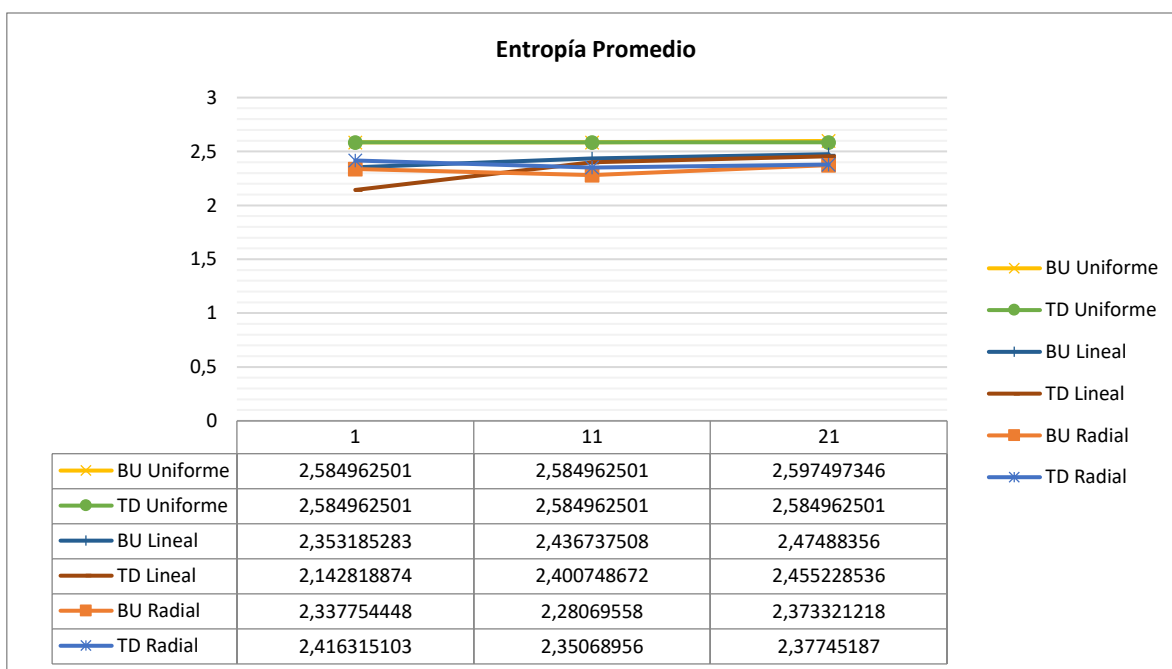


Figura 27: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores θ .

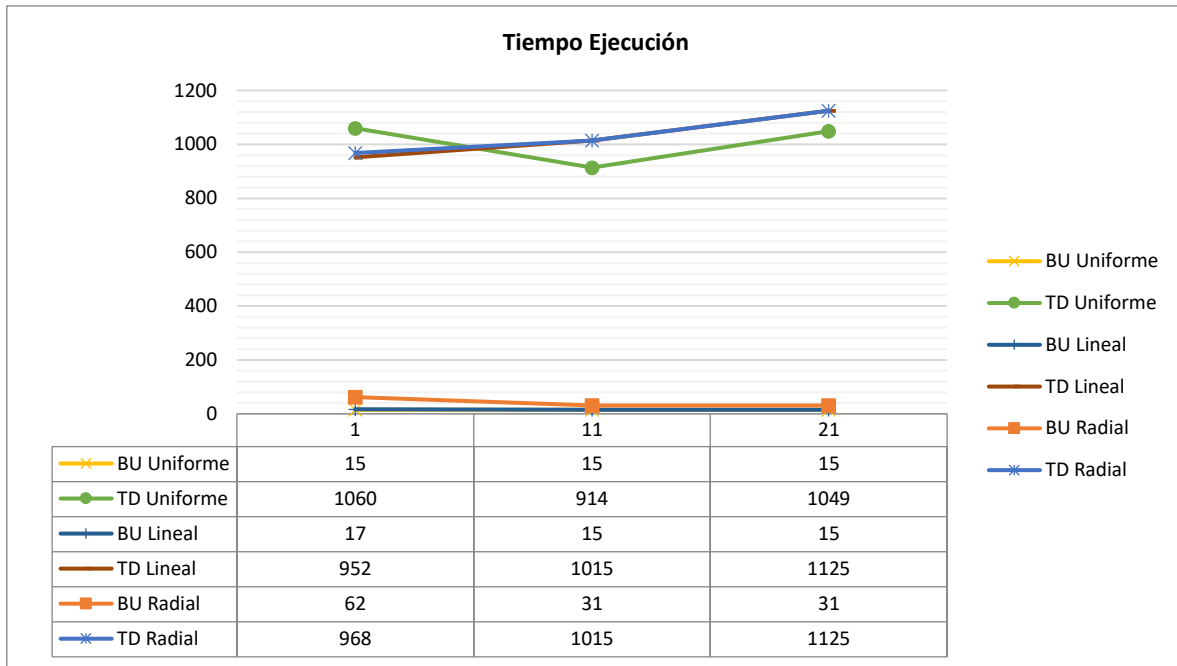


Figura 28: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores θ .

9.1.10. Valor M

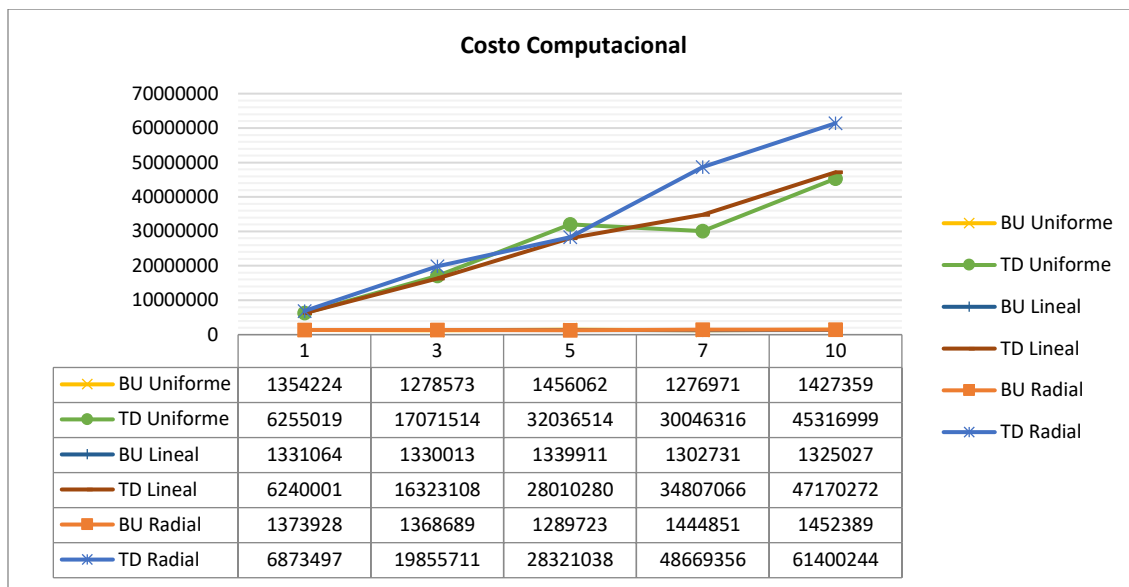


Figura 29: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores M.

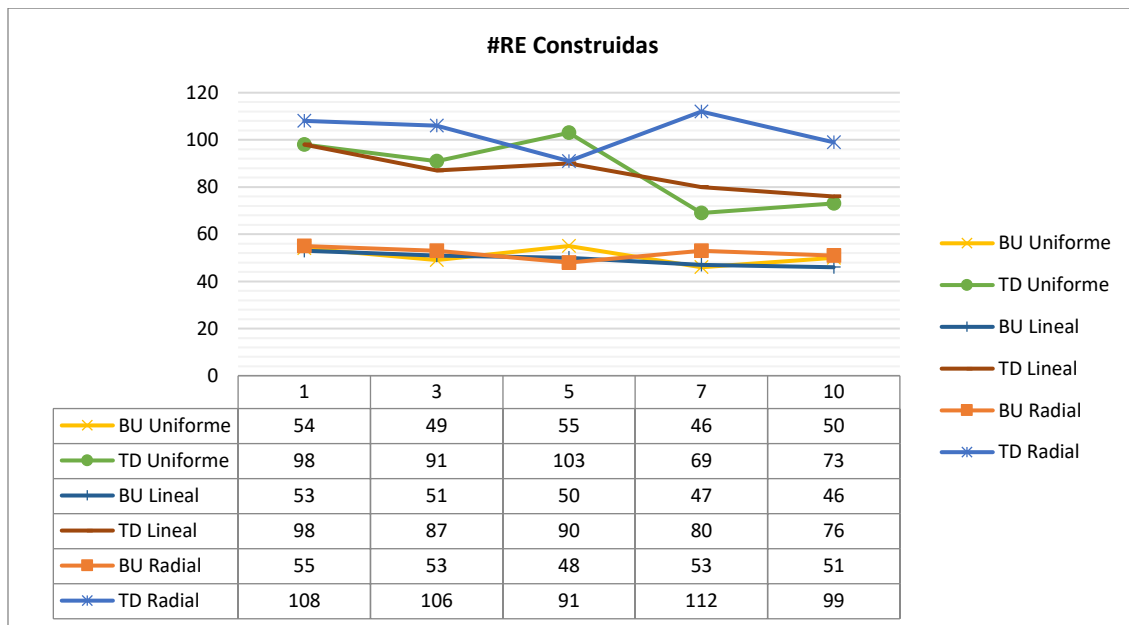


Figura 30: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores M.

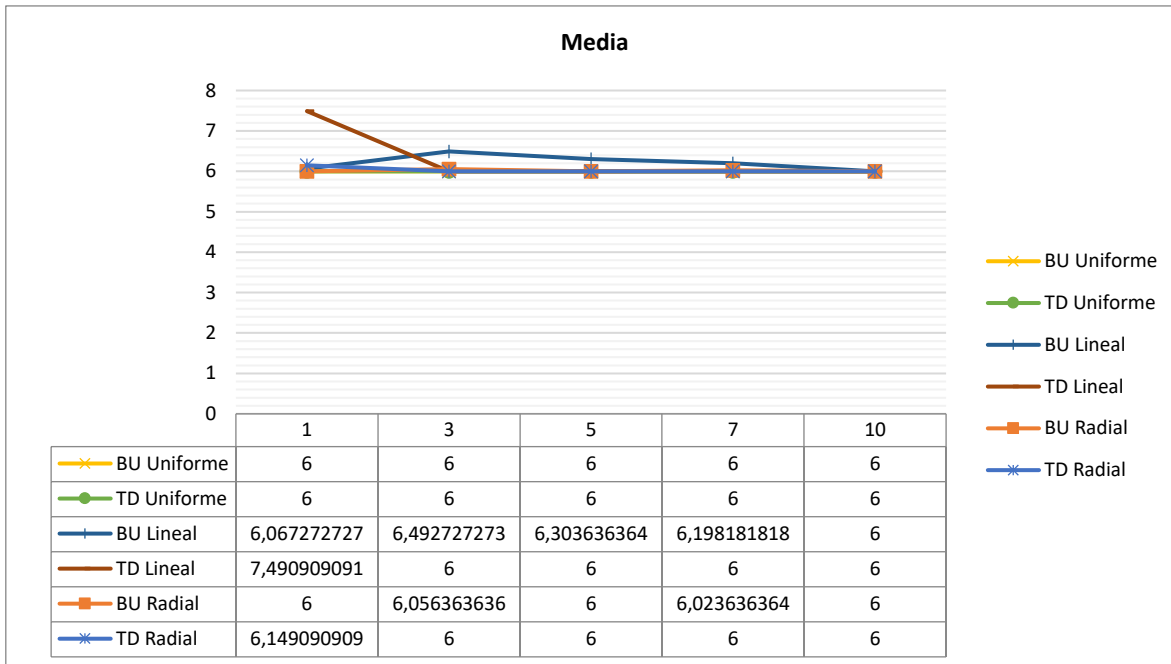


Figura 31: Gráfico de media en pruebas a distintos valores M.

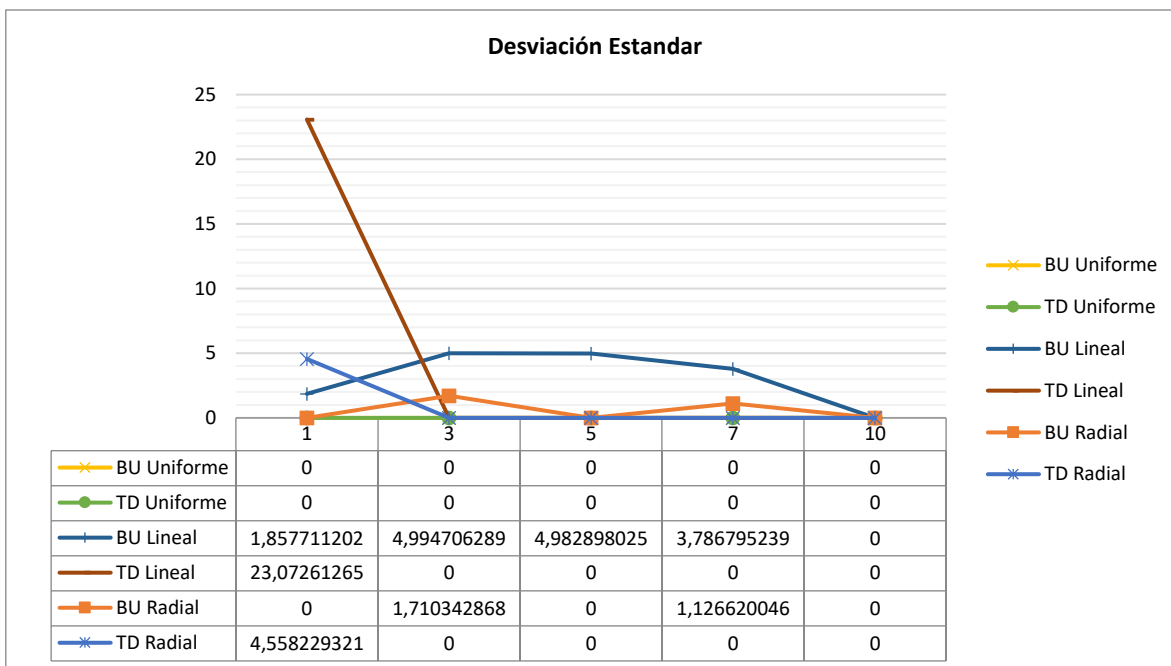


Figura 32: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores M.

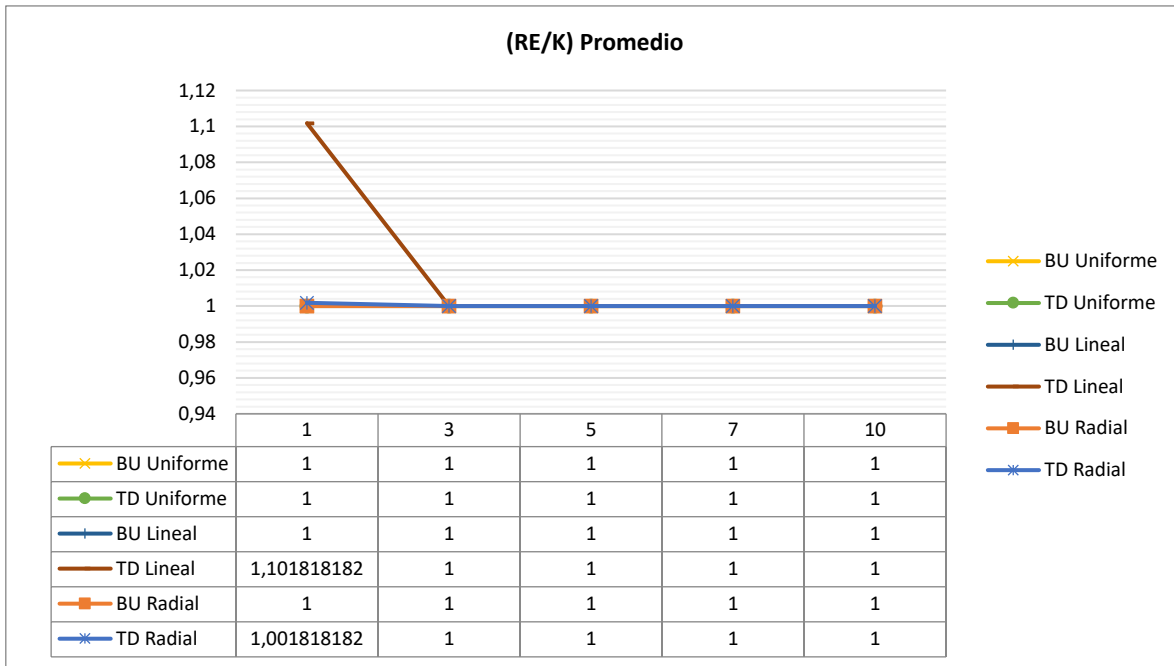


Figura 33: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores M.

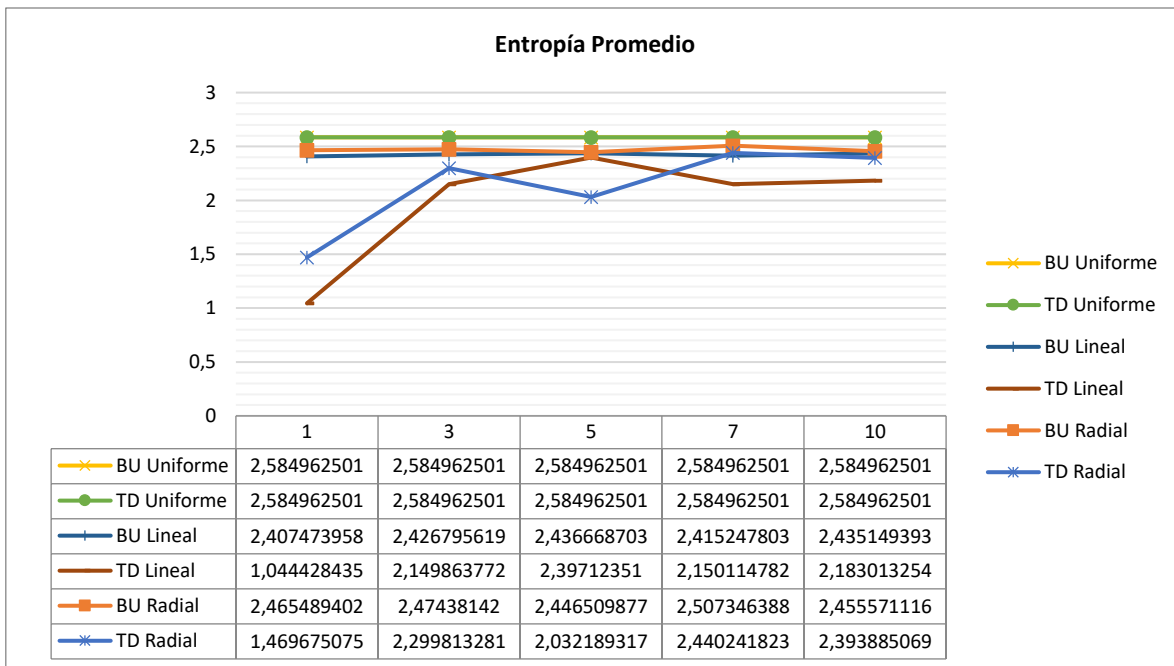


Figura 34: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores M.

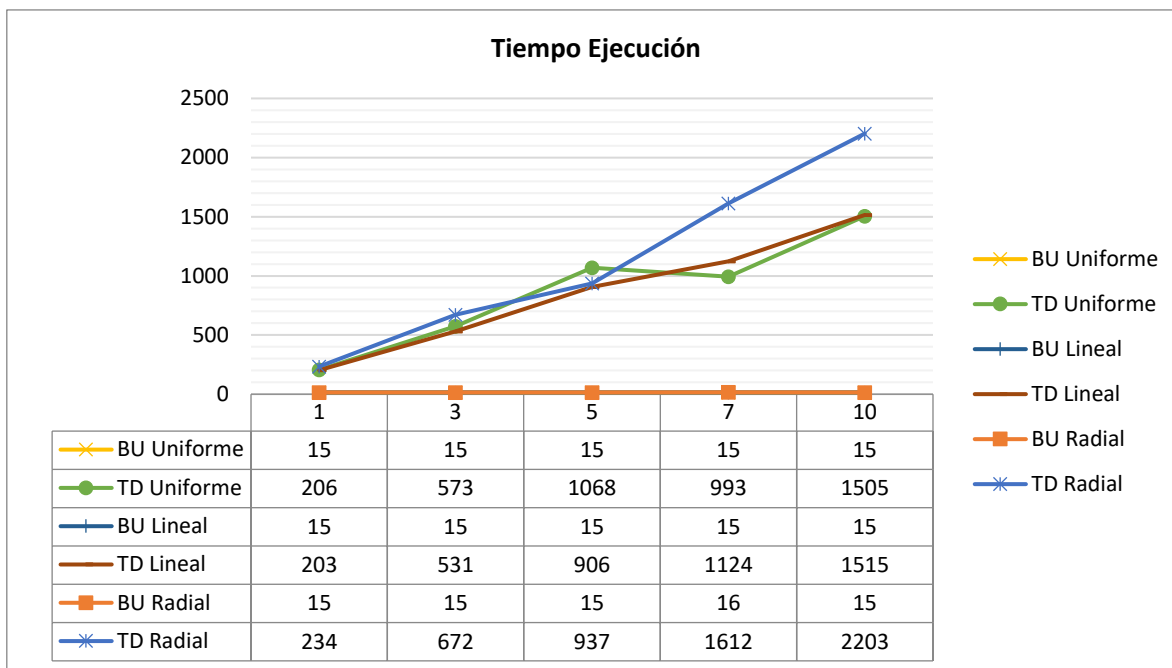


Figura 35: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores M.

9.1.11. Tamaño de las celdas

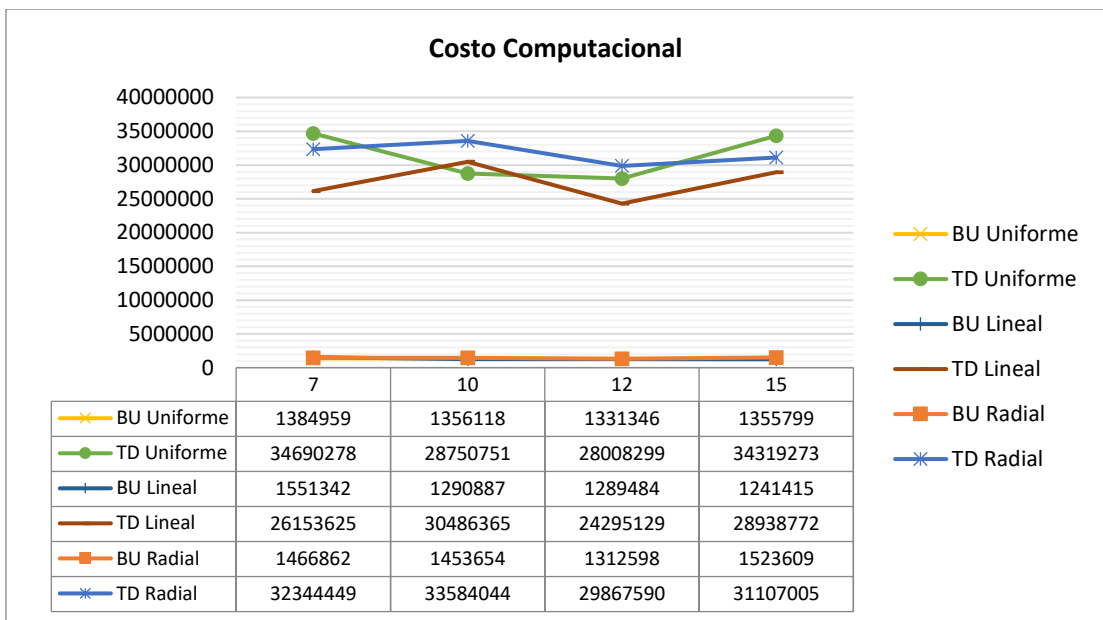


Figura 36: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

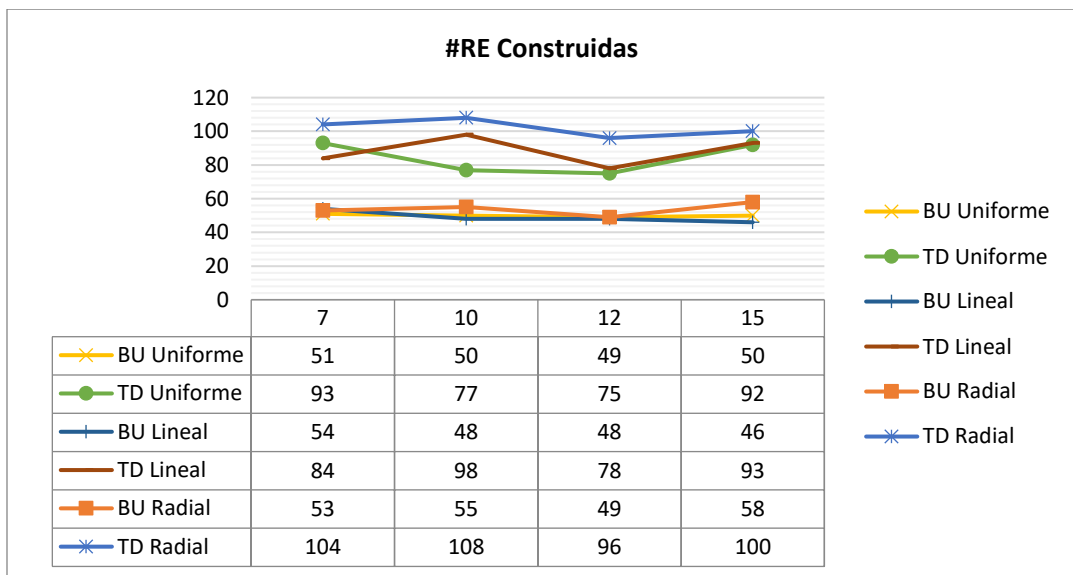


Figura 37: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

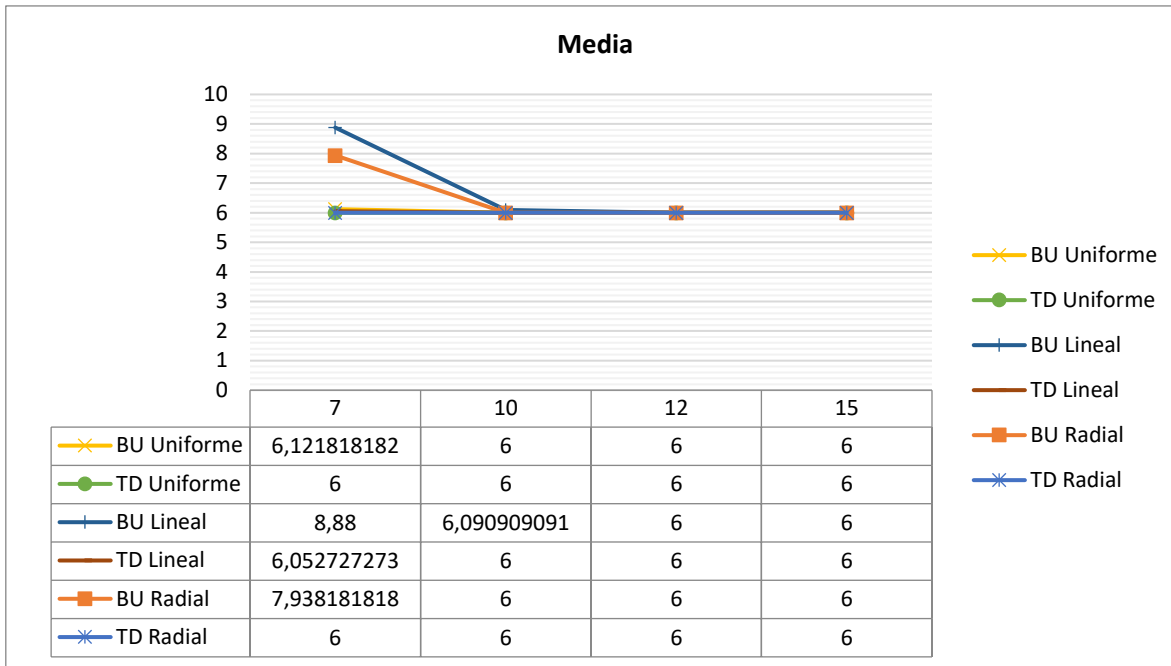


Figura 38: Gráfico de media en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

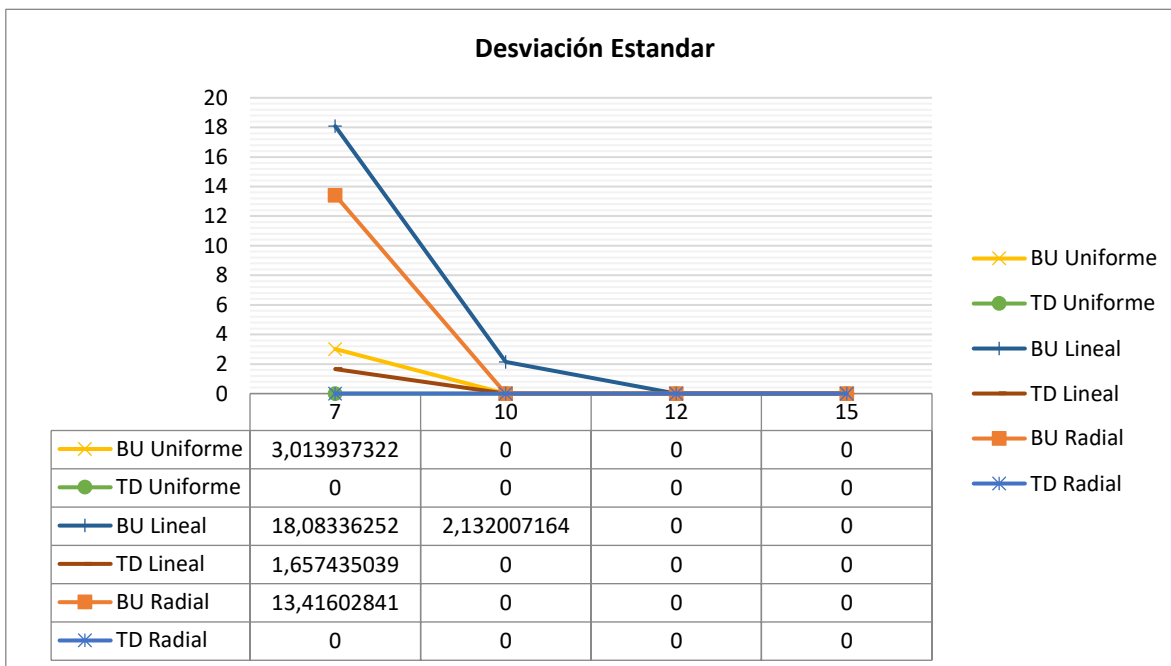


Figura 39: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

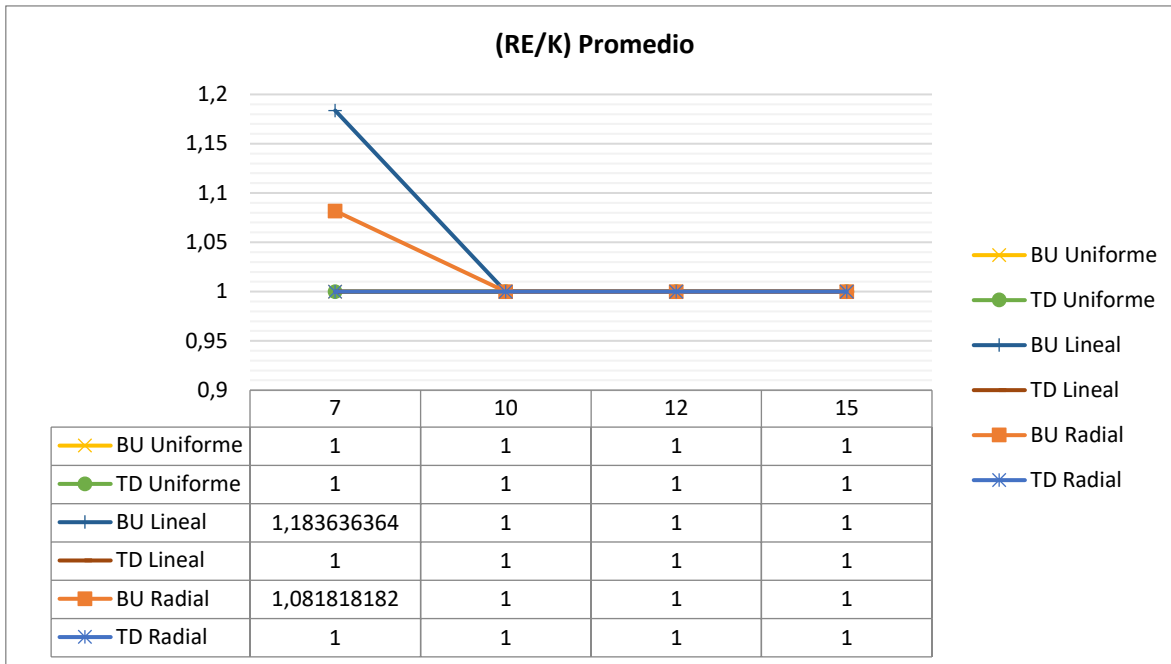


Figura 40: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

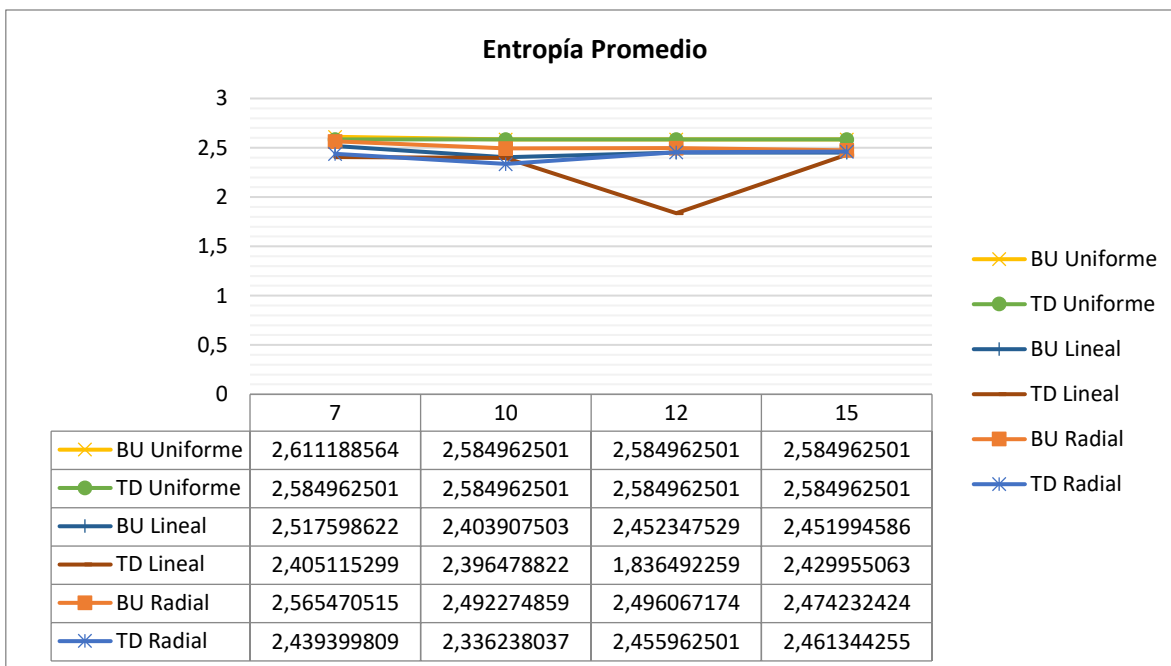


Figura 41: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

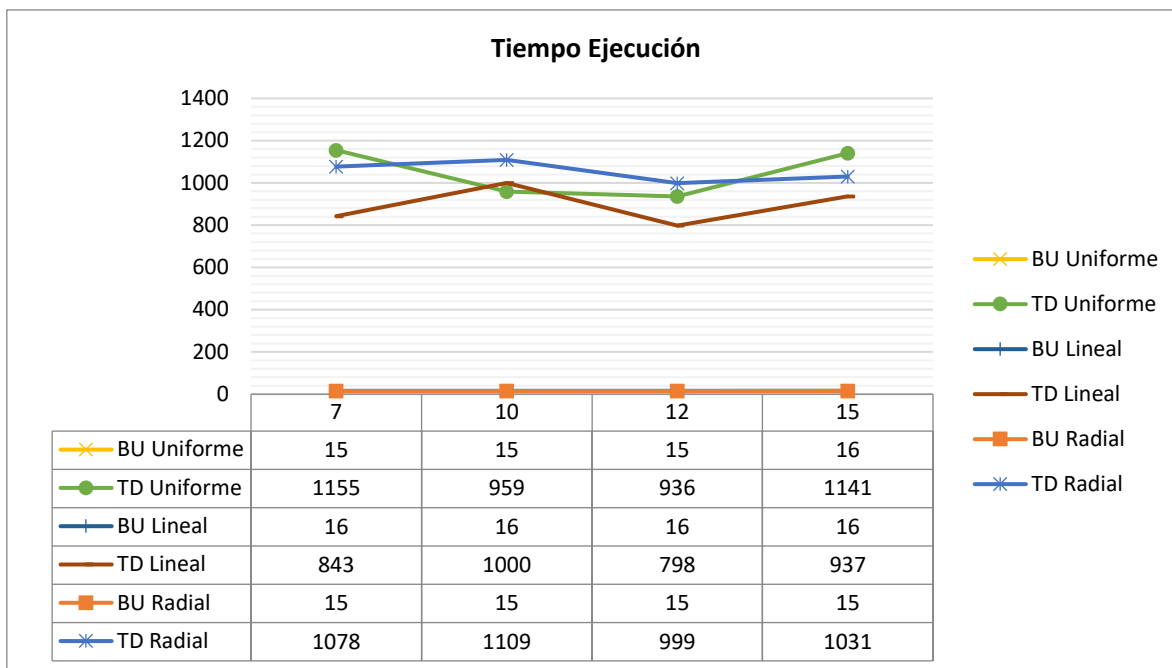


Figura 42: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores de tamaño de las celdas.

9.1.12. Valor Alto x Ancho

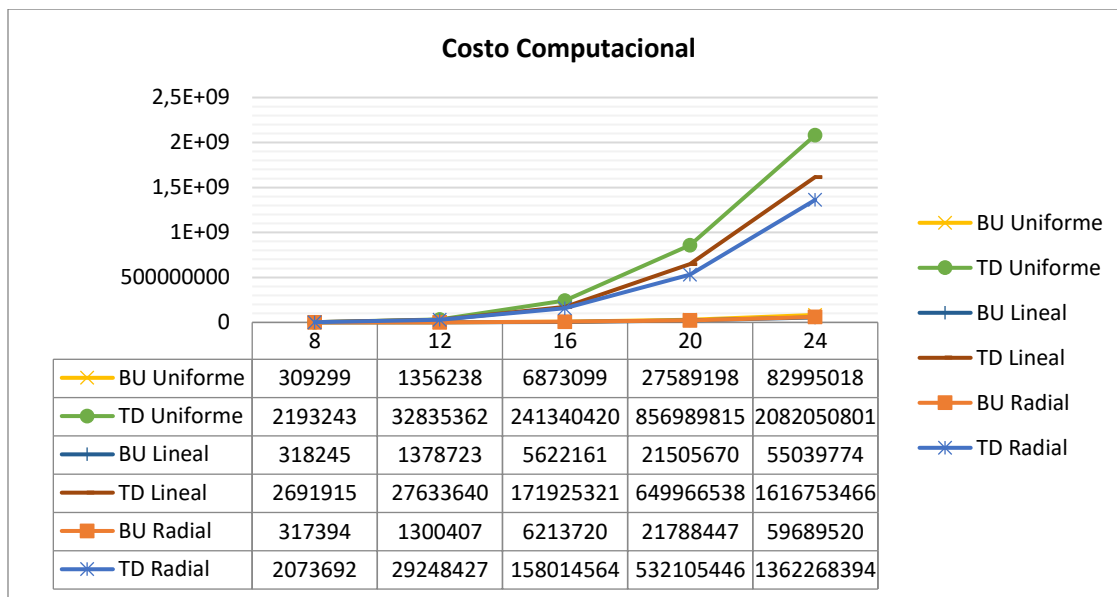


Figura 43: Gráfico de costo computacional en pruebas a distintos valores ancho x alto.

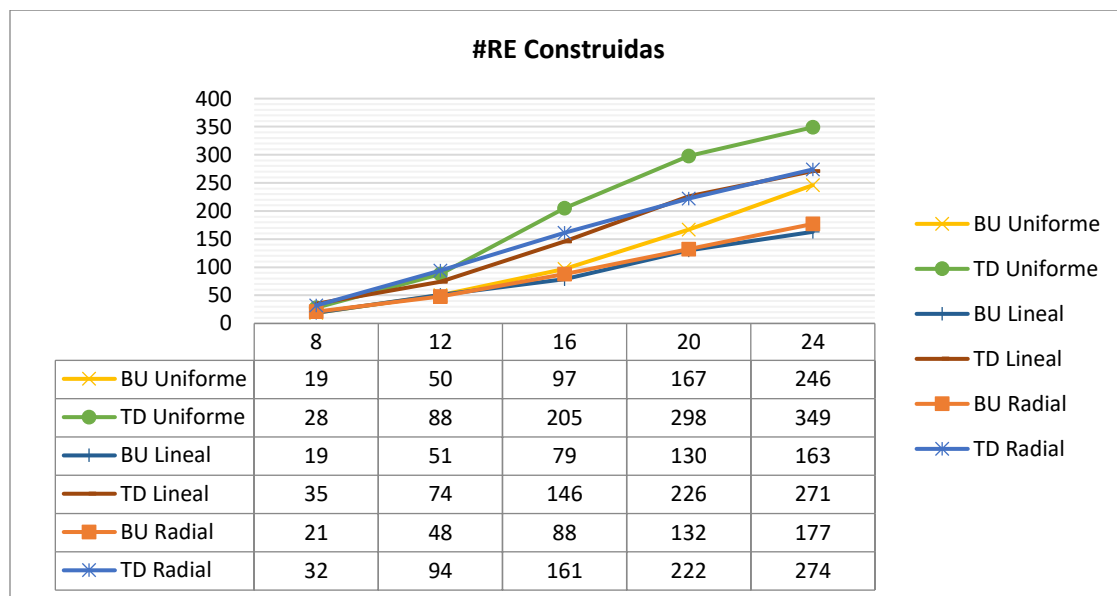


Figura 44: Gráfico de número de regiones de encubrimiento construidas en pruebas a distintos valores de ancho x alto.

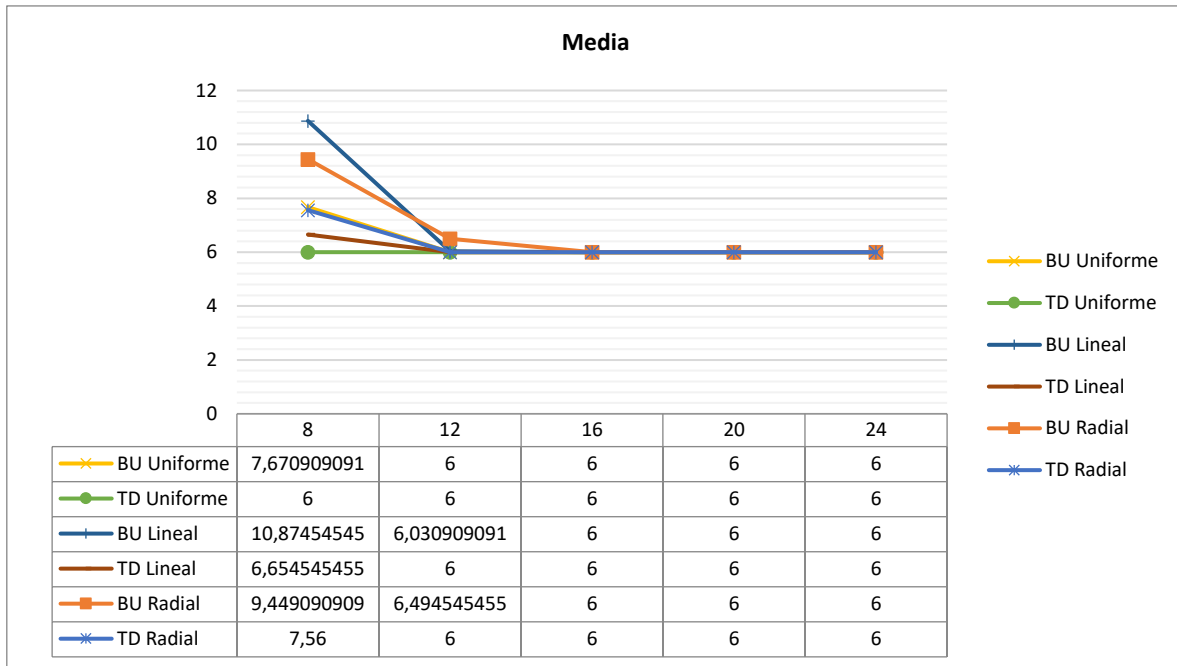


Figura 45: Gráfico de media en pruebas a distintos valores de ancho x alto.

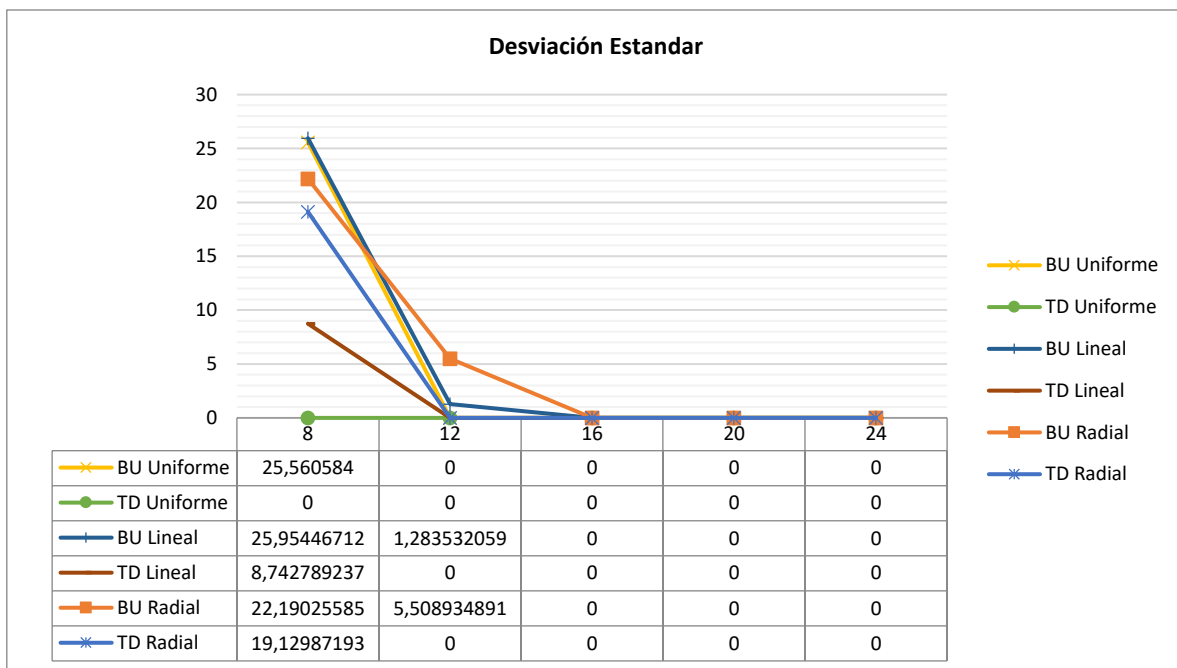


Figura 46: Gráfico de desviación estándar en pruebas a distintos valores de ancho x alto.

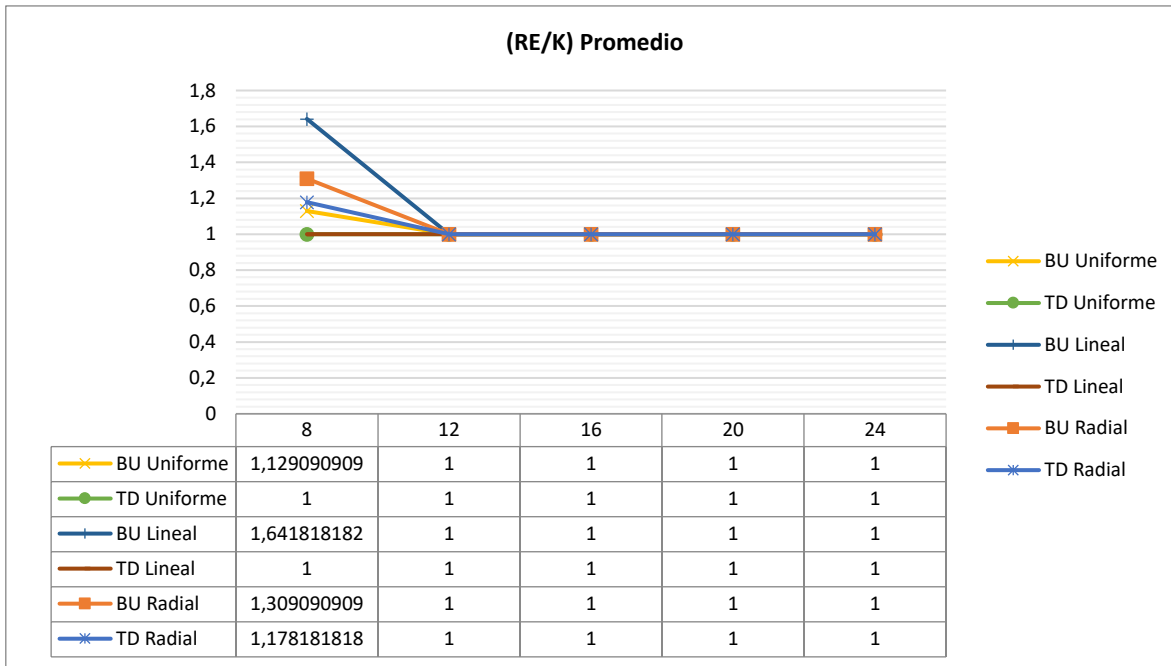


Figura 47: Gráfico de (RE/K) promedio en pruebas a distintos valores de ancho x alto.

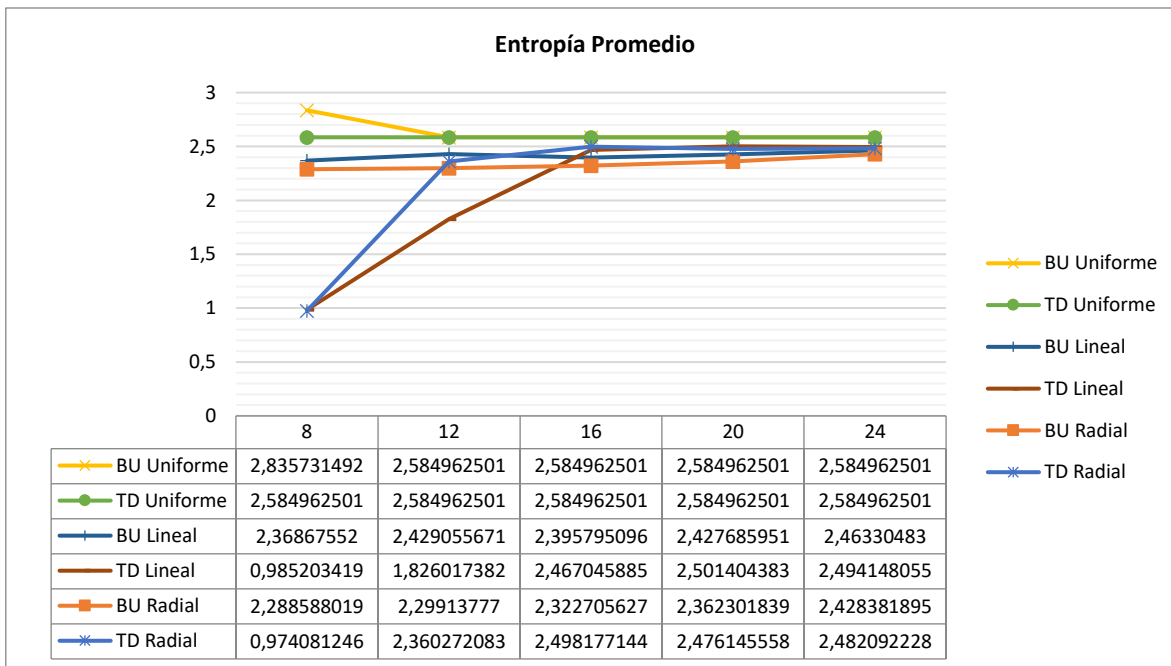


Figura 48: Gráfico de entropía promedio en pruebas a distintos valores de ancho x alto.

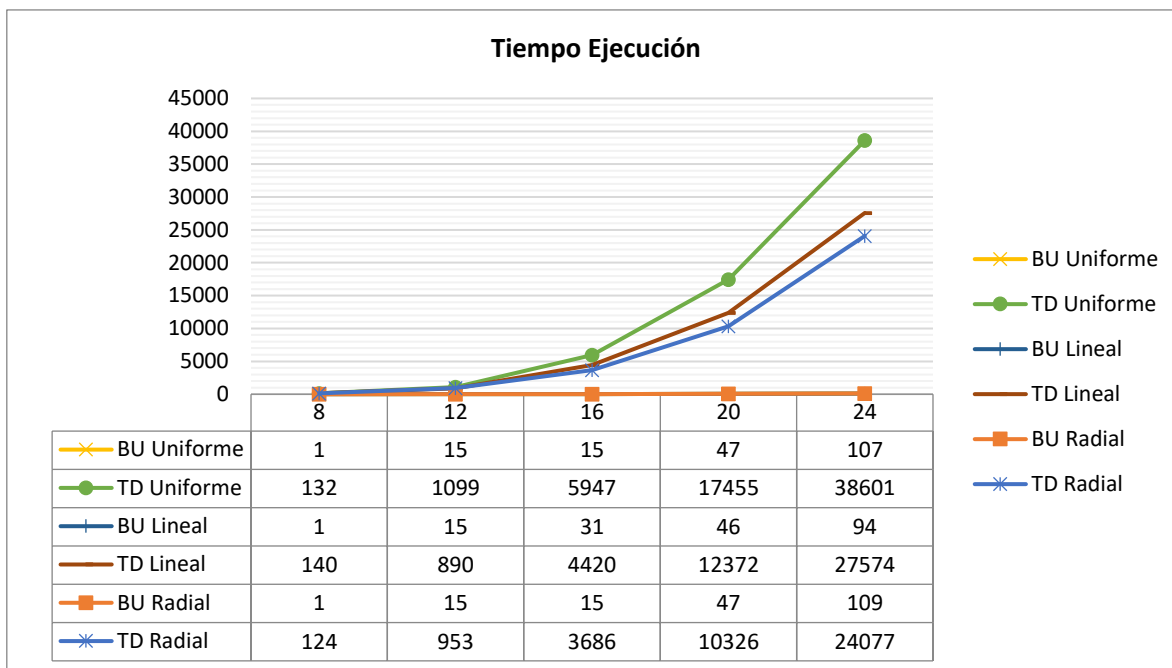


Figura 49: Gráfico de tiempo de ejecución en pruebas a distintos valores de ancho x alto.