



Universidad del Bío-Bío, Chile

Facultad de Ciencias Empresariales

Departamento de Sistemas de Información

“Esquema de encubrimiento de procesamiento por lotes para servicios basados en ubicación continuos encargados para la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas”

Tesis presentada por Carlos Patricio Faúndez Muñoz

para obtener el grado de Magíster en Ciencias de la Computación

Dirigido por Dr. Cristian Durán-Faúndez

Dr. Claudio Gutiérrez-Soto

2021

Índice

Índice	2
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	7
Resumen	8
Capítulo 1: Introducción	9
1.1. Motivación	9
1.2. Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
Capítulo 2: Conceptos preliminares	10
2.1. Seguridad computacional.....	10
2.1.1. Modelo CIA.....	10
2.1.2. Riesgos, amenazas y vulnerabilidades de la seguridad computacional.....	11
2.1.3. Relación entre el modelo CIA y los activos	12
2.1.4. Estrategias del modelo CIA.....	13
2.1.5. Seguridad física con respecto a la ubicación	14
2.2. Privacidad informática	14
2.2.1. Anonimato	14
2.2.2. Desvinculabilidad	14
2.2.3. Inobservabilidad	14
2.2.4. Seudónimo	15
2.3. Privacidad de ubicación	15
2.4. Privacidad de consultas.....	15
2.5. Servicios basados en ubicación (LBS).....	15
2.5.1. Sistema de posicionamiento global (GPS)	16
2.6. Técnicas	16
2.6.1. <i>k</i> -anonimato y regiones de encubrimiento.....	17
2.6.2. Seguridad física y regiones de encubrimiento.....	18
2.6.3. Ataques relacionados con las regiones de encubrimiento	19
2.6.4. <i>l</i> -diversidad	20
Capítulo 3: Trabajos relacionados	20
Capítulo 4: Metodología.....	23
4.1. Algoritmos utilizados para la protección	24

4.1.1. Protección de la ubicación.....	24
4.1.2. Protección de la consulta.	26
4.2. Simulación	29
4.2.1. Etapas del simulador.....	33
Iniciar el área de servicio	33
Construir las regiones de encubrimientos.....	34
Generar consultas	34
Generar movimientos de los usuarios.....	34
4.2.2. Métricas obtenidas desde la simulación	34
Capítulo 5: Resultados.....	36
5.1. Efecto de la privacidad de consultas (l)	36
5.2. Efecto del número de usuarios.....	39
5.3. Efecto de la privacidad de ubicación (k).....	42
5.4. Efecto de la velocidad de los usuarios (v)	46
5.5. Efecto de la seguridad física (θ)	48
5.6. Efecto de las áreas restringidas	49
Conclusiones.....	53
Trabajos futuros.....	53
Referencias	54
Anexos	57
Métrica: l	57
Bottom Up Uniforme.....	57
Top Down Uniforme	58
Bottom Up Exponencial 0.5	58
Top Down Exponencial 0.5.....	59
Bottom Up Zipf 2.0	60
Top Down Zipf 2.0	60
Métrica: Número de usuarios	61
Bottom Up Uniforme.....	61
Top Down Uniforme	62
Bottom Up Exponencial 0.5	62
Top Down Exponencial 0.5.....	63
Bottom Up Zipf 2.0	64
Top Down Zipf 2.0	65

Métrica: k	66
Bottom Up Uniforme.....	66
Top Down Uniforme	67
Bottom Up Exponencial 0.5	68
Top Down Exponencial 0.5.....	69
Bottom Up Zipf 2.0	70
Top Down Zipf 2.0	71
Métrica: Velocidad (v).....	73
Bottom Up Uniforme.....	73
Top Down Uniforme	74
Bottom Up Exponencial 0.5	75
Top Down Exponencial 0.5.....	76
Bottom Up Zipf 2.0	77
Top Down Zipf 2.0	79
Métrica: θ	80
Bottom Up Uniforme.....	80
Top Down Uniforme	80
Bottom Up Exponencial 0.5	81
Top Down Exponencial 0.5.....	82
Bottom Up Zipf 2.0	82
Top Down Zipf 2.0	83
Métrica: Áreas restringidas.....	84
Bottom Up Uniforme.....	84
Top Down Uniforme	84
Bottom Up Exponencial 0.5	85
Top Down Exponencial 0.5.....	86
Bottom Up Zipf 2.0	86
Top Down Zipf 2.0	87

Índice de Figuras

Fig. 1: Modelo CIA	11
Fig. 2: Área de servicio de 3x3 celdas.....	16
Fig. 3: Arquitectura general de anonimizador	17
Fig. 4: Área de servicio con 3 regiones de encubrimiento	18
Fig. 5: Ejemplo de área de servicio con dos áreas restringidas (áreas azules)	23
Fig. 6: Área de servicio espacio-temporal	26
Fig. 7: Ejemplo de árbol ontológico	27
Fig. 8: Distribución de árboles ontológicos en un área de servicio de 21x21 celdas	27
Fig. 9: Ubicación de los usuarios por distribución	30
Fig. 10: Estructura básica de mvr-tree implementado en simulador	32
Fig. 11: Ejemplos de rutas para los usuarios	33
Fig. 12: Área de servicio creada para simulación.....	36
Fig. 13: Usuarios que demandan l-diversidad (métrica l)	37
Fig. 14: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica l)	37
Fig. 15: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica l)	38
Fig. 16: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica l).....	38
Fig. 17: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica l).....	38
Fig. 18: Razón de ahorro computacional (métrica l).....	39
Fig. 19: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica usuarios)	40
Fig. 20: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica usuarios)	40
Fig. 21: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica usuarios).....	40
Fig. 22: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métricas usuarios)	41
Fig. 24: Razón de Ahorro computacional (métrica usuarios).....	41
Fig. 26: Regiones de encubrimiento construidas (métrica usuarios).....	41
Fig. 27: Entropía promedio de CR construidas (métrica usuarios)	42
Fig. 28: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento construidas (métrica usuarios)	42
Fig. 29: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica k)	43
Fig. 30: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica k)	44
Fig. 31: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica k)	44
Fig. 32: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica k)	44
Fig. 33: Razón de ahorro computacional (métrica k)	45
Fig. 35: Regiones de encubrimiento construidas (métrica k)	45
Fig. 36: Entropías promedio de CR construidas (métrica k)	45
Fig. 37: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica k)	46
Fig. 38: Dimensión de CR promedio / k (métrica k)	46
Fig. 39: Número de usuarios ubicados en área restringidas (métrica velocidad).....	47
Fig. 40: Regiones de encubrimiento construidas (métrica velocidad)	47
Fig. 41: Entropías promedio de CR construidas (métrica velocidad).....	47
Fig. 42: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica velocidad)	48
Fig. 43: Ahorro computacional para enfoque Bottom Up (métrica θ)	48
Fig. 45: Dimensión de CR promedio / k (métrica θ)	49
Fig. 46: Ejemplares de áreas restringidas definidas	50
Fig. 47: Número de usuarios ubicados en áreas restringidas (métrica área)	50

Fig. 48: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica área).....	51
Fig. 49: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica área)	51
Fig. 50: Regiones de encubrimiento construidas (métrica área)	51
Fig. 51: Entropía promedio de CR construidas (métrica área)	52
Fig. 52: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica área)	52

Índice de Tablas

Tabla anexa 1: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica l)	57
Tabla anexa 2: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica l)	58
Tabla anexa 3: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica l)	59
Tabla anexa 4: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica l).....	59
Tabla anexa 5: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica l)	60
Tabla anexa 6: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica l).....	61
Tabla anexa 7: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica usuarios)	62
Tabla anexa 8: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica usuarios).....	62
Tabla anexa 9: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica usuarios).	63
Tabla anexa 10: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica usuarios)	64
Tabla anexa 11: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica usuarios).....	65
Tabla anexa 12: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica usuarios).....	65
Tabla anexa 13: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica k).....	67
Tabla anexa 14: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica k)	68
Tabla anexa 15: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica k)	69
Tabla anexa 16: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica k).....	70
Tabla anexa 17: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica k)	71
Tabla anexa 18: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica k).....	72
Tabla anexa 19: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica velocidad)	74
Tabla anexa 20: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica velocidad).....	75
Tabla anexa 21: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica velocidad)	76
Tabla anexa 22: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica velocidad)	77
Tabla anexa 23: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica velocidad).....	78
Tabla anexa 24: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica velocidad)	80
Tabla anexa 25: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica θ).....	80
Tabla anexa 26: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica θ).....	81
Tabla anexa 27: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica θ).....	81
Tabla anexa 28: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica θ)	82
Tabla anexa 29: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica θ).....	83
Tabla anexa 30: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica θ)	83
Tabla anexa 31: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica áreas restringidas)	84
Tabla anexa 32: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica áreas restringidas)	85
Tabla anexa 33: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5(métrica áreas restringidas)	86
Tabla anexa 34: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5(métrica áreas restringidas)	86
Tabla anexa 35: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica áreas restringidas)	87
Tabla anexa 36: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica áreas restringidas)	88

Resumen

Hoy en día, las personas pueden acceder a una amplia gama de aplicaciones y servicios para usuarios de dispositivos móviles. Entre ellos, los servicios basados en la ubicación (LBS), donde la aplicación necesita la posición del usuario para brindar el servicio. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son Uber o Waze. Sin embargo, el uso repetitivo de LBS puede revelar información confidencial del usuario; por lo tanto, algunos LBS de dudosa procedencia podrían deducir los patrones de comportamiento, como las rutas diarias. Además, los términos sensibles de una consulta pueden proporcionar información sobre el estado de salud o la posición futura de un usuario cuando la consulta es sobre hospitales u hoteles. Por lo tanto, un adversario puede utilizar esa información con fines poco éticos y los usuarios necesitan técnicas que protejan su privacidad. En la actualidad, varias técnicas abordan por separado la privacidad de la ubicación, la seguridad física y la privacidad de las consultas. Hasta donde sabemos, ningún trabajo previo trata todos estos aspectos mencionados simultáneamente. Esta investigación propone utilizar dos enfoques publicados en la literatura (Bottom Up y Top Down) de procesamiento por lotes para proporcionar privacidad de ubicación y seguridad física en un contexto que considera un LBS continuo. Además, se presenta un nuevo enfoque que aplica l -diversidad (privacidad de consultas) en un contexto que contempla la dimensión espacio-temporal de los términos de las consultas. La experimentación extensa muestra que los enfoques son soluciones rentables y escalables que ofrecen privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas para muchos usuarios móviles.

Palabras claves: *Privacidad de ubicación; Seguridad de ubicación; Privacidad de consultas; Procesamiento por lotes; Servicios basados de la ubicación continuos.*

Keywords: *Location privacy; Location safety; Query privacy; Batch processing; Continuous location-based services (cLBS).*

Capítulo 1: Introducción

1.1. Motivación

En la seguridad informática existe una búsqueda incesante de técnicas, métodos para reforzar la privacidad de la información que se transmite a través de la red, donde estas técnicas y métodos debiesen asegurar que a pesar que la información sea vulnerada o interceptada, no presente un problema grave de privacidad y seguridad para el usuario.

Hoy en día, los usuarios cuando acceden a servicios que usan su ubicación, estas aplicaciones son denominadas como servicios basados en la ubicación (por sus siglas en inglés, LBS). Los LBS dan respuestas a los usuarios en base a la ubicación exacta actual, no obstante, esta liberación de la ubicación exacta de los usuarios puede conllevar a una violación a su privacidad y seguridad. En la literatura existe una variedad de técnicas que se preocupan de privacidad y seguridad del usuario cuando este quiere acceder al LBS, en su mayoría, utilizan un servidor intermediario denominado anonimizador, que se encarga de analizar el contexto y las demandas de los usuarios para aplicar las diferentes técnicas predefinidas. Las técnicas que más se utilizan para el propósito de resguardar la privacidad de ubicación y asegurar la seguridad física es el k -anonimato, la idea es dar una liberación segura de las ubicaciones de los usuarios y si es necesario ocultar la ubicación. Las solicitudes de los usuarios no están absueltas de vulnerabilidades, estas solicitudes, también denominadas como consultas, están conformada por términos, estos términos son palabras claves que se envían al LBS, pueden ser términos sensibles que si son capturadas por un adversario conlleva a que se identifique el comportamiento o estilo de vida de un usuario en particular. La técnica que se utiliza con frecuencia para camuflar la consulta real se denomina l -diversidad. En las diferentes investigaciones ya existentes, se encuentran técnicas que trabajan sobre un contexto donde los usuarios se encuentran en movimiento constante, denominados LBS continuos, u otro contexto donde se evalúa sólo un instante (timestamp) como si los usuarios estuvieran estáticos. Cuando se trabaja sobre LBS continuos, se considera un conjunto de timestamp donde se evalúan en tiempo real las diferentes solicitudes de los usuarios y el entorno donde se desenvuelven estos.

La problemática que se ha identificado es sobre el enfoque de las diferentes técnicas, si bien, existen técnicas que se preocupen de la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas, éstas se estudian por separado y en su mayoría bajo un contexto estático. Existen técnicas que su objetivo es asegurar la privacidad de ubicación y seguridad física, otras técnicas sólo aseguran la privacidad de consultas, pero no lo hacen de manera simultánea. Entonces, es necesario buscar un nuevo enfoque que se encargue de unificar la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas donde los usuarios se encuentren en un contexto dinámico.

Otra problemática es la identificación o generación de consulta de tal manera que se cumpla la l -diversidad para proveer privacidad de consultas, en la literatura no existe una gran variedad de enfoques para la l -diversidad, una de ellas es la definición de generación de consultas ficticias. Entonces, en esta investigación, se ha implementado una nueva técnica en una dimensión espacio-temporal basada en una relación ontológica, específicamente semántica relacionando los términos de las consultas relacionado en un espacio y en el tiempo.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Contar con un conjunto de algoritmos de procesamiento por lotes que le permitan al anonimizador mantener estabilidad ante un alto número de usuarios solicitando requisitos de privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas, y los costos de procesamiento en servicio basado de la ubicación continuos (LBSc).

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseñar e implementar un conjunto de algoritmos eficientes que permitan equilibrar los diversos requerimientos de usuario (privacidad de ubicación, seguridad física, privacidad de consulta basados en servicios continuos).
- Identificar ataques que se presentan en el estado del arte con respecto a las regiones de encubrimiento construidas.
- Implementar un nuevo enfoque para proveer privacidad de consultas basado en *l*-diversidad
- Realizar pruebas empíricas que permitan analizar el rendimiento de los algoritmos implementados.

Capítulo 2: Conceptos preliminares

Este capítulo comprende la parte teórica que será base para el desarrollo de esta investigación. Inicia con el estado del arte que abarca desde algunas definiciones necesarias sobre seguridad informática hasta técnicas que se han propuesto para conservar la privacidad y seguridad del usuario cuando necesita liberar su ubicación y su consulta.

2.1. Seguridad computacional

El manual de seguridad computacional de NIST define el término seguridad computacional como la protección brindada a un sistema de información autorizado para lograr los objetivos de preservar la integridad, disponibilidad y confidencialidad de los recursos del sistema de información (incluye hardware, software, firmware, información / datos y telecomunicaciones) [1]. En esta definición se introducen tres conceptos claves que están ligados con la seguridad computacional y forman lo que se conoce como el modelo CIA.

2.1.1. Modelo CIA

El modelo CIA (Confidencialidad, Integridad y disponibilidad/Availability) representa los objetivos fundamentales de seguridad tanto para los datos como para los servicios de información y computación [1].

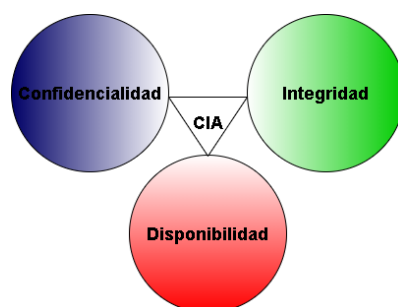


Fig. 1: Modelo CIA

La confidencialidad preserva las restricciones autorizadas sobre el acceso y la divulgación de información, incluidos los medios para proteger la privacidad personal y la información privada. Una pérdida de confidencialidad es el efecto de la divulgación no autorizada de información. Este término cubre dos conceptos:

- Confidencialidad de datos: Asegura que la información privada o confidencial no esté disponible o divulgada a personas no autorizadas.
- Confidencialidad de origen: Asegura que las personas controlen la información relacionada con ellos, que se puede recopilar y almacenar, por quién y a quién se puede divulgar esa información.

La integridad es la protección contra la modificación o destrucción de la información, lo que incluye garantizar el no repudio¹ y la autenticidad² de la información. Una pérdida de integridad es el efecto de la modificación o destrucción no autorizada de la información. Este término cubre dos conceptos:

- Integridad de datos: Asegura que la información y los programas se cambien solo de manera específica y autorizada.
- Integridad del sistema: Asegura que un sistema realice los diferentes procesos definidos de manera prevista, libre de manipulación deliberada o involuntaria del sistema.

Por último, disponibilidad o availability en inglés, es lo que garantiza el acceso oportuno, confiable y el uso de la información. Asegura que los sistemas funcionen con prontitud y no se deniegue el servicio a los usuarios autorizados. Una pérdida de disponibilidad es el efecto de la interrupción del acceso, uso de la información o del sistema.

2.1.2. Riesgos, amenazas y vulnerabilidades de la seguridad computacional

Para comprender lo que se presenta a continuación, es necesario saber qué debemos proteger. Un recurso del sistema o activo, es lo que los usuarios o propietarios deben proteger [1]. Los activos de un sistema informático se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Hardware: Incluye los sistemas computacionales y otros procesadores de datos, dispositivos de almacenamiento de datos y comunicación de datos.
- Software: Incluye el sistema operativo, utilidades y aplicaciones.

¹ Negar el envío de información habiendo pruebas de quien envió dicha información.

² Confirmación de que algo o alguien es legítimo.

- Datos: Incluye archivos y bases de datos, así como los datos relacionados con la seguridad, como los archivos de contraseñas³.

Los diferentes activos pueden presentar vulnerabilidades que significaría en riesgos y amenazas ya que existe la posibilidad de que un adversario ataque a este activo, para reducir esto, se deben definir contramedidas para mitigar y/o evitar el daño que se puede causar.

Se entiende por **vulnerabilidad** a una falla o debilidad en el diseño, implementación u operación y administración del sistema que podría ser explotada para violar las políticas de seguridad del mismo sistema. Una expectativa de pérdida expresada como la probabilidad de que una amenaza explote una vulnerabilidad con un resultado dañino, esto se conoce como **riesgo**. Una **amenaza** es una posible violación de la seguridad, que existe cuando sucede una circunstancia, capacidad, acción o evento que podría violar la seguridad y causar daños, es decir, una amenaza es un posible peligro que podría explotar una vulnerabilidad.

Existe una entidad que **ataca** o amenaza al sistema explotando las vulnerabilidades de los activos, a esta entidad se le denomina **adversario**, quien puede realizar un asalto a la seguridad del sistema que se deriva de una amenaza inteligente, es decir, un acto inteligente deliberado para evadir servicios de seguridad y violar las políticas de seguridad del sistema.

Para evitar que un adversario ataque o produzca más daño a un sistema, es necesario tener definido **contramedidas**, con esto se refiere a una acción, un dispositivo, un procedimiento o técnicas que reducen una amenaza, una vulnerabilidad o un ataque por eliminación o prevención, minimizando el daño que puede causar. También el accionar de las contramedidas puede identificar y notificar una amenaza o un ataque para poder tomar medidas correctivas.

Entonces, para todo sistema se debe identificar sus activos a proteger, qué vulnerabilidades y amenazas existen en estos activos, identificando los riesgos, ataques y el perfil de el o los adversarios para la definición temprana de contramedidas.

2.1.3. Relación entre el modelo CIA y los activos

Las clasificaciones de los activos (hardware, software y datos) están relacionadas con los conceptos de confidencialidad, integridad y disponibilidad ya mencionados [1]. En el caso del **hardware**, la **disponibilidad** es vulnerada cuando el equipamiento es robado o deshabilitado usando denegación o negación de servicio⁴.

En el caso del **software**, la **disponibilidad** es vulnerada cuando los programas son eliminados o el acceso es denegado para los usuarios; la **confidencialidad** es violada cuando se hace una copia desautorizada del software; la **integridad** es vulnerada cuando un programa en funcionamiento es modificado, por algún motivo falla durante la ejecución causado por otro proceso no intencionado.

En el caso de los **datos**, la **disponibilidad** es vulnerada cuando los archivos son eliminados o el acceso es denegado para los usuarios; la **confidencialidad** es violada cuando se realiza una lectura no autorizada de los datos (un análisis estadístico de los datos puede

³ Archivo donde se almacenan valores hash de la contraseña de un usuario en particular.

⁴ Ataque que busca colapsar los recursos de un sistema con el fin de congelar todo el sistema.

relevante datos funcionales); la **integridad** es vulnerada cuando los archivos existentes son modificados o se crean otros archivos sin autorización.

2.1.4. Estrategias del modelo CIA

Las estrategias para asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad son diferentes para cada concepto [1].

Para asegurar **confidencialidad** aparecen los siguientes mecanismos:

- **Encriptar:** Transformar un mensaje usando un secreto. Conociendo tal secreto es posible decodificar el mensaje. El uso de algoritmos matemáticos para transformar datos en una forma que no es fácilmente entendible. La transformación y la recuperación posterior de los datos dependen del algoritmo y en presencia de ninguna llave o una o más llaves de cifrado.
- **Control de acceso:** Reglas y políticas para restringir acceso a información confidencial.
- **Autorización:** Determinar si alguien o algo tiene acceso a un recurso o activo.
- **Seguridad física:** Barreras físicas para limitar acceso a recursos o activos protegidos.

Para asegurar **integridad** se hace uso de técnicas que emplean la redundancia de datos⁵. Estas pueden definir un esquema de seguridad ideal en aquel donde ningún ataque tiene éxito **previniendo violaciones de integridad**.

En varios casos, la protección absoluta no es factible, pero es práctico para detectar ataques de seguridad y **detectar violaciones de integridad**, por ejemplo, existen sistemas de detección de intrusos diseñados para detectar la presencia de personas no autorizadas que inician sesión en un sistema; otro ejemplo es la detección de un ataque de negación de servicio, en el que las comunicaciones o los recursos de procesamiento se consumen para que no estén disponibles para los usuarios legítimos.

Si se detecta un ataque en curso, como un ataque de negación de servicio, el sistema puede responder de manera tal que se detenga el ataque y se eviten daños adicionales y así **corregir violaciones de integridad**.

Los mecanismos para asegurar la **disponibilidad** son los siguientes:

- **Protección física:** La instalación de barreras o dispositivos que aseguren la entrega de datos y que los activos estén funcionando correctamente, entre ellos están, los generadores eléctricos (UPS⁶), muros blindados contra explosiones, muros antisísmicos, muros anti-radiación, etc.
- **Redundancia computacional:** Es la réplica de datos para almacenarlas en otro lugar con el fin de que siempre estén disponibles para su obtención y uso. La instalación de RAID⁷ y granjas de servidores son ejemplos de redundancia computacional.

⁵ Múltiples copias de los datos ya sea lógicamente o físicamente, centralizados o distribuidos.

⁶ Uninterruptible Power Supply, por su traducción, Sistemas de alimentación ininterrumpida

⁷ Redundant Array of Independent Disks, por su traducción, Matriz Redundante de Discos Independientes.

2.1.5. Seguridad física con respecto a la ubicación

No confundir con seguridad física definido en confidencialidad, este concepto de seguridad física está orientado a la ubicación física de algún activo o usuario y es uno de los temas importantes para esta investigación.

Consiste en conceder un grado de seguridad con respecto al área que está ubicado un dispositivo, persona o activo, esto quiere decir que para un adversario sea difícil ubicar presencialmente activos o personas específicas y hacer acciones deliberadas sobre estos activos o personas, ya sea destruirlos o interceptarlos [2], [3].

2.2. Privacidad informática

La Real Academia Española RAE, define privacidad como algo privado o ámbito de la vida privada que se tiene derecho a proteger de cualquier intromisión [4]. Si se inclina la definición de privacidad hacia un punto de vista jurídico, privacidad es la facultad de una persona de prevenir la difusión de datos pertenecientes a su vida privada que, sin ser difamatorios ni perjudiciales, esta desea que no sean divulgados [5]. Esta última definición, introduce el término *datos*, entonces se podría decir que se acerca bastante al manejo de la información a través de la tecnología.

El término privacidad tiene una fuerte relación con la confidencialidad ya mencionada en el modelo CIA (sección 2.1.1). La diferencia está en que la privacidad está orientada a resguardar lo que es privado para los usuarios y los datos que transmite este, a contraste de la seguridad informática que es un conjunto de mecanismos para asegurar la confidencialidad de los datos, entre otros conceptos.

La privacidad tiene asociado varios términos donde los más generales e importantes son los términos de anonimato (anonymity), desvinculabilidad (unlinkability), inobservabilidad (unobservability) y seudónimo (pseudonymity) [6].

2.2.1. Anonimato

El anonimato de un sujeto significa que el sujeto no es identificable dentro de un conjunto de sujetos, el conjunto de anonimato. Para permitir el anonimato de un sujeto, siempre tiene que haber un conjunto apropiado de sujetos con aproximadamente los mismos atributos [6].

2.2.2. Desvinculabilidad

La desvinculabilidad de dos o más elementos de interés (por ejemplo, temas, mensajes, acciones, etc) desde la perspectiva de un adversario significa que dentro del sistema este no puede distinguir si estos elementos de interés están relacionados o no [6]. Por ejemplo, desvincular que para tener anonimato debe existir un margen de error del 0.25% entre los usuarios, entonces el adversario no podrá asociar los usuarios a través de una relación entre ellos, de gustos, compras, etc.

2.2.3. Inobservabilidad

Que un usuario sea inobservable significa que a base de los elementos de interés sea indetectable comparado con todos los usuarios que no están involucrados en él. También debe existir anonimato para los usuarios que estén involucrados con los elementos de interés

[6], es decir, un usuario no debe ser detectado ya sea por ser diferente o igual a un grupo de otros usuarios.

2.2.4. Seudónimo

Un seudónimo es un identificador de un usuario que no sea uno de los nombres reales del mismo usuario. En muchas aplicaciones, se necesitan algún tipo de identificación a los usuarios que no ponga en riesgo en que se sepa la identificación real del usuario, este tipo de identificación debe ser único para cada usuario [6].

2.3. Privacidad de ubicación

Los usuarios al momento de acceder a un servicio que necesita su ubicación, estos deben tener un dispositivo que logre obtener su localización exacta en ese momento, la liberación o transmisión de esta información puede conllevar a un peligro en la *privacidad de ubicación* de los usuarios.

La privacidad de ubicación consiste en preservar la información de ubicación del usuario al momento de acceder a algún servicio que necesita esta información, ocurre una violación a la privacidad de ubicación cuando un adversario puede identificar la ubicación exacta del usuario por medio de ataques de ingeniería social o estadísticos, se puede comprometer aún más la privacidad del usuario cuando se logra identificar el estilo de vida y/o acciones cotidianas del usuario [3], [7], [16]–[20], [8]–[15].

2.4. Privacidad de consultas

Los usuarios al momento de acceder a un servicio, además de la ubicación se necesita que envíen *consultas*. Los términos de una consulta describen lugares, sitios, calles, locales de todo tiempo, etc. De igual forma que la privacidad de ubicación, significa una vulnerabilidad de privacidad de consulta cuando un adversario intercepta las consultas enviadas del usuario para aprender sobre el comportamiento del usuario y las frecuencias donde acude el usuario a ciertos lugares [11], [12], [21]–[25], por ejemplo, Si un usuario busca mucha información sobre disponibilidad de cabañas u hoteles para el mes de febrero en Villarrica considerando toda su familia; esto podría revelar que su hogar podría quedar sin moradores en dicho mes, así dicha información podría ser usada maliciosamente para cometer un robo.

2.5. Servicios basados en ubicación (LBS)

Los servicios basados en localización (LBS) proveen servicios personalizados para usuarios de smartphones o tablets aprovechando la información de ubicación. Estos servicios son utilizados por los usuarios a través de aplicaciones que usen algún dispositivo de localización (más común el sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés GPS) incorporados en smartphones o tablets, algunas de las aplicaciones que usan LBS son Google Maps, Uber, foursquare, Waze por mencionar algunos [26].

LBS tiene una arquitectura común, como se ilustra en Fig. 3, que consta de cuatro entidades principales: El dispositivo móvil, los sistemas de posicionamiento, red de comunicación y proveedores de servicio. Los usuarios utilizan sus dispositivos móviles para enviar consultas al servidor del LBS. Las ubicaciones en las consultas son obtenidas a través del sistema de posicionamiento como GPS. Las consultas, que son respondidas por el

servidor LBS, son transmitidas vía redes de comunicación, como 4G o WiFi. Cabe mencionar que los servidores LBS son los proveedores de servicio, que reparte las consultas con su respuesta basado en la información de la ubicación, es por esto que necesitan ser protegidas ante ataques. Entre las soluciones convencionales están la encriptación y el uso de hashing para proteger la confidencialidad e integridad de las consultas y las respuestas transferidas por las redes, pero es bien sabido que con las soluciones convencionales no es suficiente [26].

Se identifican dos tipos de LBS que están relacionados con el escenario que se está estudiando: En los LBS esporádicos es cuando los usuarios están estáticos y solo se analizan en un instante de tiempo cuando realizan consultas, en cambio, los LBS continuos es cuando los usuarios se consideran que están en movimiento, ya que el estudio analiza con más de un instante de tiempo donde los usuarios pueden cambiar o mantener su posición y consulta.

2.5.1. Sistema de posicionamiento global (GPS)

Sistema de posicionamiento global o por sus siglas en inglés GPS, es un sistema de posicionamiento y temporización basado en satélites que incluye satélites de órbita terrestre, estaciones terrestres y un gran número de receptores que crece rápidamente. Actualmente, más de treinta satélites GPS están en órbita alrededor de la Tierra [27].

Pero lo que interesa es el sistema de seguimiento GPS, que es un dispositivo que utiliza el sistema de posicionamiento global para determinar la localización exacta de un vehículo, persona u otro activo al que se adjunta y registrar la posición del activo a intervalos regulares [28], hoy en día, este dispositivo está en todos los smartphones del mercado. El sistema de seguimiento mide la posición de un usuario en el sistema de coordenadas utilizando la latitud y longitud, un sistema de coordenadas angulares esféricas cuyo centro es el centro la de Tierra.

2.6. Técnicas

Existe un vasto número de técnicas en la literatura para conservar la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas. El enfoque de *las regiones de encubrimiento* ha resultado ser el más utilizado por su efectividad a la hora de dar a conocer cierta información que al ser captado por un adversario no puede identificar de quién se trata [17].

Se considera que existe un área donde están los usuarios, esta área está dividida en celdas de igual tamaño. Una región de encubrimiento es un conjunto de celdas del área total elegidas por medio de un método.

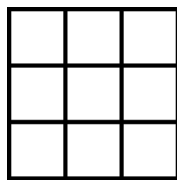


Fig. 2: Área de servicio de 3x3 celdas

Para construir la región de encubrimiento es necesario la utilización de un middleware entre el usuario y el LBS llamado anonimizador o anonymizer, que es un dispositivo de cómputo que se encarga de analizar a un usuario que solicita un servicio basado en la

ubicación junto con su consulta, el área donde está ubicado y su entorno (demás usuarios). En base a este análisis, ejecuta los diferentes algoritmos que definen las diferentes técnicas para preservar la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consulta, para finalmente obtener consultas y regiones que ofusque la información real y ser enviadas al LBS. Luego recibe las respuestas desde el LBS, el anonimizador se encarga de analizarlos y enviar la respuesta que más aporta a la consulta real de usuario en base a su ubicación.



Fig. 3: Arquitectura general de anonimizador

2.6.1. k -anonimato y regiones de encubrimiento.

Para aquellos usuarios que mandan consultas a un servidor LBS, si no se preocupa de resguardar la privacidad, es fácil para un adversario usar el ataque de hombre en el medio (en inglés, Man-In-The-Middle) que consiste en interceptar la comunicación entre hosts sin que estos se den cuenta y, por ende, el adversario sabe que es lo que se está transmitiendo y comunicando. Entonces, captar la consulta y obtener datos precisos del usuario pueden dar con datos e información privadas del usuario. En la literatura existe un enfoque que incluye un modelo de protección formal llamado k -anonimato [26].

Una liberación de información proporciona protección de k -anonimato si la información no se puede distinguir de al menos $k - 1$ usuarios cuya información también aparece en sus liberaciones [17], [26].

Como se muestra en la Fig. 4, existe un área donde se identifican 3 regiones de encubrimiento, esto quiere decir, que los actores que comparten esta región, tienen información similar. Por ejemplo, si un usuario quiere consultar sobre el bar más cercano, para asegurar privacidad de ubicación en esta consulta, se debería buscar $k - 1$ usuarios que tiene las mismas preferencias, identificar un área donde estén estos k usuarios, esta área es denominada como región de encubrimiento, y se envía esta consulta con la información de ubicación en base a esta área. Entonces, si un adversario intercepta esta consulta, aún podrá saber qué se está consultando, pero la privacidad del usuario está asegurada ya que tiene información de k usuarios con la misma consulta. Además, tener la información de ubicación que no es un punto, sino de un área.

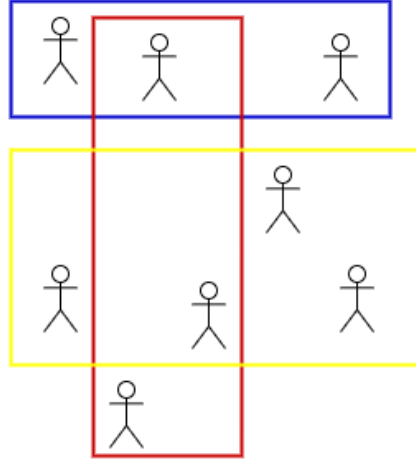


Fig. 4: Área de servicio con 3 regiones de encubrimiento

La métrica utilizada para verificar si una región de encubrimiento cumple con una protección mínima de privacidad de ubicación es la entropía [3], [29]. El anonimizador se encarga de seleccionar al menos k celdas para maximizar la entropía. Para hacer esto, cuando los usuarios reportan sus ubicaciones actuales, el anonimizador mantiene una cuenta de la frecuencia de consultas emitidas desde una celda. La probabilidad de consulta se define como:

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

Entonces, la entropía de una región CR dada, denotada por $H(CR)$ es calculada de la siguiente forma:

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

Donde p_j corresponde a la probabilidad de consulta normalizada de una celda c_j . p_j se define como $p_j = \frac{q_j}{\sum_{i=1}^K q_i}$. Mientras más alto es el valor de la entropía, mejor es la protección a la privacidad de ubicación [3].

2.6.2. Seguridad física y regiones de encubrimiento

Si bien, las regiones construidas con ayuda del k -anonimato en rigor ocultan la ubicación exacta del usuario, esto no significa que sea totalmente así, depende del número de usuarios que están en una región de encubrimiento, por ejemplo, si existen sólo dos usuarios en una región de encubrimiento, el adversario puede corroborar físicamente cuales son estos dos usuarios que están en la región. Entonces la idea es también que las regiones construidas sean suficientemente seguras para que se pueda dar a conocer, con lo anterior estamos hablando que se debe preocupar de la *seguridad física* de la región de encubrimiento.

La técnica que se utiliza para cuantificar la seguridad física es el *nivel de seguridad*. El usuario tiene el poder de definir un valor denominado theta (θ) que define el grado de

seguridad física que debe tener como mínimo una región de encubrimiento, esto depende de la dimensión de la región de encubrimiento y cuando usuarios están en dicha región de encubrimiento. El siguiente enfoque es similar a lo publicando en la investigación de Xu y Cai [3].

Se define el nivel de seguridad (safety level) de una región de encubrimiento como $SL(CR) = \frac{A(CR)}{N(CR)}$ donde $A(CR)$ es el área de la región de encubrimiento y $N(CR)$ es el número de usuarios móviles dentro de la región de encubrimiento. Para que se cumpla el nivel de seguridad para un usuario se debe cumplir que $SL(CR) \geq \theta$. Se debe considerar que para esta investigación, se ha considerado que las celdas que construyen una región de encubrimiento son k -celdas disjuntas, entonces $SL(CR)$ en este caso, se define como:

$$SL(CR) = \frac{\sum_{i=1}^K A_i}{\sum_{i=1}^K \#Usuarios\ móviles\ dentro\ de\ c_i}$$

Del mismo modo, para esta investigación, todas las celdas son del mismo tamaño, por lo que se puede simplificar de la siguiente manera:

$$SL(CR) = \frac{A}{\frac{1}{K} * \sum_{i=1}^K \# Usuarios\ en\ c_i} \quad (2)$$

Mientras más alto sea el valor de nivel de seguridad de una región de encubrimiento, mejor es la protección de seguridad física.

2.6.3. Ataques relacionados con las regiones de encubrimiento

Uno de los objetivos de esta investigación es identificar ataques respecto al movimiento de los usuarios cuando se construyen regiones de encubrimiento, esto son identificados y definidos por [12], [16], [30]. Los ataques son los siguientes:

- **Ataque por inferencia:** Este ataque tiene éxito sólo cuando un adversario puede obtener la ubicación del usuario mediante la captura de varias ubicaciones emitidas en el pasado con información pública conocida. De manera similar, decimos que este ataque es exitoso cuando un adversario puede concluir qué consultas emitió algún usuario en algún instante.
- **Ataque por colusión:** Este ataque se lleva a cabo cuando varios adversarios colaboran e intercambian ubicación y consultas de los usuarios para realizar ataques de inferencia.
- **Ataque de accesibilidad:** Este ataque se da en dos casos: Cuando el adversario se entera que no hay camino en el área de servicio para viajar desde algún punto de CR_1 hasta otro punto de CR_2 . O cuando puede deducir que a pesar que el camino existe, no es factible viajar desde algún punto de CR_1 a otro punto de CR_2 en el intervalo que comprende estas dos regiones, esto depende de la velocidad que viaje un usuario. Estos dos casos ayudan al adversario a descartar un conjunto de puntos donde es imposible que esté un usuario si se cumplen los casos anteriores.

2.6.4. *l*-diversidad

Es similar a *k*-anonimato, solo que no se usa sobre la ubicación ni en la seguridad física, sino que se usa sobre los términos que contiene una consulta. Cuando un usuario realiza una consulta compuesta de atributos, la información de estos atributos puede revelar datos importantes sobre patrones de comportamientos de dicho usuario. La privacidad de consulta toma realce sobre todo cuando los términos utilizados en la consulta pueden revelar información importante del usuario [11], esto lo denominaremos términos sensibles.

Esta técnica consiste en proveer privacidad de consulta, se utiliza la técnica de *l*-diversidad. Consiste en crear $l - 1$ consultas muy similares en contexto y frecuencia a la consulta real [21], es decir, entre l consultas, el adversario no será capaz de distinguir con facilidad entre un conjunto de consultas no reales de la consulta real.

Capítulo 3: Trabajos relacionados

En esta sección, se considera el trabajo relacionado con aquellas técnicas que involucran a más de un enfoque. Todos los trabajos que se mencionan a continuación, tratan principalmente de dos servicios, privacidad de ubicación y privacidad de consultas, considerando un contexto donde los usuarios están en constante movimiento. Algunas simulaciones se basan en mapas de la ciudad, sin embargo, solo un enfoque utiliza diferentes probabilidades de distribución para cubrir un espectro más amplio de conclusiones empíricas.

En [22], se presenta un esquema novedoso basado en ofuscar consultas que protege la privacidad de las consultas en LBS continuo. El esquema llamado DUMMY-Q proporciona consultas ficticias, que consideran el contexto de la consulta y los modelos de movimiento del usuario. Según los investigadores, este esquema no necesita la existencia de un tercero de confianza. Con el objetivo de reducir los requisitos de costo computacional y de almacenamiento, DUMMY-Q utiliza un árbol cuádruple. Para considerar el contexto, se utilizan registros de consultas históricas al mismo tiempo que se utiliza la densidad de carreteras para realizar simulaciones. Específicamente, la información de densidad de carreteras se obtuvo de la segunda edición del sistema Topological Integrated Geographic Encoding and Referencing (TIGER) publicado por la Oficina del Censo de EE. UU. En 2006, los valores de los atributos de servicio se obtuvieron utilizando la distribución uniforme y Zipf, mientras que el generador de Brinkhoff da las instantáneas. Se evaluaron dos métricas de rendimiento para la protección de la privacidad: la tasa de éxito de consultas (QSR), que se ocupa de la cantidad de consultas ficticias, y el tamaño promedio del conjunto de candidatos que captura la cantidad promedio de atributos de servicio. Los resultados empíricos afirman que el problema de garantizar tanto la utilidad como la privacidad para las inserciones de consultas ficticias es NP-completo; Su enfoque basado en la heurística puede proporcionar consultas ficticias.

En [8], con el objetivo de mejorar los tiempos de respuesta de las consultas sin disminuir el grado de protección de la privacidad, se propone un método en línea que se basa en el reemplazo de la región de privacidad (PRR). Para lograr este objetivo, se crea una región de privacidad al principio, teniendo en cuenta la densidad de personas y los requisitos de privacidad. A partir de esto, la región de privacidad se cambia a una región anónima basada en la distribución de personas en la región de privacidad. Posteriormente, se determina el grado de cobertura entre la consulta del usuario y la región anónima, por lo que se emplea la

nueva región de consulta para enviar la consulta en línea. Se utilizaron simulaciones para evaluar las densidades de las personas, mientras que el conjunto de datos utilizado fue Thomas Brinkhoff (Generador de objetos en movimiento basado en red). Las métricas evaluadas corresponden al grado de k -anonimato, el tiempo de respuesta a la consulta y la densidad de personas. Los resultados empíricos se comparan con Casper, Fragment y ARC. Los resultados finales indican una reducción de al menos un 17,33% para la PRR en comparación con los otros enfoques.

En [31], se expone una preservación de privacidad basada en caché (CBPP). Desde el punto de vista de los investigadores, el uso de este enfoque disminuye la probabilidad de conocer la posición real de los usuarios porque solo en algunos casos, las posiciones reales se envían al LBS. Este enfoque se ocupa tanto de la privacidad de la ubicación como de la privacidad de las consultas, al mismo tiempo que evita el problema de un servidor de terceros de confianza (TTP) a través de la colaboración entre usuarios en un entorno móvil peer-to-peer (P2P). En este enfoque, cada usuario tiene un búfer en su dispositivo móvil para almacenar los datos del servicio, que funciona como un servidor micro TTP. A grandes rasgos, el usuario solo interactúa con el LBS cuando sus vecinos no tienen los datos que busca. En consecuencia, una menor interacción entre los usuarios y LBS implica menos riesgo para la privacidad de los usuarios. En los experimentos, 1000 móviles de usuarios se distribuyeron en una red P2P. Para proporcionar privacidad a las consultas, se utiliza la l -diversidad. Las métricas evaluadas comprenden los efectos de la l -diversidad sobre el uso de la caché, considerando también el tiempo. CBPP se contrasta con los esquemas DLS, Mobicache y MobiCrowd. Los resultados empíricos muestran mejores resultados para CBPP con respecto a otros esquemas.

En [32], se describe un esquema de generación ficticia, que contempla la estructura jerárquica de la dirección (DGS-HSA). DGS-HSA proporciona un método basado en celdas novedoso que divide el conjunto de datos de ubicación histórica teniendo en cuenta la división de la región administrativa. En un intento por proteger la ubicación del usuario, la privacidad de las consultas y la información de la organización, se realizaron selecciones ficticias del conjunto de datos de ubicación histórica considerando una estructura de cuadrícula de dos niveles. Con el objetivo de ajustar el nivel de protección de la privacidad y la sobrecarga del sistema, se resuelve un problema de optimización multiobjetivo para demostrar la conveniencia del esquema. Este esquema implica el envío de consultas continuas al LBS por parte del usuario en el sitio. Para ello, se eligen k ubicaciones de ubicaciones históricas como variables ficticias. DGS-HSA funciona así, en primer lugar, DGS-HSA divide un área de la ciudad donde los usuarios están en diferentes redes con estructuras de dos niveles. En ese sentido, cada cuadrícula ejemplifica una organización, y todas las ubicaciones históricas se agrupan en estas cuadrículas de acuerdo con sus organizaciones. Con respecto al entorno experimental, se utilizaron el conjunto de datos Geolife Trajectories 1.3 y el conjunto de datos POI de Amap. Las métricas estudiadas están relacionadas con el equilibrio entre la protección de la privacidad y la sobrecarga del sistema. A pesar de lograr un buen equilibrio, los autores afirman que los resultados finales dependen fundamentalmente de si el conjunto de datos de ubicación histórica considera suficientes áreas como áreas poco pobladas o inaccesibles.

En [15], se presenta un modelo teórico para la ofuscación de la ubicación; este modelo permite la especificación de diferentes niveles de ofuscación. Para aclarar la eficacia del

modelo propuesto, los autores analizan un mecanismo de ofuscación popular basado en cuadrículas cuadradas, centrándose principalmente en los mecanismos de preservación de la privacidad basados en la ofuscación. Para modelar la ofuscación, se presentan dos enfoques: Local y Global. En términos generales, la diferencia entre ambos enfoques está dada por el uso o no uso de las ubicaciones reales de otros usuarios. Considerando un escenario donde se realizan consultas continuas, el enfoque Local se expresa mediante un modelo formal. Con el objetivo de cuantificar la privacidad de la ofuscación, se define una probabilidad considerando la ubicación basada en cuadrícula. Según los autores, una ventaja de las técnicas basadas en la ofuscación es que la ubicación real del usuario se asigna a una ubicación inexacta y, por lo tanto, no es necesario modificar la arquitectura original de LBS. Además, los investigadores señalan que sus resultados teóricos pueden extenderse a otras técnicas de preservación de la privacidad.

A diferencia de trabajos anteriores, en [3], los autores proponen dos algoritmos escalables que se ocupan de dos servicios: privacidad de la ubicación y seguridad física. Con ese fin, los algoritmos consideran usuarios cercanos entre ellos, considerando sus requerimientos en un procesamiento por lotes. Los algoritmos se denominan Bottom up y Top-Down según su forma de trabajar. El algoritmo Bottom up busca en primer lugar una pequeña región de encubrimiento candidata, que cumpla con los parámetros de servicio del usuario más demandante. Por el contrario, el algoritmo de Top-Down supone que toda el área es el candidato inicial disminuyendo la región de encubrimiento hasta que se alcanzan los requisitos de todos los usuarios. Extensos experimentos evaluaron cuatro métricas, costo computacional, tamaño de una región de encubrimiento, número de regiones de encubrimiento construidas y entropía de una región de encubrimiento. Los experimentos se realizaron mediante simulación considerando Zipf, distribución exponencial y uniforme para distribuir a los usuarios en la región. El algoritmo Bottom-Up muestra una buena calidad de equilibrio de una región de encubrimiento y su tamaño. De lo contrario, el algoritmo Top-Down proporciona resultados recomendables cuando se considera la calidad y el número de regiones de encubrimiento construidas a pesar del alto costo computacional. Por cierto, tenga en cuenta que este trabajo no contempla usuarios en movimiento.

En resumen, ninguna de las investigaciones mencionadas aborda más de dos servicios. Por lo tanto, no es factible evaluar cómo los diferentes servicios afectan directamente el desempeño de LBS. Además, excepto [3], se estudian pocas configuraciones iniciales de usuarios en la red. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, en esta investigación consideramos tres servicios, utilizando diferentes configuraciones iniciales de usuarios en la red en un entorno donde los usuarios están en constante movimiento.

Capítulo 4: Metodología

La metodología de trabajo definida para esta investigación es con el fin de cumplir con los objetivos establecidos. Se establece los diferentes algoritmos y estructuras de datos para llevar a cabo la simulación donde los usuarios se mueven en un área de servicio, hacen consultas y se les provee privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas.

En primer lugar, se asume que el esquema básico de sistema usa un simple servidor anonimizador para gestionar los requisitos de privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas demandados por muchos usuarios móviles. Para procesar de manera eficiente cada solicitud de protección de privacidad de ubicación y seguridad física, se ha particionado un área geográfica en un conjunto de $n \times n$ celdas disjuntas de igual tamaño. Mientras un usuario u se está moviendo, este puede enviar sus solicitudes de protección de la ubicación y anonimización de la consulta. Estas solicitudes consisten de que un usuario se encuentra en una posición representada como un punto 2D (X_u, Y_u) , la consulta basada en la ubicación, k_u -anonimato demandado para la privacidad de ubicación, seguridad física demandada (θ) , y l_u -diversidad para la privacidad de consultas.

Se asume que el anonimizador recibe un gran conjunto de consultas y requisitos heterogéneos para la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas. Este anonimizador encola todas las solicitudes de anonimización en una lista de espera denotada como U . Finalmente, el sistema retorna para cada uno de los usuarios en U una región de encubrimiento denotado como CR_u que cumple con los requisitos demandados por los usuarios. Para cada celda, el servidor mantendrá una estructura de datos para estimar la probabilidad de emisión de un tipo de consulta de una celda. Específicamente, se habla de la probabilidad de consulta (sección 2.1.6 ecuación (1)).

En esta investigación se abordan todas las solicitudes de los usuarios con respecto a la privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consulta, es decir, que se encarga de un procesamiento de lotes, esto puede generar problemas de sobrecarga computacional. No obstante, para el área de servicio se ha agregado una característica descrita en [33], que consiste en identificar un área denominada como área restringida; son lugares donde los usuarios se encuentran con mayor frecuencia y/o son lugares que son de propiedad de los usuarios, por ejemplo, su hogar o lugar de trabajo. Esto establece que es necesario construir una región de encubrimiento sólo cuando los usuarios están en un área restringida, en caso contrario no es necesario, de igual forma los usuarios pueden solicitar una región de encubrimiento.

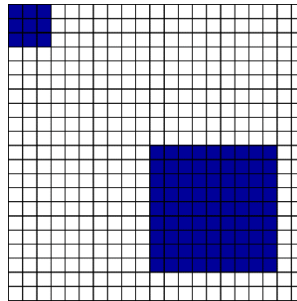


Fig. 5: Ejemplo de área de servicio con dos áreas restringidas (áreas azules)

4.1. Algoritmos utilizados para la protección

En esta sección se explicarán las técnicas utilizadas para proteger a los usuarios en base a los requisitos de privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas. Las técnicas utilizadas son seleccionadas desde la literatura y una nueva técnica que se implementa en esta investigación.

4.1.1. Protección de la ubicación

Para la protección de la ubicación, se construyen regiones de encubrimiento siguiendo un enfoque similar establecidos en [3], [18] y [32]. Cabe señalar que la protección de ubicación cubre la privacidad de ubicación y la seguridad física.

Antes de construir una región de encubrimiento para un usuario o un conjunto de usuarios, se debe analizar los requisitos de estos, estamos hablando de k_u -anonimato y nivel de seguridad física (θ). Para la construcción básica de una región de encubrimiento, el número de celdas debe ser al menos k_u celdas, este conjunto de celdas debe tener un nivel de seguridad de tal forma que sea mayor o igual al nivel de seguridad demandado por el usuario y que dicho conjunto de celdas tengan una entropía máxima comparado con otras regiones de encubrimiento candidatas.

Para la construcción de las regiones de encubrimiento se utilizarán dos enfoques que se preocupan de los requisitos de los usuarios; k -anonimato, nivel de seguridad (θ), y la selección de celdas de tal manera que se maximice la entropía. Estos dos enfoques son denominados como Bottom Up y Top Down [3].

El algoritmo Bottom Up consiste en una región de encubrimiento pequeña, si esta región no cumple con los requisitos de los usuarios, se va añadiendo más celdas hasta que vayan cumpliendo las demandas de los usuarios y no queden más usuarios por asignar región de encubrimiento. Para la construcción de la región de encubrimiento bajo del enfoque Bottom Up, se selecciona el usuario más demandante en k -anonimato y se construye una

```
Entrada: Usuario  $u$ ,  $K_u$ ,  $m$  (número de ciclos para seleccionar una CR)
Resultado: Una región de encubrimiento ( $CR_u$ ) para el usuario  $u$  satisfaciendo  $K_u$ 

(1)  $i = 0$ ;
(2)  $C_{max} = \emptyset$ ;
(3) Para  $i < m$  hacer
(4)    $C =$  elegir  $4K_u$  celdas aleatoriamente con igual probabilidad desde
       $C(u, 4K_u)$ ;
(5)    $C_1 = C$  si solo  $C$  tiene una alta entropía;
(6)    $i = i + 1$ ;
(7) Fin para
(8)  $i = 0$ ;
(9) Para  $i < m$  hacer
(10)   $C =$  elegir  $2K_u$  celdas aleatoriamente con igual probabilidad desde
       $C_1(u, 2K_u)$ ;
(11)   $C_{max} = C$  si solo  $C$  tiene una alta entropía;
(12)   $i = i + 1$ ;
(13) Fin para
(14)  $CR_u =$  Seleccionar  $K_u$  celdas desde  $C_{max}$  con baja ocupación de usuarios;
(15) Retornar  $CR_u$ ;
```

Algoritmo 1: Computando región de encubrimiento para un usuario u .

Entrada: Lista U , Δ (valor de tolerancia)
 Resultado: Un conjunto de regiones de encubrimiento para todos los usuarios u en U satisfaciendo los requisitos de K_u y θ_u .

- (1) l = escoger un usuario con mayor K desde U (K_1). Si existe más de uno, escoger el usuario con mayor θ en U .
- (2) CR_1 = Algoritmo 1 (l , K_1);
- (3) **Repetir**
- (4) **Si** $SL(CR_1) \geq \theta_1$ **entonces**
- (5) **Para** todos los usuarios ubicados en CR_1 **hacer**
- (6) $CR_u = CR_1$ **si** $K_1 - \Delta \leq K_u \leq K_1$ & $\theta_u \leq \theta_1$;
- (7) Eliminar u de U solo si CR_1 fue asignado a CR_u ;
- (8) **Fin Para**
- (9) **Si no**
- (10) Escoger cualquier celda c en C pero no en CR_1 ;
- (11) $CR_1 = CR_1 \cup \{c\}$;
- (12) **Fin Si**
- (13) **Hasta que** U está vacío o $CR_1 = C$;

Algoritmo 2: Enfoque Bottom Up

Entrada: Lista U
 Resultado: Un conjunto de regiones de encubrimiento para todos los usuarios u en U satisfaciendo los requisitos de K_u y θ_u .

- (1) C_n = todas las celdas del área de servicio.
- (2) **Si** $SL(C_n) \geq \theta_{max}$ **entonces**
- (3) **Repetir**
- (4) l = un usuario de U con θ más alto. Si hay muchos, se escoge uno K más alto;
- (5) $CR_1 = C_n$;
- (6) **Repetir**
- (7) $H_{max} = 0$;
- (8) $i = 0$;
- (9) **Para** $i < m$ **hacer**
- (10) c = cualquier celda de $CR_1 - \{c_1\}$ con baja ocupación
- (11) **Si** $SL(CR_1 - \{c\}) > \theta_1$ **entonces**
- (12) **Si** $H(CR_1 - \{c\}) > H_{max}$ **entonces**
- (13) $H_{max} = H(CR_1 - \{c\})$;
- (14) $CR_t = CR_1 - \{c\}$;
- (15) **Fin Si**
- (16) **Fin Si**
- (17) **Fin Para**
- (18) **Si** $H_{max} \neq 0$ **entonces**
- (19) $CR_1 = CR_t$;
- (20) **Fin Si**
- (21) **Hasta que** ($\#CR_1 = K_1$) o ($H_{max} = 0$);
- (22) Asignar CR_1 para el usuario l y para otros usuarios u en CR_1 teniendo que $K_1 - \Delta \leq K_u \leq K_1$ & $\theta_u \leq \theta_1$;
- (23) **Hasta que** $U = \emptyset$;
- (24) **Fin Si**

Algoritmo 3: Enfoque Top Down

región de encubrimiento con las demandas del usuario seleccionado maximizando la entropía, esto lo realiza [Algoritmo 1]. Para la región de encubrimiento construida se verifica si existe otros usuarios que cumplen con sus demandas para compartir esta región, si cumplen se les asigna, en el caso contrario, se amplía la región de encubrimiento seleccionando una celda que aumente o mantenga la entropía, con la nueva región de encubrimiento se

comprueba con los requisitos de los usuarios restantes, si aún no se cumplen los requisitos, se repite el proceso de selección de celda. Esto acaba cuando ya no queda más usuarios por asignar regiones de encubrimiento o si se seleccionaron todas las celdas. Esto lo realiza el [Algoritmo 2].

El otro enfoque es el algoritmo Top Down que consiste en usar toda el área como región de encubrimiento inicial y luego ir descartando celdas de modo de que, a medida que se cumplan los requisitos de los usuarios, se van asignando las regiones a los usuarios. Para la construcción de la región de encubrimientos bajo del enfoque Top Down, se toma como región de encubrimiento inicial toda el área de servicio, igual como el enfoque Bottom Up, se selecciona el usuario más demandante, pero ahora con el requisito de nivel de seguridad θ . Se van eliminando celdas hasta que se cumpla todos los requisitos para ese usuario, con esta nueva región de encubrimiento se verifican si otros usuarios pueden compartir la región de encubrimiento, si aún existe usuarios que no cumplen con sus requisitos, se vuelve a partir nuevamente con toda el área de servicio y se selecciona al usuario más demandante entre los restantes. Esto lo realiza el [Algoritmo 3].

4.1.2. Protección de la consulta.

La idea de la protección de la consulta, es la de garantizar que exista privacidad de consulta para los usuarios. En esta sección se explicará una nueva técnica para proveer privacidad de consulta basada en [22].

La principal idea es aplicar l -diversidad generando consultas ficticias con frecuencias similares a la consulta real que emite el usuario. Esta técnica se preocupa que los términos que constituyen las consultas sean similares en un punto de vista espacio-temporal, para esto se implementa una estructura de datos tipo árbol donde almacena términos que pueden presentar en consultas, esta estructura se denomina árbol ontológico. La justificación de usar el término ontología es, por definición en un punto de vista de la semántica, dos palabras son similares si pertenecen a una topología o idea en común, por ejemplo, entre las palabras “perro” y “gato” son similares ya que ambos son animales domésticos. Para el caso de las consultas, dos términos son similares en un punto de vista espacio-temporal, cuando ambos términos están asociados a un área específica en una temporada específica, por ejemplo, dada tres consultas Q_1 (Restaurantes), Q_2 (Hoteles) y Q_3 (Hospitales), y un área de la Fig. 6, se sabe que las consultas sobre restaurantes y hoteles se hacen con más frecuencia en temporadas de vacaciones de verano. Si un usuario hace la consulta Q_2 y se está en una temporada vacacional, la consulta Q_1 sería una consulta similar, pero no para Q_3 ya que no está en el mismo espacio que Q_2 . Otro caso sería cuando el usuario hace la consulta Q_2 , pero no se está en temporada vacacional, la consulta Q_1 no es similar ya que no existe la misma frecuencia que en una temporada vacacional, es decir, no existe una relación espacio-temporal entre los términos.

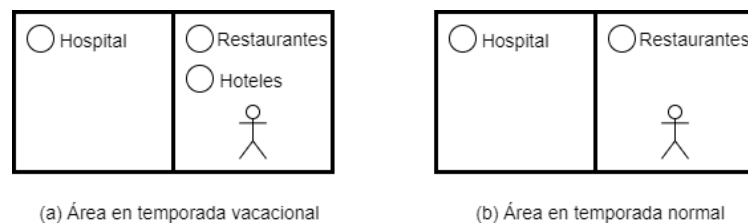


Fig. 6: Área de servicio espacio-temporal

La implementación del árbol ontológico consiste en un árbol binario donde cada nodo del árbol es un término, cada término puede ser sensible o no sensible. A medida que se va navegando en los niveles del árbol, los términos son más específicos, es decir, los nodos hojas son términos específicos y el nodo raíz es un término general como se muestra en la Fig. 7. Los árboles ontológicos describen los términos que están asociados a un área y un periodo de tiempo. Los usuarios pueden hacer consultas cuyos términos sean de varios árboles ontológicos.

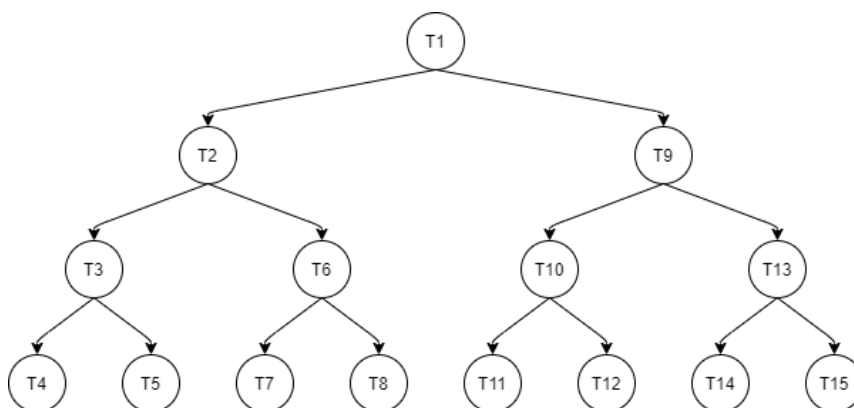


Fig. 7: Ejemplo de árbol ontológico

A modo de simplificar la implementación, el área que está asociada a un árbol ontológico es un conjunto de celdas del área de servicio, como se muestra en la Fig. 8. Entonces, cuando un usuario hace una consulta, estos términos están asociados al conjunto de celdas, facilitando la identificación de otros términos que son similares para poder crear consultas ficticias.

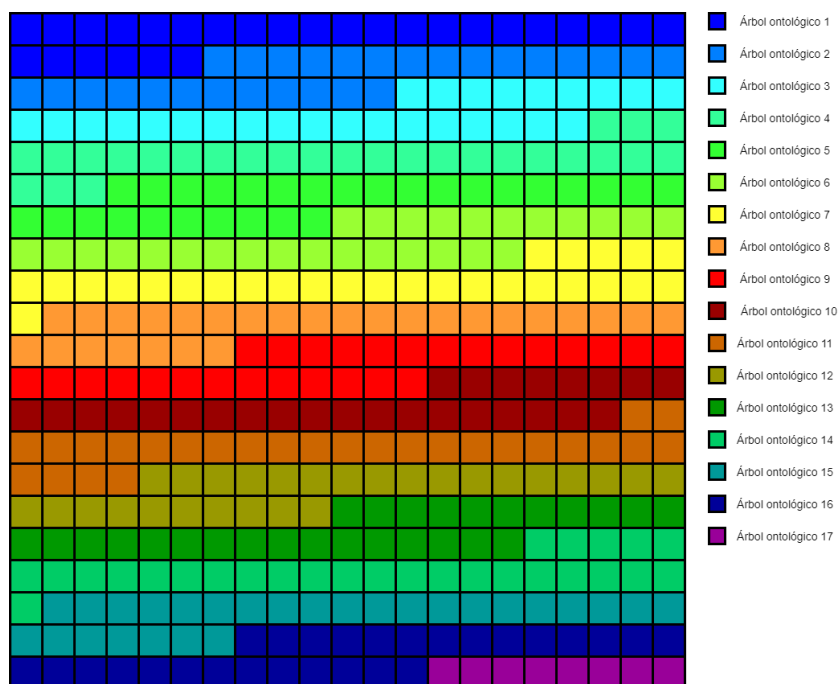


Fig. 8: Distribución de árboles ontológicos en un área de servicio de 21x21 celdas

Para la creación de consultas ficticias dado una consulta real de un usuario y el requisito de l_u -diversidad, se debe identificar a que árbol ontológico pertenece cada término de la consulta real, además de que si son sensibles o no. Para cada término se selecciona otro término distinto desde el mismo árbol ontológico donde se asume que entre el término original y el término seleccionado son similares, en el caso el término original sea sensible, también se debe buscar otro término sensible. Se debe generar $l_u - 1$ consultas ficticias, para las l_u-1 consultas junto con la consulta real, todos los términos deben ser diferentes entre sí para garantizar la diversidad de términos, pero entre los términos son similares. Entonces para un atacante no le sea fácil identificar la consulta real ya que todos son similares entre sí. Esto lo realiza [Algoritmo 4].

```

    Entrada: Lista U
    Resultado: Un conjunto de consultas ficticias para cada usuario u en U

(1) Para todos los usuarios u en U hacer
(2)     i = 0;
(3)     terminos_usados = ∅;
(4)     Qf = ∅; // Consultas ficticias
(5)     Para i < lu hacer
(6)         qc = ∅; // Consulta ficticia
(7)         Para todos los términos t de qu (consulta del usuario u) hacer
(8)             Obtener el árbol ontológico ao que pertenece a {t};
(9)             Si {t} es un término sensible entonces
(10)                 Elegir otro término tt sensible aleatoriamente desde ao
                     que no esté en los términos de qu y en terminos_usados.
                     Si no existe más términos sensibles en ao, buscar en otro
                     árbol ontológico más cercano;
(11)                 Si no
(12)                     Elegir otro término tt no sensible aleatoriamente desde ao
                     que no esté en los términos de qu y en terminos_usados.
                     Si no existe más términos no sensibles en ao, buscar en
                     otro árbol ontológico más cercano;
(13)             Fin Si
(14)             qc = qc ∪ {tt};
(15)             terminos_usados = terminos_usados ∪ {tt};
(16)         Fin Para
(17)         Qf = Qf ∪ qc;
(18)         i = i + 1;
(19)     Fin Para
(20)     Asignar Qf para satisfacer lu-diversidad del usuario u
(21) Fin Para

```

Algoritmo 4: Nuevo enfoque: Creación de consultas ficticias con árboles ontológicos

Con respecto a la preocupación del costo computacional y a raíz de la idea que se debe aplicar l -diversidad cuando existan consultas con términos que pueden violar la privacidad de consulta, sólo los usuarios donde su consulta tenga al menos un término sensible, se debe aplicar l -diversidad, en el caso que la consulta del usuario no tenga términos sensibles, no es necesario aplicar l -diversidad, de igual forma, si el usuario lo solicita se le aplica l -diversidad.

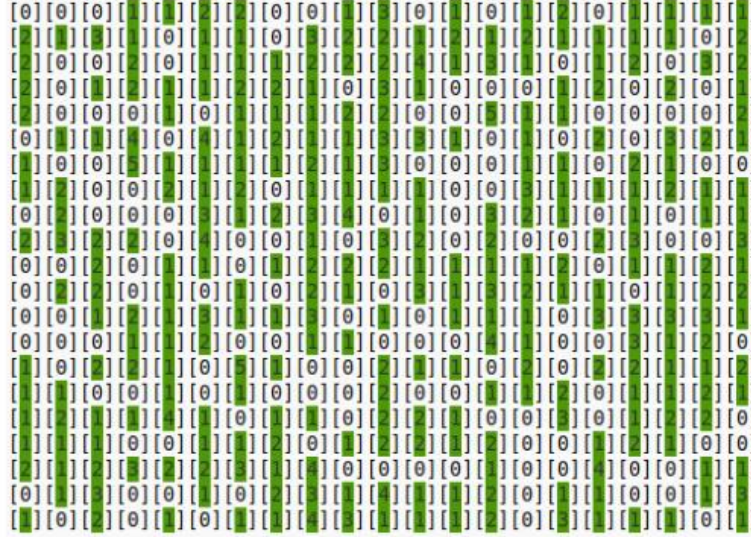
4.2. Simulación

La siguiente actividad de esta investigación es la de implementar un simulador que se encargue de crear una situación donde exista un área de servicio en donde hay un número de usuarios móviles cuyo movimiento tiene una velocidad constante. Algunos usuarios tienen una ruta de movimientos que puede ser aleatorio o fijo. También, los usuarios hacen consultas. Este simulador integra todos los algoritmos que se han definido anteriormente para encargarse de los requisitos de los usuarios. En resumen, la simulación se encargará de: inicializar el área de servicio, generar movimientos de los usuarios, construir las regiones de encubrimiento, generar consultas y mostrar resultados. Como limitación, esta simulación no establece comunicación con ningún servidor LBS, por lo que sólo simula lo que computa y rescata el costo computacional que le tomará al anonimizador.

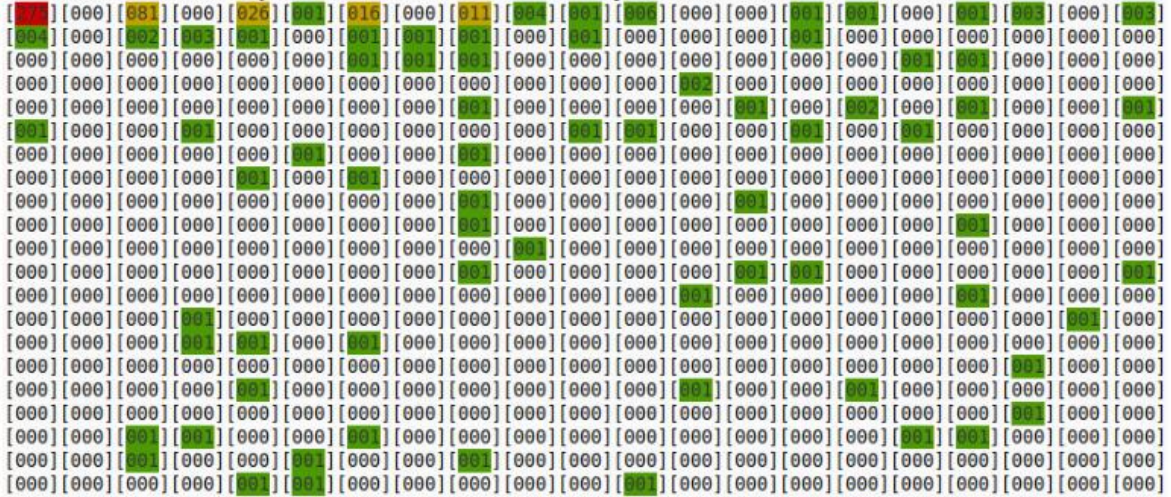
En esta simulación, se usa funciones de distribución para definir la posición inicial de los usuarios al empezar la simulación además define la probabilidad de consulta para cada celda. Las distribuciones utilizadas son Uniforme, Exponencial 0.5 y Zipf 2.0, cada distribución crea una situación diferente con respecto a la dispersión de los usuarios. El caso de la distribución uniforme la situación es que los usuarios se encuentran totalmente dispersos, como se muestra en la Fig. 9 (a). Para la distribución Exponencial 0.5, la situación es cuando los usuarios se encuentran agrupados y estos grupos se mantiene en celdas cercanas, como se muestra en la Fig. 9 (c). Para la distribución Zipf 2.0, la situación es que los usuarios se encuentran en su mayoría aglomerados en una celda, como se muestra en la Fig. 9 (b). En cada ilustración de la Fig. 9, se representan en colores la concentración de usuarios por celdas siendo verde cuando la cantidad de los usuarios es menor a 10, amarilla cuando la cantidad de usuarios está entre 10 a 100 y rojo cuando la cantidad de usuarios es 100 o más.

Para esta investigación, se ha implementado el simulador en lenguaje C, cuyo objetivo es la de obtener resultados y comprender el comportamiento de diferentes escenarios para los diferentes enfoques. Los parámetros que se deben especificar en el simulador son los siguientes:

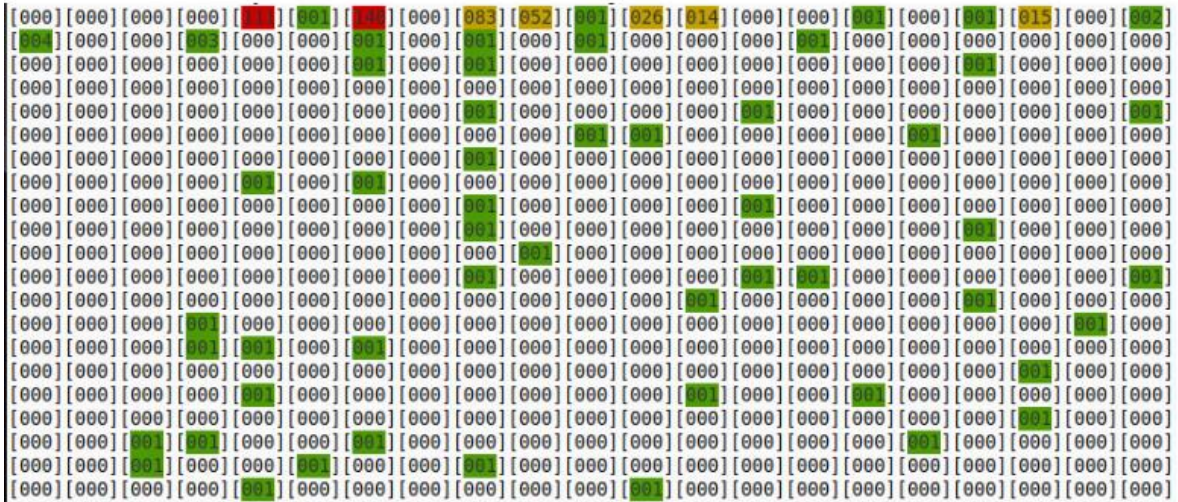
- Tamaño del área de servicio (A): Corresponde al número de celdas que constituirá el área de servicio, se ha definido que el área será de 21x21 celdas para los experimentos.
- Dimensión de las celdas: Todas las celdas tendrán el mismo tamaño, cuya unidad es escalable. Para los experimentos, todas las celdas tendrán un tamaño de 3x3 unidades.
- Número de usuarios: Son la cantidad de usuarios reales que serán repartidos entre todas las celdas. Para los experimentos, se ha definido un valor entre 200 a 800 usuarios.
- Distribución: Consiste en definir cómo se van a distribuir los usuarios en área de servicio. Las distribuciones definidas son Uniforme, Exponencial 0.5 y Zipf 2.0. Para los experimentos, se aplica una sola distribución por experimento.
- K: Corresponde al valor de demanda de los usuarios para k -anonimato. Este valor tendrá un rango entre 2 a 12.



(a) Uniforme



(b) Zipf 2.0



(c) Exponencial 0.5

Fig. 9: Ubicación de los usuarios por distribución

- L: Corresponde al valor de demanda de los usuarios para l -diversidad. Este valor tendrá un rango entre 2 a 7.
- Theta (θ): Corresponde al valor de demando de los usuarios para el nivel de seguridad física. Este valor tendrá un rango entre 0.018 a 0.882.
- Cantidad de rutas fijas: Es la cantidad de usuarios que tendrán rutas fijas que son predefinidas. Para los experimentos, son 50 usuarios con rutas fijas, esto significa que el resto de los usuarios, dependiendo del número total de usuarios reales, tienen un movimiento aleatorio.
- Cantidad de timestamp: Como se trata de un LBS continuo, se debe evaluar el comportamiento de los usuarios y del anonimizador a medida que los usuarios se estén moviendo y cambiando sus consultas. Para los experimentos se ha definido que la cantidad de timestamps es 6.
- Cantidad de consultas que cambian: Es la cantidad de usuarios que cambian de consulta por timestamp, el resto mantienen su consulta, no existe usuarios que no hagan consultas. Para los experimentos son 60 usuarios seleccionados aleatoriamente que cambian su consulta.
- Cantidad de términos: Es la cantidad de términos que tendrán las consultas. Para los experimentos, van de un rango entre 1 a 3 términos.
- Velocidad: Es la cantidad de unidades de distancia que se mueven todos los usuarios por timestamp. Para los experimentos, la velocidad varía entre 2 a 14 unidades de distancia por timestamp.
- Cantidad de árboles ontológicos: Este número es constante para todos los timestamps, este valor no puede exceder del número total de celdas del área de servicio. Como los árboles ontológicos pertenecen a un grupo de celdas, la cantidad de celda para cada grupo se obtiene de $\frac{A^2}{\#Árboles\ ontológicos}$, si el cociente no es exacto, se agrega un árbol ontológico con las celdas restantes. Para los experimentos, la cantidad de árboles ontológicos son 16, por lo tanto, existirán 16 grupos de 27 celdas y 1 grupo de 9 celdas.
- Altura de los árboles ontológicos (h): Como los árboles ontológicos son árboles binarios, su altura definirá el número de nodos que tendrán los árboles (2^h), por ende, el número de términos que tendrá los árboles ontológicos. Para los experimentos, todos los árboles ontológicos tienen una altura de 5.
- Número de términos sensibles: Indica el número de términos sensibles que tendrán entre todos los términos. Para los experimentos, para un total de 544 términos ($2^5 * (16 + 1) = 554$), 194 son términos sensibles, el 35% del total de los términos son sensibles.
- Enfoque: El simulador debe ejecutarse con un solo enfoque, estos enfoques son referente a la creación de regiones de encubrimiento, es decir, es Bottom Up o Top Down.

Se define timestamp como una “foto” de un instante de toda el área de servicio, considerando posición, requisitos, consultas de los usuarios, regiones de encubrimiento construidas y consultas ficticias. En la Fig. 11, se establecen rutas que pueden seguir los usuarios, dependiendo de la velocidad de estos puede darse el caso de por cada timestamp,

vayan cambiando de celdas. Por ejemplo, para el usuario A (posición: 0,5) parte desde A0, si se avanza un timestamp, podemos ver que el usuario se ha movido hacia el sur (A1, posición 1,5), esto conlleva a que toda el área de servicio ha cambiado con respecto a las posiciones nuevas de los demás usuarios, por lo que se debe reevaluar todos los requisitos de todos los usuarios y así por cada timestamp de la simulación.

Una estructura de datos utilizada en el simulador es una muy similar a MVR-tree (estructura tipo lista enlazada). Consiste en almacenar la información referente a los movimientos y consultas de todos los usuarios por timestamp a modo de historial, como se muestra en la Fig. 10. A continuación, se explicará cada etapa de la simulación.

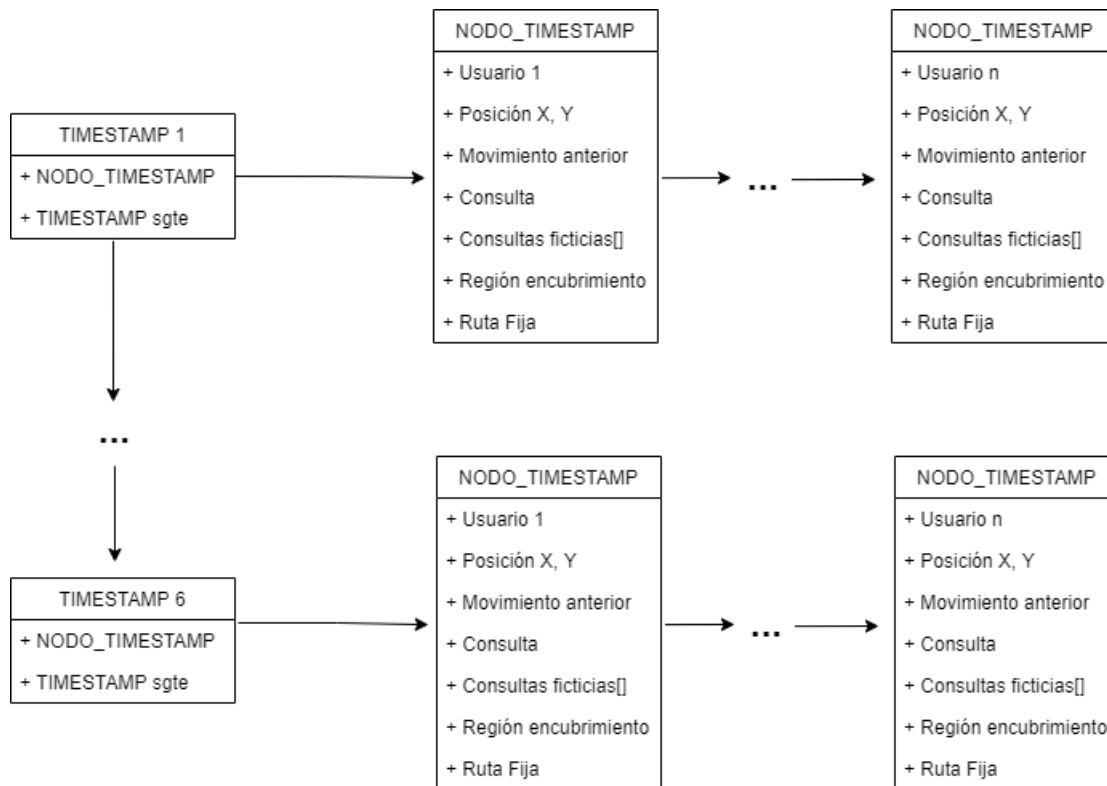


Fig. 10: Estructura básica de mvr-tree implementado en simulador

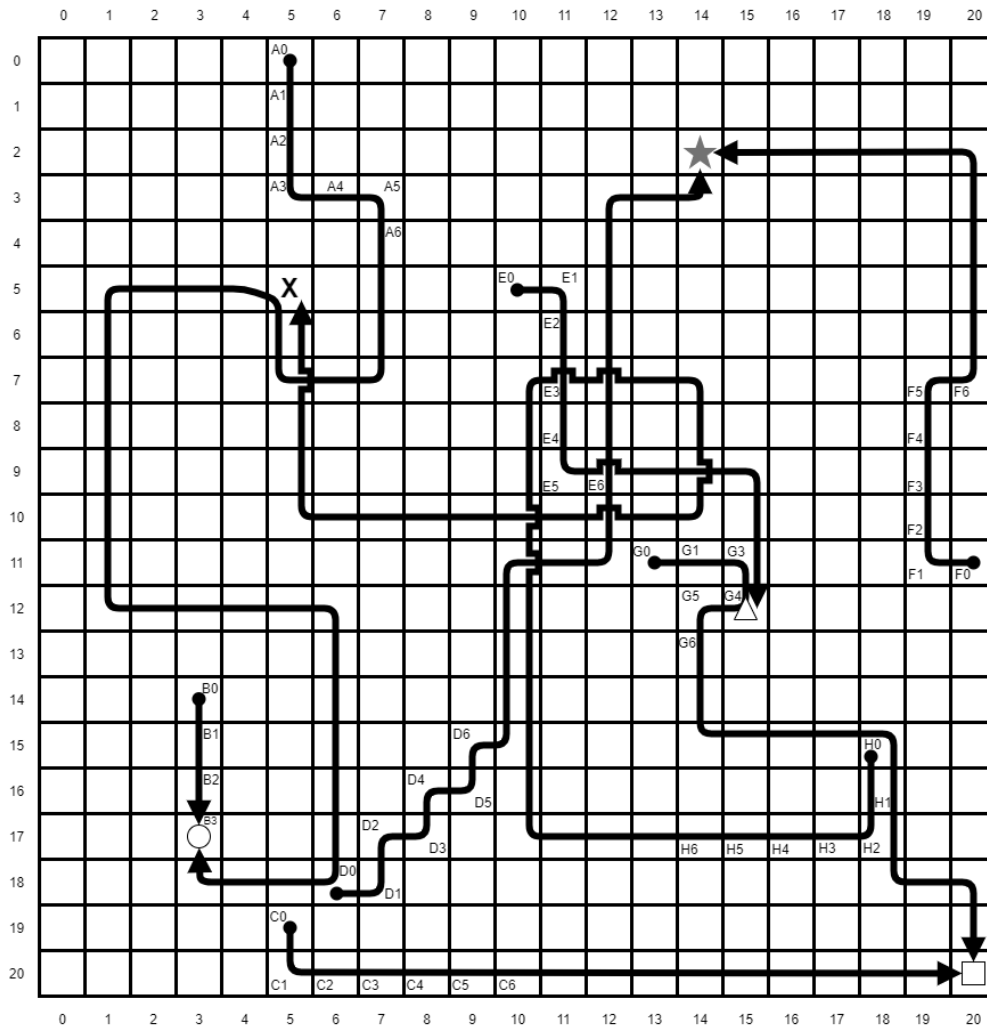


Fig. 11: Ejemplos de rutas para los usuarios

4.2.1. Etapas del simulador

En esta sección, se explica cada etapa a grandes rasgos de lo que hace el simulador.

Inicializar el área de servicio

El simulador crea el área de servicio dependiendo del tamaño de área y la dimensión de cada celda. Recordar que cada celda debe tener una probabilidad de consultas y puede tener usuarios ubicados en la celda dada.

Para cada celda, se comienza a inicializar las probabilidades de consultas dependiendo de la distribución definida, por ejemplo, si se define la distribución Uniforme significa que las probabilidades de consultas para cada celda es la misma. La probabilidad de consultas se utiliza como la probabilidad de que un usuario esté en alguna celda inicialmente, esto es porque los usuarios hacen consultas desde una celda. Con el número de usuarios dado, se debe distribuir a los usuarios para cada celda. El resultado de esta etapa es lo ya mostrado en la Fig. 9. La probabilidad de consultas para ubicar los usuarios no se aplica para aquellos

usuarios que se les asigna rutas fijas, para estos usuarios se deben ubicar en la celda inicial de cada ruta.

Construir las regiones de encubrimientos

Dependiendo del enfoque y área/s restringida/s, los usuarios demandan la construcción de regiones de encubrimientos. Si un usuario se encuentra en un área restringida, es necesario para ese usuario se construya una región de encubrimiento, si no se encuentra no se construye o se asigna región de encubrimiento.

Si el simulador está definido el enfoque Bottom Up, para una lista de usuarios que están en áreas restringidas, se ejecutan [Algoritmo 1] y [Algoritmo 2]. Para el enfoque Top Down, para una lista de usuarios que están en áreas restringidas, se ejecuta el [Algoritmo 3]. Ambos enfoques con la preocupación de conservar la privacidad de ubicación (k -anonimato)

Para cada timestamp, el simulador se encarga de crear la lista de usuarios que están en áreas restringidas.

Generar consultas

En esta etapa, el simulador se encarga de asignar consultas a todos los usuarios ya ubicados en celdas. Para cada término de las consultas que se van a generar, primero se selecciona un árbol ontológico al azar y en árbol ontológico obtenido se escoge un término aleatoriamente. Se crea una lista de usuarios en donde las consultas tengan uno o más términos sensibles, para cada usuario de esta lista se aplica l -diversidad con el [Algoritmo 4].

Dado el número de usuarios que cambian sus consultas, los usuarios se seleccionan aleatoriamente y se le asigna una nueva consulta, esto es para varias el número de usuarios que tengan términos sensibles o no.

Generar movimientos de los usuarios

El simulador crea un escenario donde existen usuarios móviles y en cada timestamp los usuarios pueden moverse o no. Para aquellos usuarios que no tengan ruta fija, sus movimientos pueden ser hacia arriba, abajo, izquierda o derecha, se escoge de manera aleatoria con la condición que el siguiente movimiento no haga retroceder al usuario, es decir, que vuelva a la posición anterior. El movimiento está limitado por la velocidad anteriormente definida.

Para aquellos usuarios que tiene ruta fija, solo deben seguir la ruta que se le asignó, si el usuario con ruta fija llega a destino antes de que se evalúen todos los timestamps, este usuario se mantendrá inmóvil.

4.2.2. Métricas obtenidas desde la simulación

El objetivo principal de la simulación es la de obtener un conjunto de métricas para medir y comprender el comportamiento de los diferentes enfoques y algoritmos para diferentes parámetros por timestamp. Las métricas obtenidas en la simulación son:

- Cantidad de regiones de encubrimiento: Corresponde a la cantidad de regiones de encubrimiento que se construyeron por timestamp.

- Cantidad de consultas ficticias: Es la cantidad de consultas ficticias que se han creado y asignado a los usuarios por timestamp.
- Ciclos: Es el número de ciclos que se hicieron al ejecutar todas las etapas del simulador.
- Dimensión de las regiones de encubrimiento: Es la dimensión promedio de todas las regiones de encubrimientos creadas y asignadas a los usuarios. La dimensión corresponde al número de celdas que constituye una región de encubrimiento.
- Entropía: Es la entropía promedio de todas las regiones de encubrimiento creadas y asignadas a los usuarios.
- Número de usuarios dentro de áreas restringidas: Es la cantidad de usuarios que se encuentran en una celda que es un área restringida.

El simulador ejecuta dos pruebas para cada escenario, donde se parte desde un área de servicio idéntica. En la primera prueba, se toma en consideración las condiciones de cuando los usuarios están en un área restringida y cuando los términos de las consultas tengan términos sensibles o no con la idea de filtrar aquellos usuarios que no necesitan regiones de encubrimiento y *l*-diversidad respectivamente. En la segunda prueba, las condiciones anteriormente mencionadas se pasan por alto, con el objetivo de que todos los usuarios se construyan regiones de encubrimiento y se aplica *l*-diversidad. El fin de realizar ambas pruebas es la verificar el ahorro computacional que se verá al disminuir la carga al anonimizador.

Capítulo 5: Resultados

Para graficar todos los resultados, se optó por un gráfico de caja y bigotes, ya que por la variedad de métricas que se evalúan en cada timestamp se decidió representar sus valores mínimos, máximos y promedios (X en los gráficos) para cada métrica. Repasando las métricas mencionadas en la sección 3.2.2, para los ciclos se ha definido dos sub-métricas, que resultan de las dos pruebas explicadas anteriormente, ciclos con condiciones y ciclos sin condiciones respectivamente, esto quiere decir, ciclos con condiciones tomando en consideración si un usuario está en área restringida o no, y si tiene en su consulta términos sensibles. Para en los ciclos sin condiciones, todo lo anterior se pasa por alto y siempre se aplica la construcción de regiones de encubrimiento y creación de consultas ficticias. Para demostrar el ahorro computacional, se utilizará la razón de ahorro, esto se obtiene por la razón entre ciclos sin condiciones sobre los ciclos con condiciones, si el valor es mayor a 1 existe ahorro computacional, mientras más alto más ahorro computacional existe, si es menor o igual a 1 no existe ahorro computacional. Para todos los experimentos, excepto que se diga lo contrario, se define un área de servicio con las áreas restringidas mostrada en la Fig. 12.

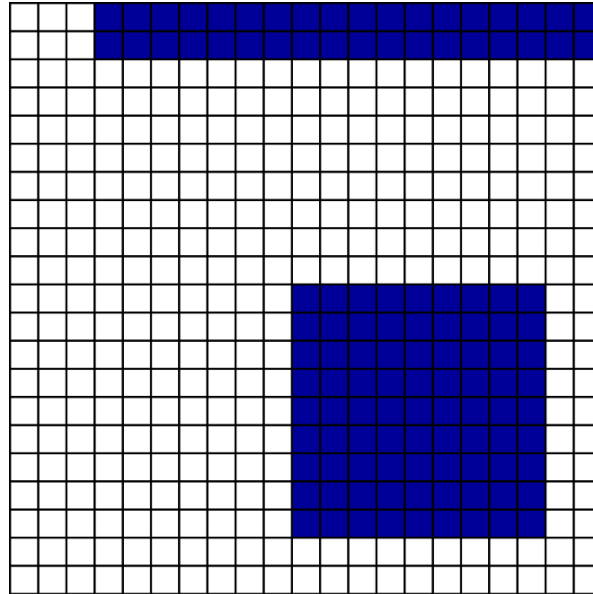


Fig. 12: Área de servicio creada para simulación

5.1. Efecto de la privacidad de consultas (l)

Para los experimentos con respecto a la privacidad de consulta bajo el nuevo enfoque desarrollado en esta investigación, los requisitos de los usuarios para l -diversidad van entre un rango de 2 a 7, fijando k en 7, θ en 0.45, con 500 usuarios móviles, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, rutas fijas en 50, velocidad en 2, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

En el caso de los usuarios que demandan l -diversidad (Fig. 13), se puede apreciar no siguen una tendencia notable, esto es debido a que depende de la aleatoriedad con que se generan las consultas, si están compuestas por términos sensibles o no. Para el costo computacional, se observa que en el caso de que todos los usuarios demandan l -diversidad con enfoque Bottom-up (Fig. 14), se presenta una notable alza, esto es debido a que necesita

generar más consultas ficticias a medida que aumenta el parámetro l . Esto último no se observa con notoriedad en el caso de ciclos con condiciones (Fig 15 y Fig. 17), ya que existen usuarios que van cambiando sus consultas que puede conllevar a una disminución y/o aumento de usuarios que demandan l -diversidad. Para ambos enfoques, existe ahorro computacional (Fig. 18), en el caso de Bottom-up siendo un 1,1 hasta un 1,8 de razón de ahorro aproximadamente y en el caso de Top-Down siendo una razón de 2,2 hasta un 3,2 aproximadamente, el ahorro es más notable en Top-Down.

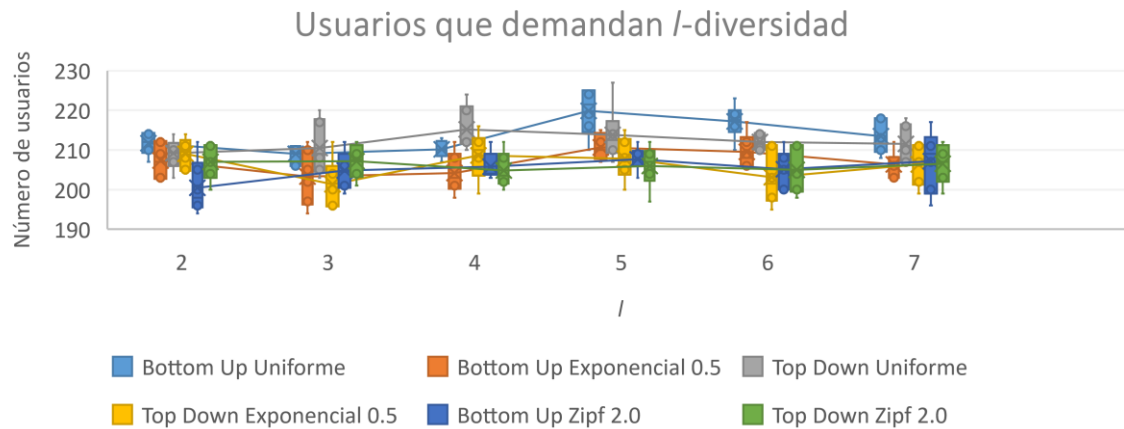


Fig. 13: Usuarios que demandan l -diversidad (métrica l)

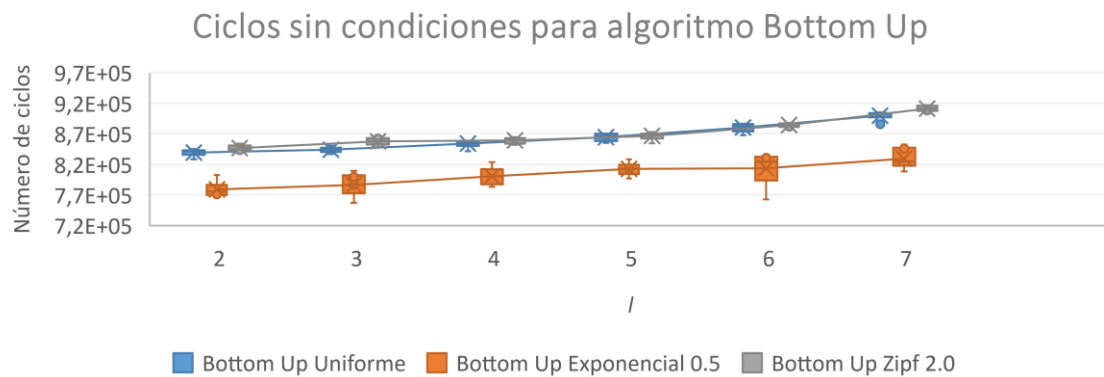


Fig. 14: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica l)

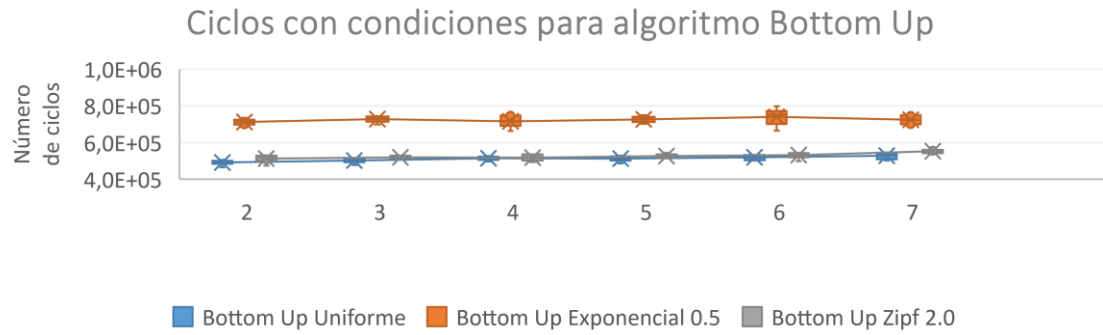


Fig. 15: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica l)

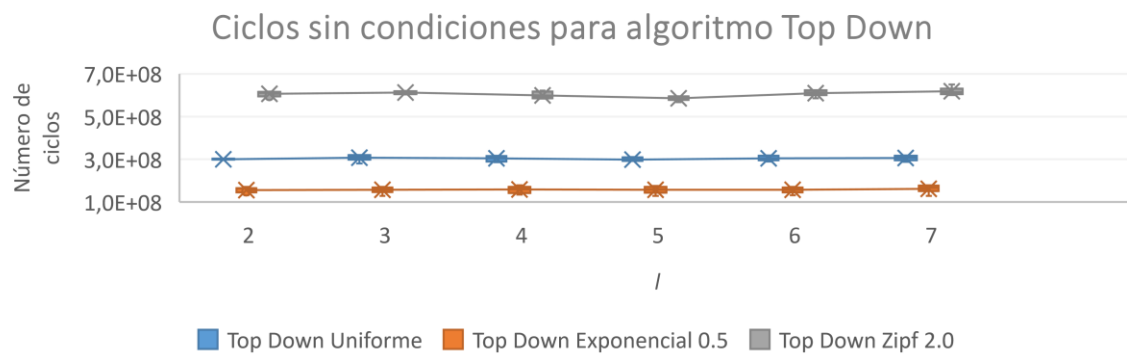


Fig. 16: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica l)

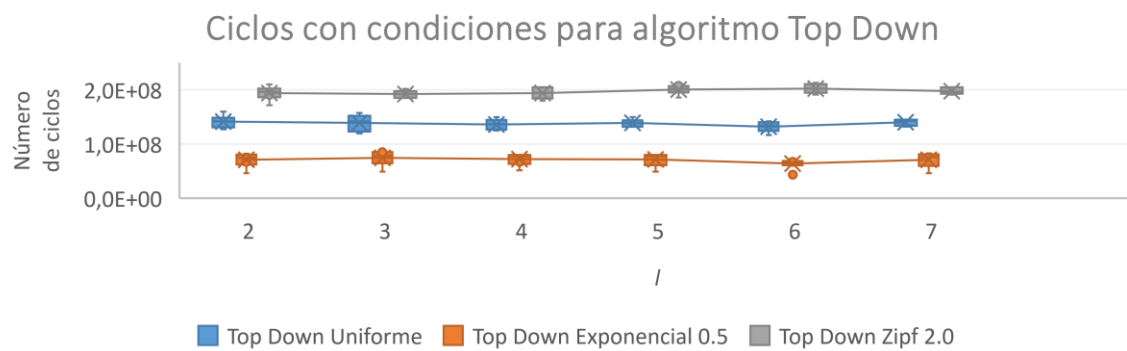


Fig. 17: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica l)

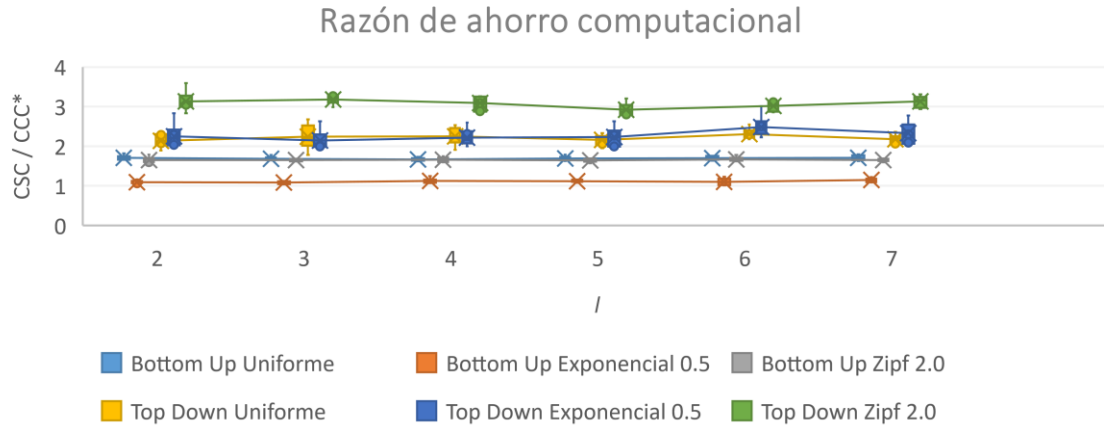


Fig. 18: Razón de ahorro computacional (métrica l)

* Ciclos sin condiciones sobre Ciclos con condiciones

5.2. Efecto del número de usuarios

Para los experimentos respecto al número de usuarios, el número total de usuarios van entre un rango de 200 a 800 usuarios fijando k en 7, l en 5, θ en 0.45, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, rutas fijas en 50, velocidad en 2, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

En la Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21 y Fig. 22, se puede observar que los costos computacionales incrementan en ambos enfoques para todas las distribuciones, esto es debido a que existe más usuarios que demandan requisitos. Siendo la distribución que tiene más costo computacional para el enfoque Bottom Up, exponencial y para el enfoque Top Down Zipf. La razón de ahorro para el caso del enfoque Bottom Up (Fig. 23) para el caso Uniforme y Zipf van aumentando a medida que aumenta el número de usuarios, esto no es el caso de Exponencial donde no existe una variación notable, no obstante, existe ahorro de cómputo, de igual forma con Top Dow. Respecto a las regiones de encubrimiento construidas (Fig. 24), para todos los casos, excepto para la distribución exponencial, van al alza al aumentar el número de usuarios. Respecto a la calidad de las regiones de encubrimiento, para la entropía (Fig. 25), las regiones de encubrimiento construidas tienen un nivel alto donde los usuarios pueden liberar sus solicitudes sin una alta probabilidad de riesgo para su privacidad de ubicación, siendo la más alta en el enfoque Bottom Up con distribución uniforme. Respecto al nivel de seguridad para las regiones construidas (Fig. 26) para todos los casos, estos van disminuyendo al aumentar en número de usuarios, esto es lo esperable que ya al existir más usuarios en una misma región, el nivel de seguridad tiende a disminuir respecto a una misma región.

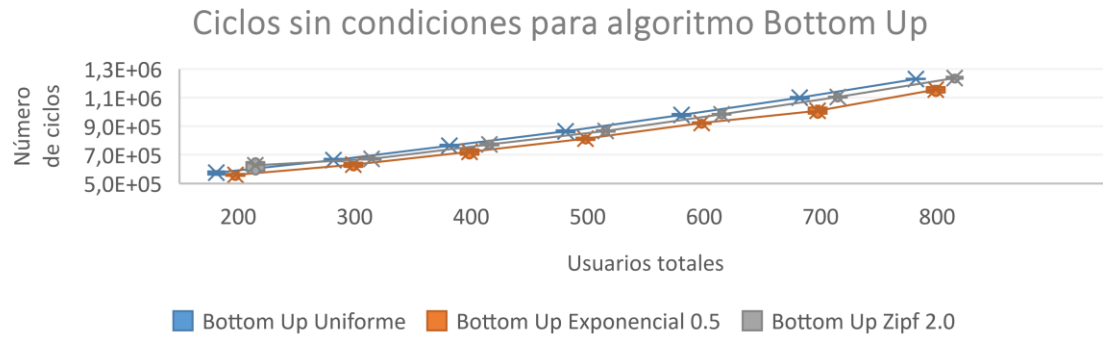


Fig. 19: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica usuarios)

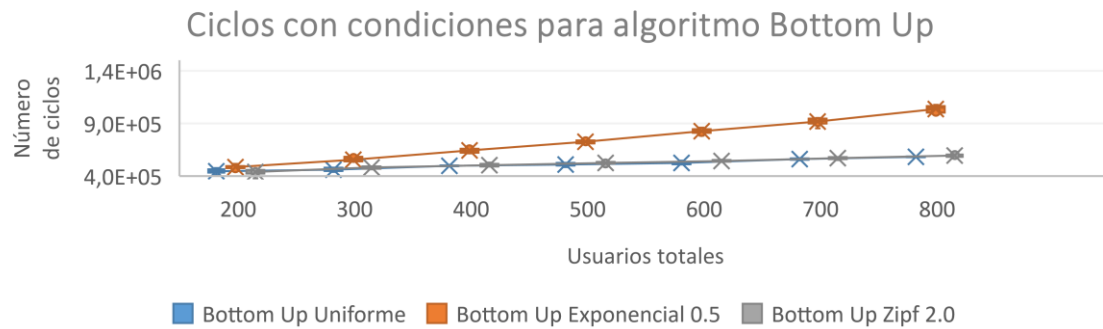


Fig. 20: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica usuarios)

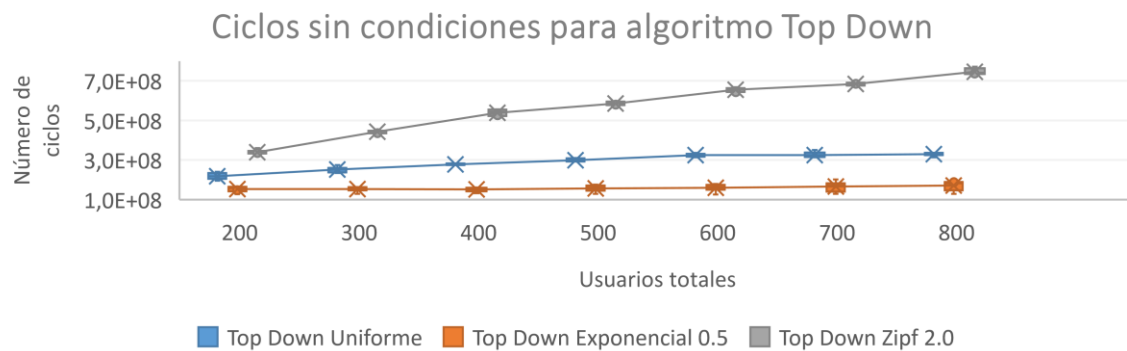


Fig. 21: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica usuarios)

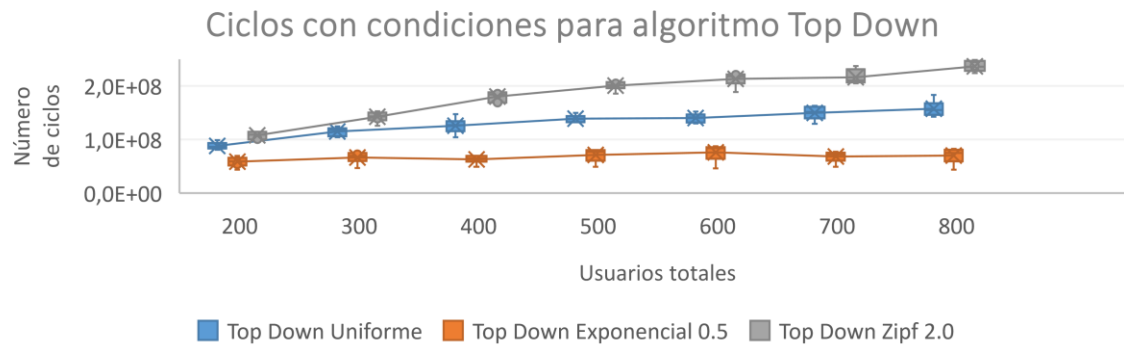


Fig. 22: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métricas usuarios)

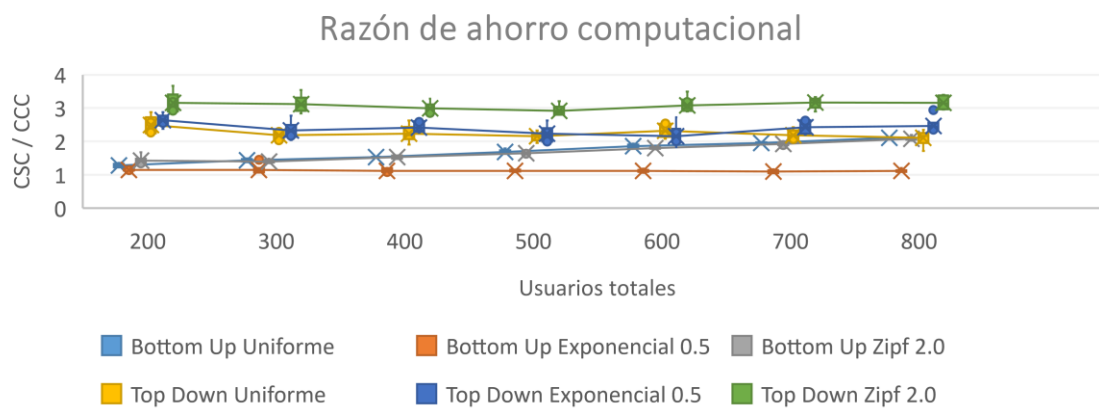


Fig. 23: Razón de Ahorro computacional (métrica usuarios)

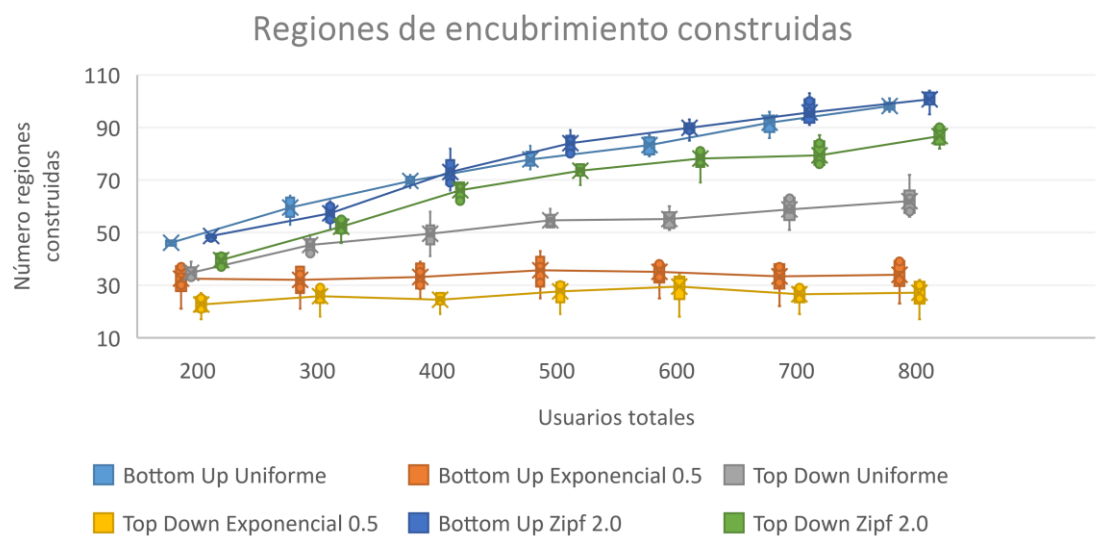


Fig. 24: Regiones de encubrimiento construidas (métrica usuarios)

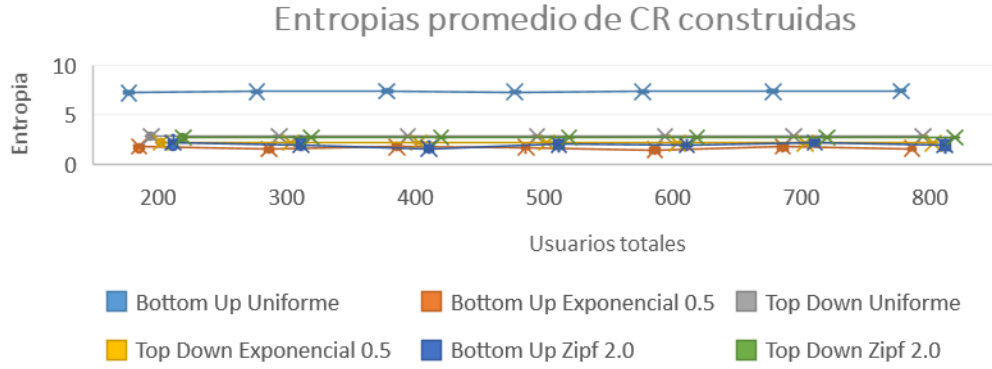


Fig. 25: Entropía promedio de CR construidas (métrica usuarios)

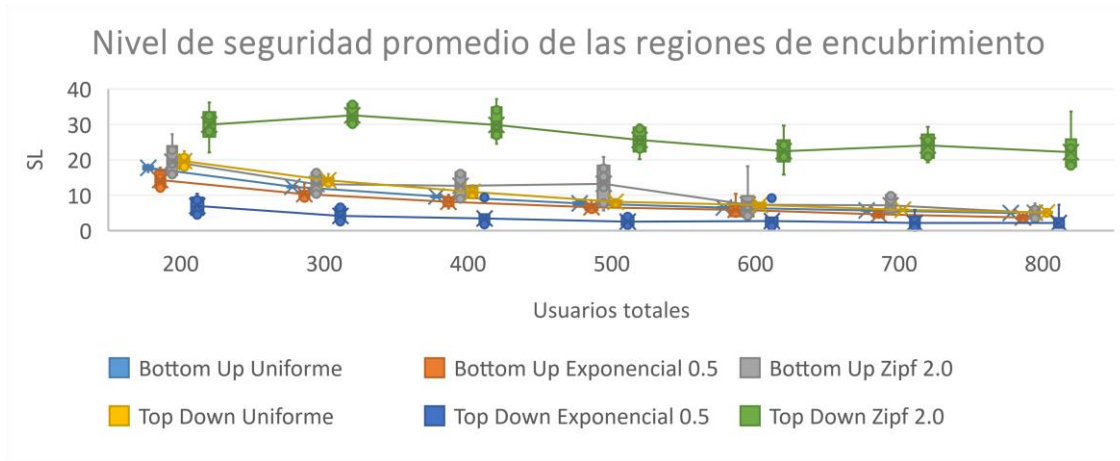


Fig. 26: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento construidas (métrica usuarios)

5.3. Efecto de la privacidad de ubicación (k)

Para los experimentos respecto a la privacidad de ubicación, el parámetro k va entre un rango de 2 a 12 fijando l en 5, cantidad de usuarios en 500, rutas fijas en 50, θ en 0.45, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, velocidad en 2, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

En la Fig. 27 y Fig. 28, se muestra que el costo computacional para el caso del enfoque Bottom Up no presentan una variación marcada como en el caso del enfoque Top Down (Fig. 29 y Fig. 30) para las distribuciones Zipf y Uniforme, que estás disminuyen al aumentar los requisitos de los usuarios en k -anonimato. Como es de esperarse, en todos los casos existe ahorro computacional como se muestra en la Fig. 31, siendo aún la más marcada el enfoque Top Down aquel que presenta más ahorro de cómputo. Cabe señalar un caso particular en el enfoque Top Down en las distribuciones Exponencial y Uniforme entre k igual a 2 y 3, para la distribución Uniforme presenta un mayor ahorro de cómputo que la distribución exponencial. Entre 4 a 8 ambas distribuciones presentan una razón de ahorro similar y entre 9 a 12, la distribución exponencial tiene una razón de ahorro mayor que la distribución uniforme.

Respecto a las regiones de encubrimiento (Fig. 32), en todos los casos, excepto Top Down Uniforme, no presentan una variación destacable en el número de regiones de encubrimiento construidas. La excepción destacada presenta una disminución de regiones de encubrimiento construidas al aumentar el parámetro k . Respecto a la calidad de las regiones de encubrimiento, para la entropía (Fig. 33), aún se muestra que el enfoque y distribución que construye regiones con mayor entropía es Bottom Up Uniforme, cabe señalar que para el enfoque Top Down para todas las distribuciones, presentan un aumento en la entropía al aumentar el parámetro k . Para el nivel de seguridad de las regiones de encubrimiento construidas (Fig. 34), para el enfoque Top Down para la distribución Zipf entre k igual 4 a 8 existe una mejora en el nivel de seguridad, en los otros casos no existe se mantiene constante.

La razón entre dimensión promedio de las regiones de encubrimiento construidas y el parámetro k es una métrica que da que tan sobredimensionadas están las regiones de encubrimiento. En la Fig. 35, se observa que para el enfoque Top Down en uniforme y Zipf tienden a 1, esto quiere decir que las regiones no están sobredimensionadas y se ajusta al requerimiento de los usuarios, no obstante, para la distribución Exponencial, para valores pequeños de k está levemente sobredimensionadas, éstas se van ajustando a medida que aumenta el parámetro k . En Fig. 35, se visualiza que para el enfoque Bottom Up sobredimensiona notoriamente las regiones de encubrimiento un k pequeño, a medida que va aumentando k , las regiones de encubrimiento construidas se van ajustando a los requisitos de los usuarios respecto a k , pero aún con una sobredimensión notable.

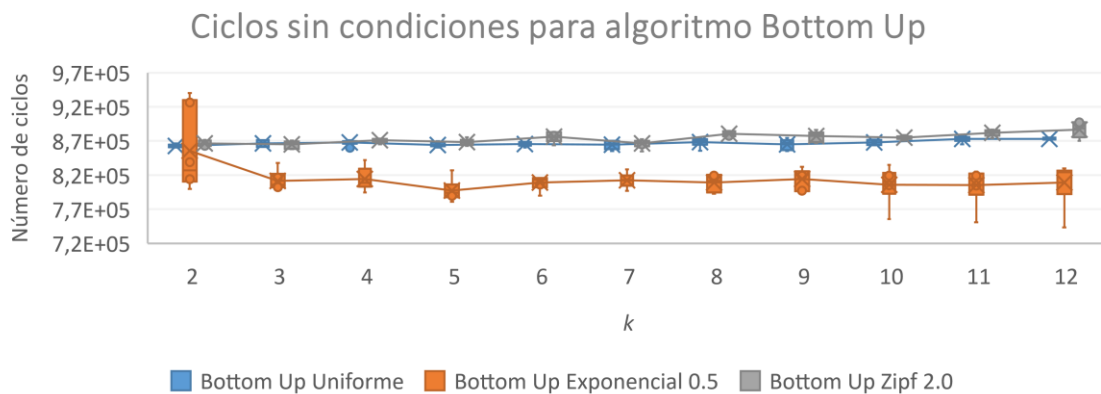


Fig. 27: Ciclos sin condiciones para enfoque Bottom Up (métrica k)

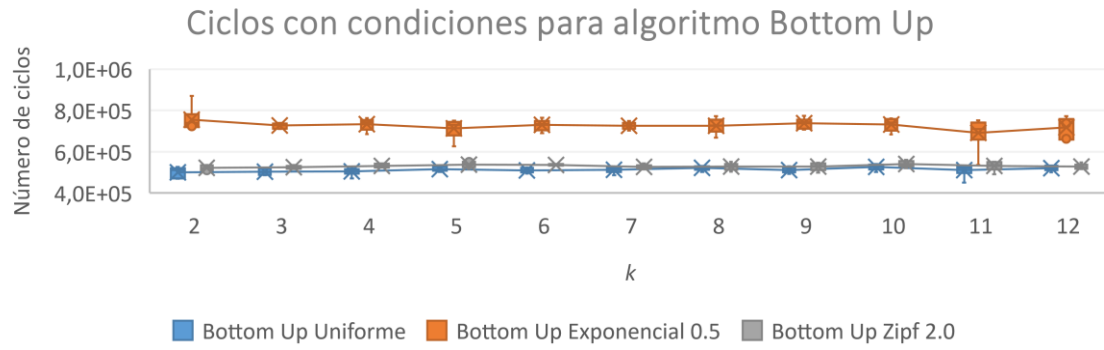


Fig. 28: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica k)

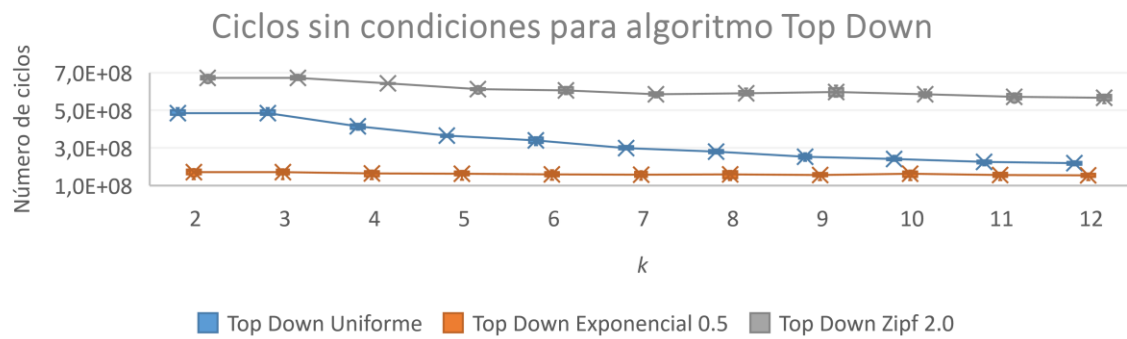


Fig. 29: Ciclos sin condiciones para enfoque Top Down (métrica k)

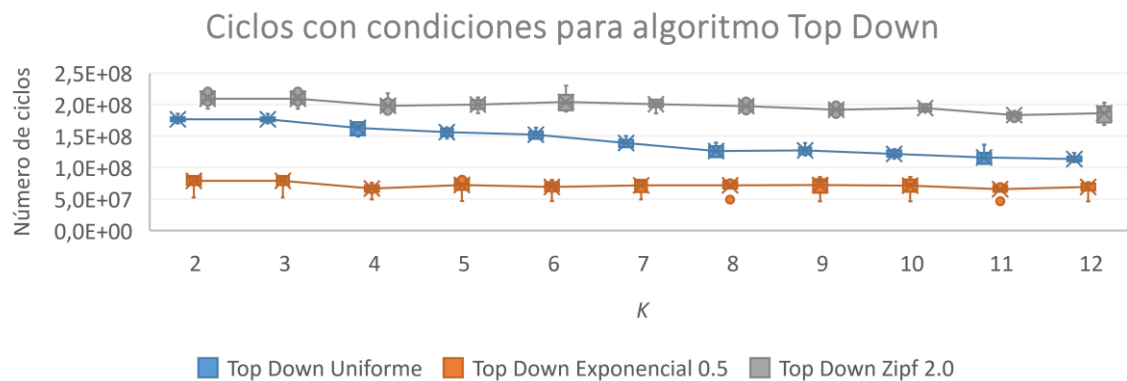


Fig. 30: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica k)

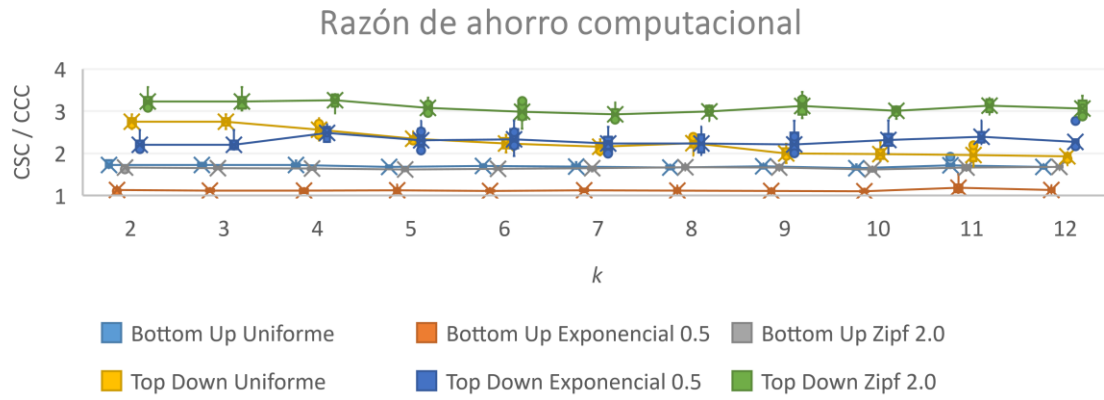


Fig. 31: Razón de ahorro computacional (métrica k)

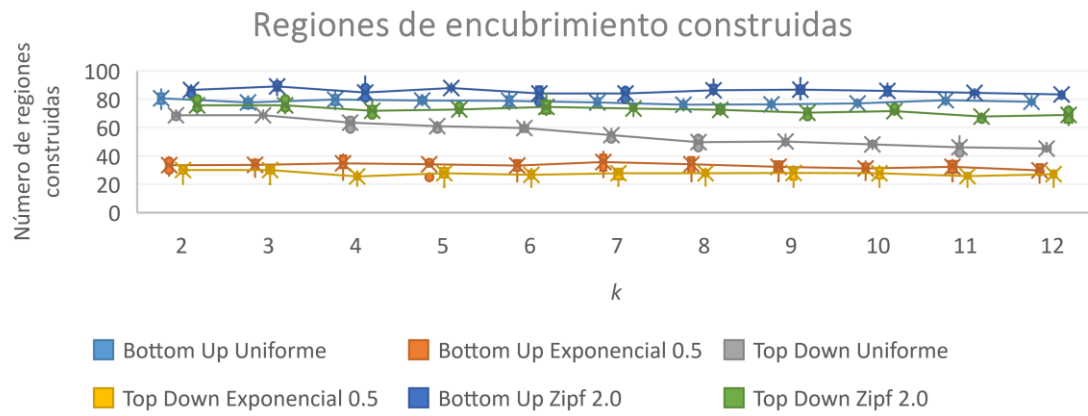


Fig. 32: Regiones de encubrimiento construidas (métrica k)

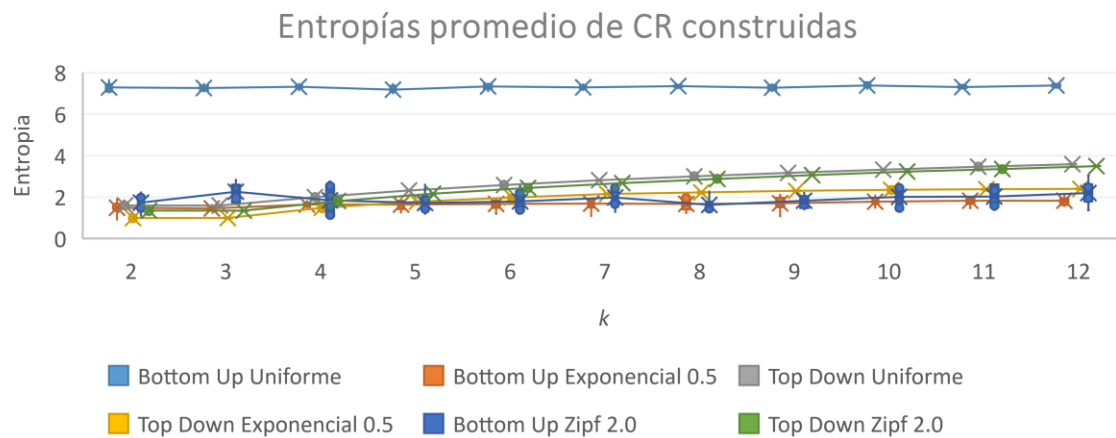


Fig. 33: Entropías promedio de CR construidas (métrica k)

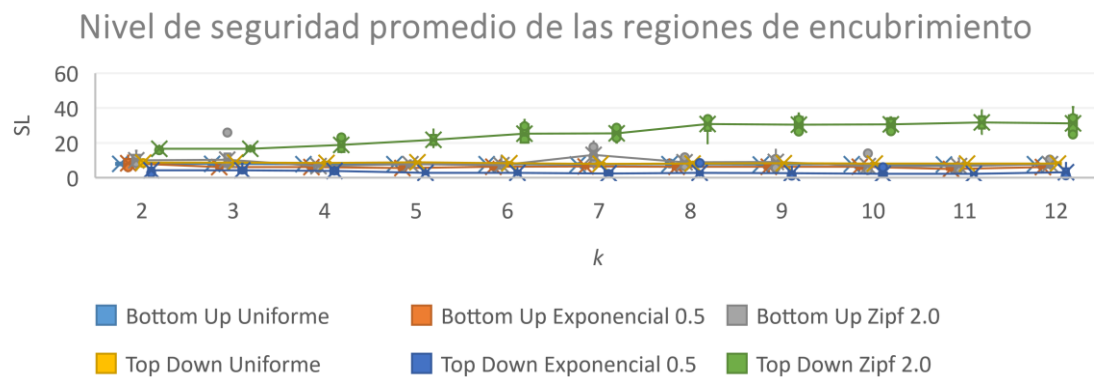


Fig. 34: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica k)

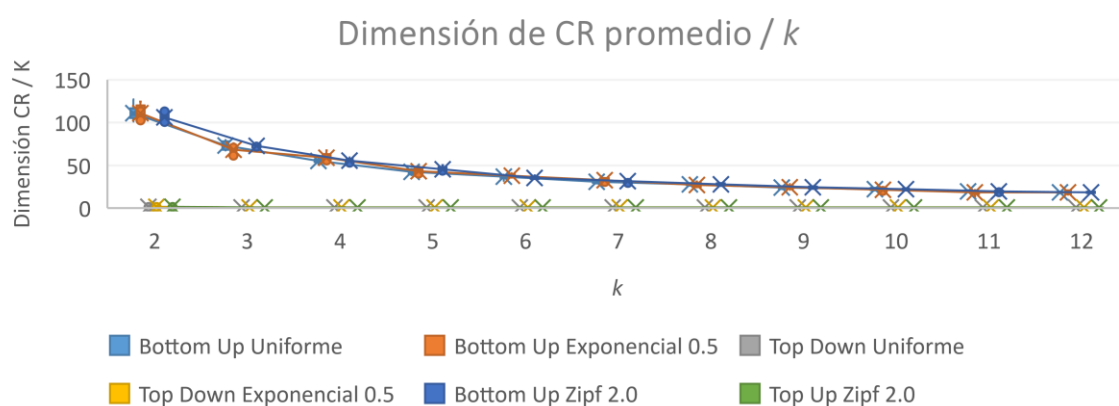


Fig. 35: Dimensión de CR promedio / k (métrica k)

5.4. Efecto de la velocidad de los usuarios (v)

Con respecto a la velocidad, se ha definido un rango para la velocidad entre 3 y 14 fijando k en 7, l en 5, cantidad de usuarios en 500, rutas fijas en 50, θ en 0.45, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

En la Fig. 36, se muestra la cantidad de usuarios que están en áreas restringidas, se puede observar para ambos enfoques en la distribución exponencial, existe una gran dispersión de usuarios que van entrando y saliendo en áreas restringidas por timestamp a diferencia de las demás distribuciones, esto debido a la aleatoriedad que la elección de caminos que puede seguir los usuarios y la posibilidad de que el número de usuarios que salen de una región sea similar al número de usuarios que entran a una área restringida.

Respecto al número de regiones de encubrimiento construidas, como se muestra en la Fig. 37, estas van variando a medida que los usuarios entran y/o salen de un área restringida por timestamp por la aleatoriedad de los movimientos, por lo que es esperable que no exista una tendencia notable. Con respecto a la calidad de las regiones de encubrimiento, no existe diferencia con lo ya analizado anteriormente, aún sigue siendo el enfoque Bottom Up Uniforme con mayor entropía (Fig. 38), pero si en el nivel de seguridad (Fig. 39), para el

enfoque Bottom Up en nivel de seguridad es más alta que Top Down, de hecho, a raíz de los resultados se puede decir que el Top Down construye regiones con un nivel de seguridad bajo o nulo.

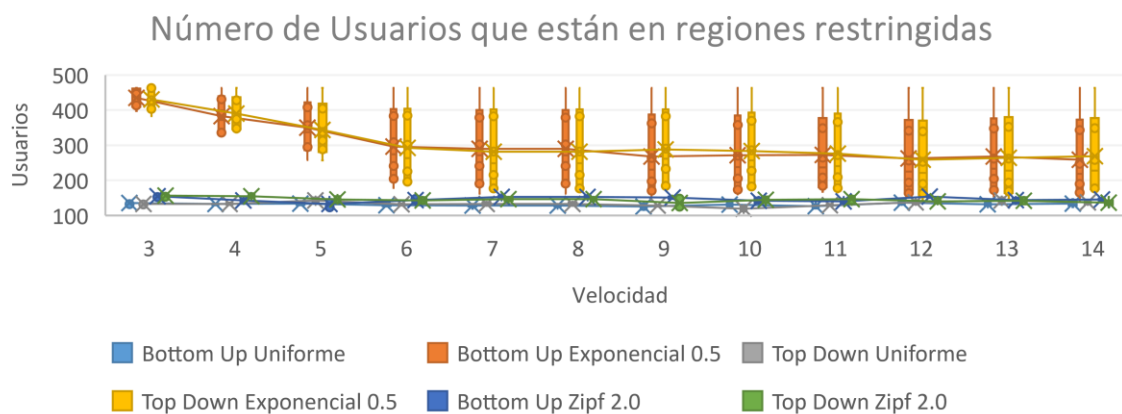


Fig. 36: Número de usuarios ubicados en área restringidas (métrica velocidad)

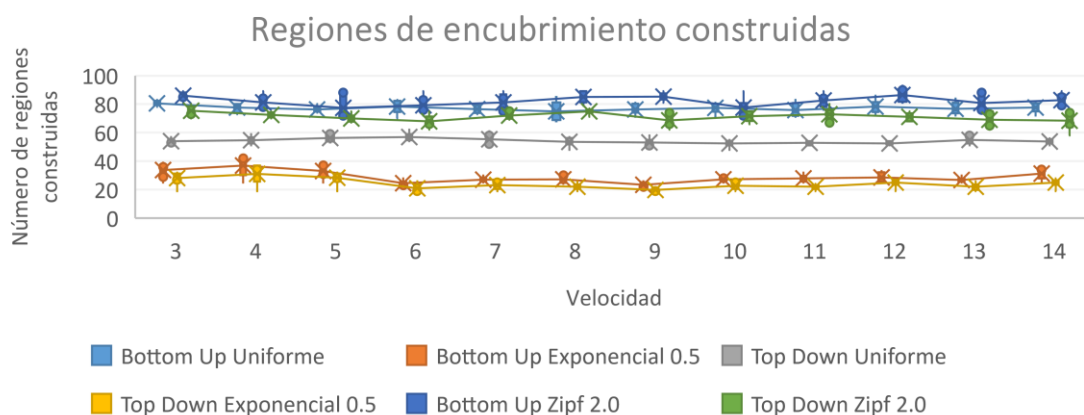


Fig. 37: Regiones de encubrimiento construidas (métrica velocidad)

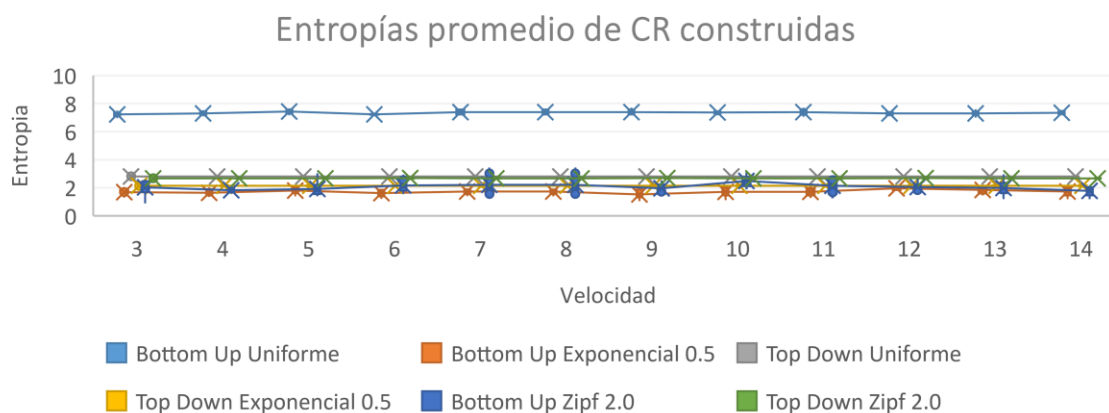


Fig. 38: Entropías promedio de CR construidas (métrica velocidad)

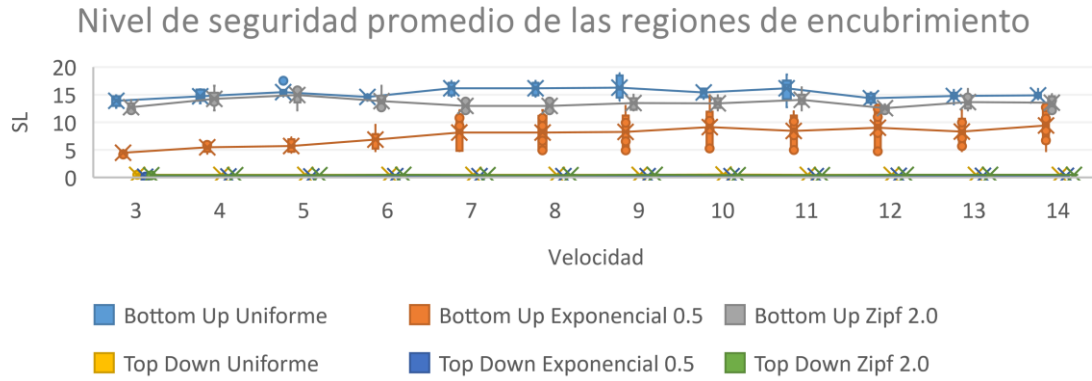


Fig. 39: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica velocidad)

5.5. Efecto de la seguridad física (θ)

Con respecto al parámetro del nivel de seguridad demandada (θ), se ha definido un rango entre 0.018 a 0.882 fijando k en 7, l en 5, cantidad de usuarios en 500, rutas fijas en 50, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, velocidad en 2, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

Con respecto al costo computacional, la razón de ahorro en el enfoque Top down (Fig. 40) es mayor cuando los usuarios están distribuidos con Zipf, esto es porque existe una probabilidad alta de que existan celdas con baja ocupación y pocas celdas sin contar con la celda donde está situado con alta ocupación. Para el enfoque Bottom Up pasa con la distribución uniforme, existe una gran probabilidad de que las celdas tengan baja ocupación. Al haber baja ocupación en celdas, se puede satisfacer más rápidamente la demanda de k -anonimato y nivel de seguridad.

Con respecto a la dimensión de las regiones de encubrimiento, en la Fig. 41, se muestra que el enfoque Bottom Up aún muestra una tendencia a sobredimensionar las regiones de encubrimiento a diferencia del enfoque Top Down que se ajusta de mejor manera a los requisitos de los usuarios.

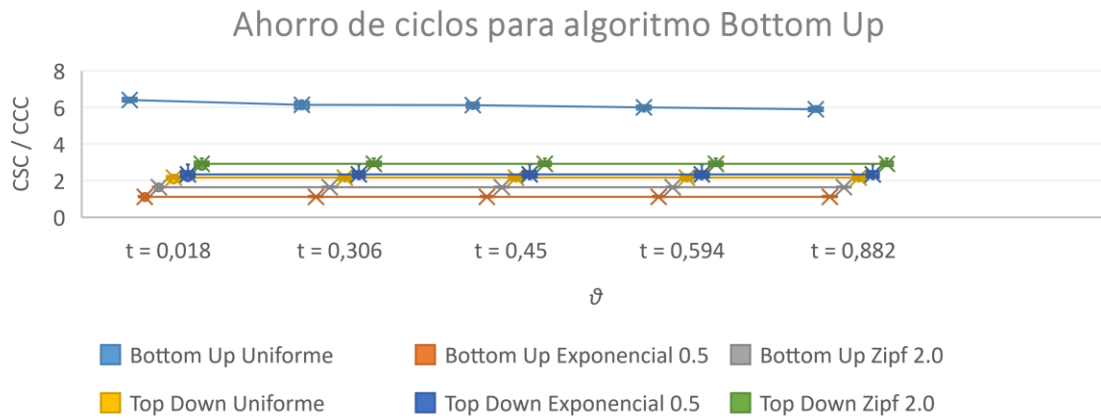


Fig. 40: Ahorro computacional para enfoque Bottom Up (métrica θ)

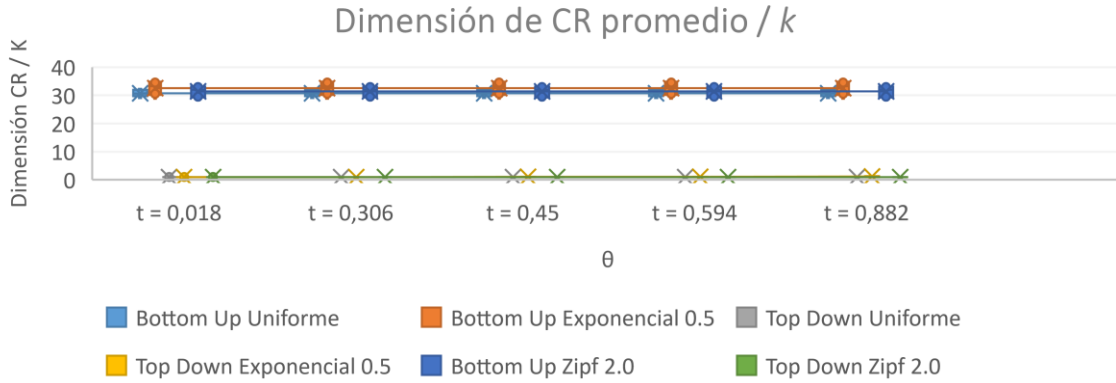


Fig. 41: Dimensión de CR promedio / k (métrica θ)

5.6. Efecto de las áreas restringidas

Con respecto a las áreas restringidas, se ha definido 6 áreas restringidas ilustradas en la Fig. 42, las celdas azules son las que definen las áreas restringidas. Se fija k en 7, l en 5, θ en 0.45, cantidad de usuarios en 500, rutas fijas en 50, árboles ontológicos en 16, términos sensibles en 194, velocidad en 2, y usuarios que cambian sus consultas en 60 por timestamp.

La cantidad de usuarios dentro de áreas restringidas, como es de esperarse, aumentan a medida que se va aumentando la dimensión de las áreas restringidas como se muestran en la Fig. 43. La distribución que genera más usuarios dentro de las áreas restringidas es la distribución uniforme, esto es debido a que esta distribución ubica a los usuarios con un grado alto de dispersión con respecto a la distribución exponencial y Zipf como lo mostrado en la Fig. 9.

El costo computacional, lo mostrado en la Fig. 44 y Fig. 45, para ambos enfoques van aumentando a medida que aumentan las áreas restringidas, esto es debido a que, si hay más usuarios dentro de áreas restringidas, más usuarios demandan construcción de regiones de encubrimiento, por consiguiente, como se muestra en la Fig. 46, las regiones de encubrimiento construidas aumentan al aumentar las áreas restringidas. En la calidad de las regiones de encubrimientos construidas se nota que aún lidera Bottom Up Uniforme como la configuración que construye regiones de encubrimiento con mayor entropía mantenida (Fig. 47). El nivel de seguridad (Fig. 48) en este caso lo lidera la distribución Zipf para ambos enfoques. En la razón entre la dimensión promedio y el parámetro k , aún se puede notar que Bottom Up tiende a sobredimensionar las regiones de encubrimiento y Top down se ajusta al k .

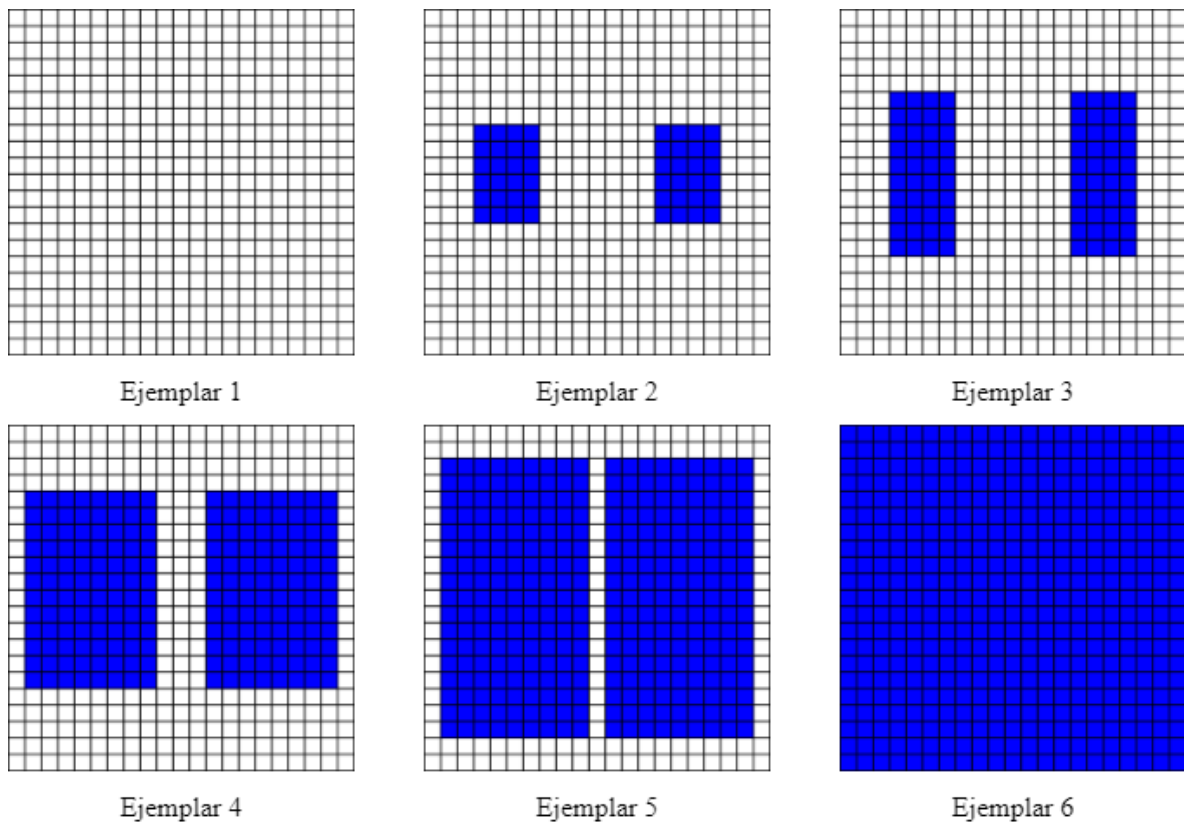


Fig. 42: Ejemplares de áreas restringidas definidas

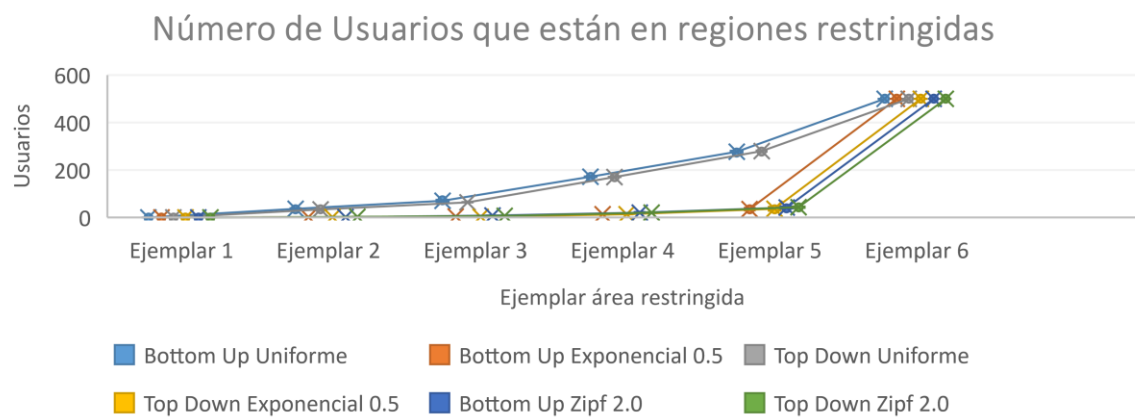


Fig. 43: Número de usuarios ubicados en áreas restringidas (métrica área)

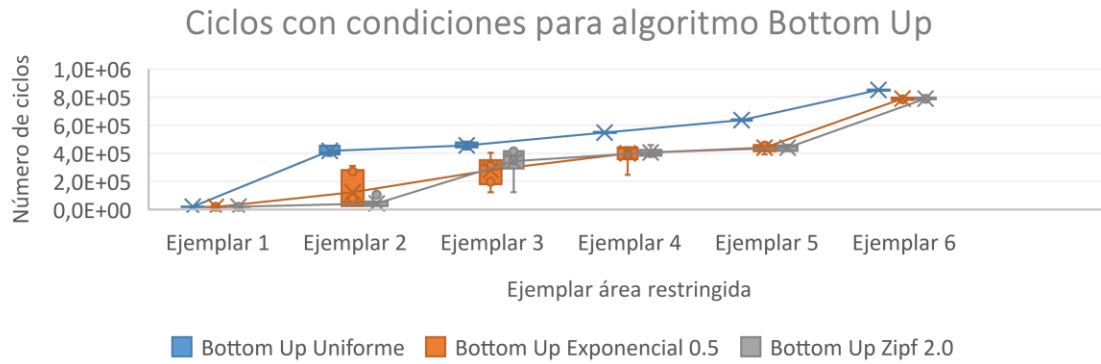


Fig. 44: Ciclos con condiciones para enfoque Bottom Up (métrica área)

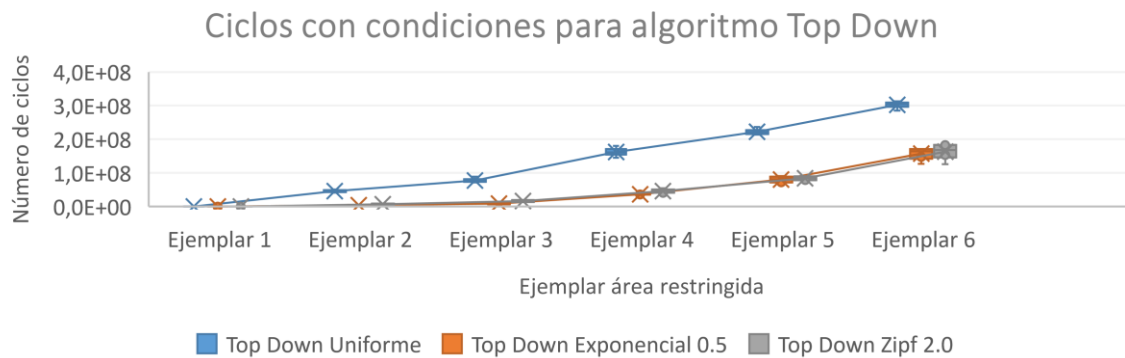


Fig. 45: Ciclos con condiciones para enfoque Top Down (métrica área)

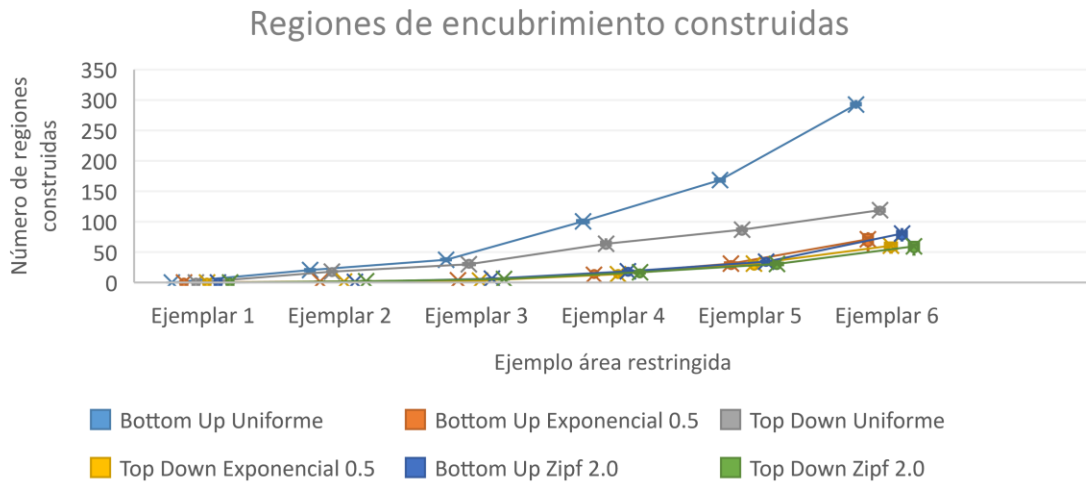


Fig. 46: Regiones de encubrimiento construidas (métrica área)

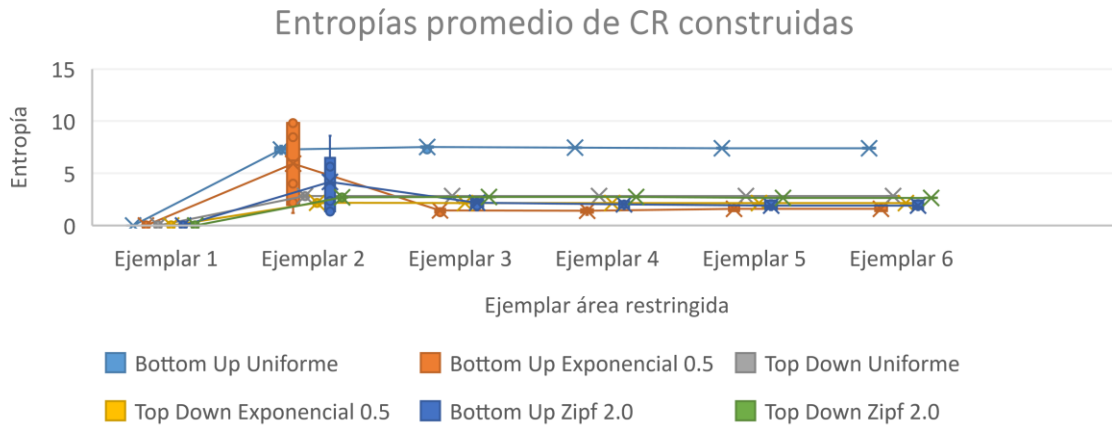


Fig. 47: Entropía promedio de CR construidas (métrica área)

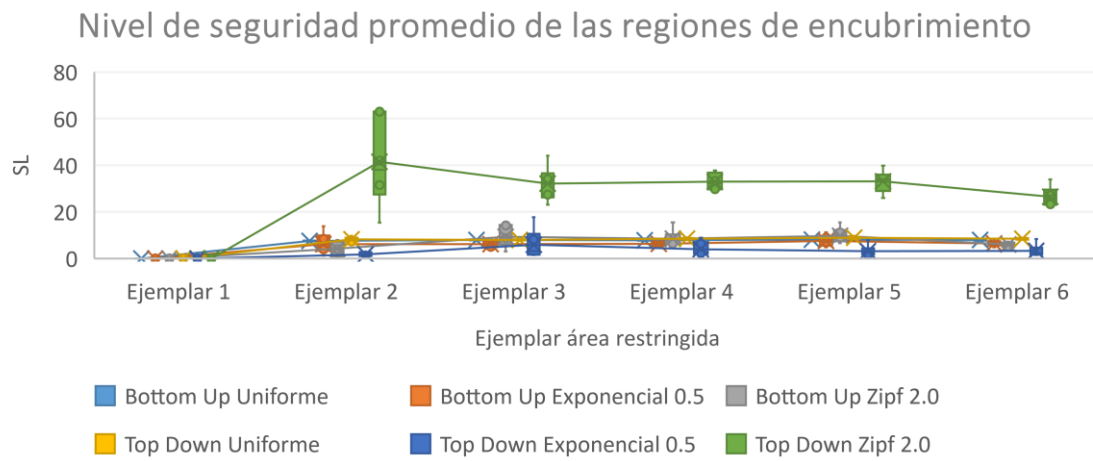


Fig. 48: Nivel de seguridad promedio de las regiones de encubrimiento (métrica área)

Conclusiones

En esta investigación, se define el objetivo de contar con un conjunto de algoritmos de procesamiento por lotes que le permitan al anonimizador mantener estabilidad ante un alto número de usuarios solicitando requisitos de privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas, y los costos de procesamiento en servicio basado de la ubicación continuos (LBSc). A raíz de los objetivos específicos de estas tesis, se presenta una técnica novedosa de procesamiento por lotes para crear regiones de encubrimiento y consultas ficticias para muchos usuarios con diversos requisitos de privacidad de ubicación, seguridad física y privacidad de consultas, dando cumplimiento. A raíz del segundo objetivo específico, teóricamente, se han identificado tres ataques relacionados con las regiones de encubrimiento; ataque por inferencia, ataque por colusión y ataque por accesibilidad. A raíz del tercer objetivo específico, la técnica propuesta intenta equilibrar el costo computacional en el anonimizador y el servicio basado en la ubicación en un contexto dinámico. Los enfoques utilizados aprovechan la construcción eficiente de regiones de encubrimiento de usuarios que exige simultáneamente requisitos de privacidad de ubicación y seguridad física similares y ubicados cerca unos de otros. La técnica propuesta usa dos enfoques identificados en el estado del arte para la construcción de regiones de encubrimiento: Bottom Up y Top Down. A raíz del cuarto objetivo específico, se presenta un nuevo enfoque basado en ontologías que relaciona los términos que puede constituir una consulta con términos que tengan una relación espacio-temporal con las consultas reales para la creación de consultas ficticias y satisfacer el requisito de privacidad de consultas. La técnica propuesta ofrece soluciones rentables para el anonimizador para crear protecciones de seguridad, privacidad de ubicación y privacidad de consultas a partir de los resultados obtenidos bajo simulación. Se ha identificado que el enfoque Bottom Up muestra una región de encubrimiento de alta entropía, pero sobredimensionada. Para el enfoque Top Down parece mostrar el equilibrio adecuado entre tamaño, k -anonimato y seguridad física. No encontramos ningún impacto en las métricas medidas cuando la seguridad física (θ) varía. Los resultados obtenidos en las pruebas empíricas demuestran el gran potencial y la posibilidad de la utilización de esta nueva técnica y abre las puertas a que esto se puede llevar a una versión mejorada.

Trabajos futuros

En los resultados obtenidos, podemos apreciar que al variar la seguridad física (θ) no se evalúa ningún impacto, por lo que esperamos realizar un estudio más minucioso y realizar más experimentos para tener un resultado más claro en el impacto al variar la seguridad física demandada por los usuarios en el contexto dinámico. También, para otras métricas como la l -diversidad y perfeccionar la elección de términos para la generación de consultas ficticias. En el caso de ambos enfoques para la construcción de regiones de encubrimiento (Bottom Up y Top Down) implementar un algoritmo inteligente que, dependiendo de la distribución y requisitos de los usuarios, elegir cuando es el enfoque más adecuado.

Referencias

- [1] W. Stallings and L. Brown, *Computer security: PRINCIPLES AND PRACTICE 2nd Edition*, 2nd ed. 2012.
- [2] T. Xu and Y. Cai, "Location anonymity in continuous location-based services," in *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 2007, pp. 300–307.
- [3] P. Galdames, C. Gutierrez-Soto, and A. Curiel, "Batching Location Cloaking Techniques for Location Privacy and Safety Protection," *Mob. Inf. Syst.*, vol. 2019, 2019.
- [4] RAE and ASALE, "Privacidad - Diccionario de la lengua española." [Online]. Available: <https://dle.rae.es/?w=privacidad>. [Accessed: 16-Feb-2021].
- [5] RAE, "Definición de privacidad - Diccionario del español jurídico." [Online]. Available: <https://dej.rae.es/lema/privacidad>. [Accessed: 16-Feb-2021].
- [6] A. Pfitzmann and M. Hansen, "A terminology for talking about privacy by data minimization: Anonymity, Unlinkability, Undetectability, Unobservability, Pseudonymity, and Identity Management," 2010.
- [7] M. Gruteser and D. Grunwald, "Anonymous Usage of Location-Based Services Through Spatial and Temporal Cloaking," in *Proceedings of the 1st international conference on Mobile systems, applications and services - MobiSys '03*, 2003, pp. 31–42.
- [8] Y. Ji, R. Gui, X. Gui, D. Liao, and X. Lin, "Location Privacy Protection in Online Query based-on Privacy Region Replacement," in *2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2020*, 2020, pp. 742–747.
- [9] B. Niu, S. Gao, F. Li, H. Li, and Z. Lu, "Protection of location privacy in continuous LBSs against adversaries with background information," in *2016 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2016*, 2016.
- [10] B. Niu, Q. Li, X. Zhu, G. Cao, and H. Li, "Achieving k-anonymity in privacy-aware location-based services," in *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2014, pp. 754–762.
- [11] B. Niu, X. Zhu, X. Lei, W. Zhang, and H. Li, "EPS: Encounter-based privacy-preserving scheme for location-based services," in *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, 2013, pp. 2139–2144.
- [12] B. Niu, X. Zhu, W. Li, H. Li, Y. Wang, and Z. Lu, "A personalized two-tier cloaking scheme for privacy-aware location-based services," in *2015 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2015*, 2015, pp. 94–98.
- [13] M. R. Nosouhi, V. V. H. Pham, S. Yu, Y. Xiang, and M. Warren, "A hybrid location privacy protection scheme in big data environment," in *2017 IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM 2017 - Proceedings*, 2017, vol. 2018-January, pp. 1–6.

- [14] S. T. Peddinti, A. Dsouza, and N. Saxena, "Cover locations: Availing Location-Based Services without revealing the location," in *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*, 2011, pp. 143–152.
- [15] A. S. Saxena, D. Bera, and V. Goyal, "Modeling location obfuscation for continuous query," *J. Inf. Secur. Appl.*, vol. 44, pp. 130–143, Feb. 2019.
- [16] A. S. Saxena, M. Pundir, V. Goyal, and D. Bera, "Preserving location privacy for continuous queries on known route," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2011, vol. 7093 LNCS, pp. 265–279.
- [17] L. Sweeney, "k-anonymity: A model for protecting privacy," *Int. J. Uncertainty, Fuzziness Knowledge-Based Syst.*, vol. 10, no. 5, pp. 557–570, Oct. 2002.
- [18] G. Tobar, P. Galdames, ... C. G.-S.-2018 P. of, and undefined 2018, "A batching location cloaking algorithm for location privacy protection," *books.google.com*.
- [19] G. Yang and Y. Cai, "Full Location Privacy Protection Through Restricted Space Cloaking," *J. Inf. Process.*, vol. 25, no. 0, pp. 756–765, Aug. 2017.
- [20] S. Zhang, K. K. R. Choo, Q. Liu, and G. Wang, "Enhancing privacy through uniform grid and caching in location-based services," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 86, pp. 881–892, Sep. 2018.
- [21] A. Machanavajjhala, J. Gehrke, D. Kifer, and M. Venkitasubramaniam, " ℓ -Diversity: Privacy beyond k-anonymity," in *Proceedings - International Conference on Data Engineering*, 2006, vol. 2006, p. 24.
- [22] A. Pingley, N. Zhang, X. Fu, H. A. Choi, S. Subramaniam, and W. Zhao, "Protection of query privacy for continuous location based services," in *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2011, pp. 1710–1718.
- [23] J. Wang, Z. Cai, Y. Li, D. Yang, J. Li, and H. Gao, "Protecting query privacy with differentially private k-anonymity in location-based services," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 22, no. 3, pp. 453–469, Jun. 2018.
- [24] S. Yang, S. Tang, and X. Zhang, "Privacy-preserving k nearest neighbor query with authentication on road networks," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 134, pp. 25–36, Dec. 2019.
- [25] A. Ye, Y. Li, and L. Xu, "A novel location privacy-preserving scheme based on l-queries for continuous LBS," *Comput. Commun.*, vol. 98, pp. 1–10, Jan. 2017.
- [26] K. G. Shin, X. Ju, Z. Chen, and X. Hu, "Privacy protection for users of location-based services," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 19, no. 1, pp. 30–39, Feb. 2012.
- [27] U.S. International Trade Commission, *Certain GPS Chips, Associated Software and Systems, and Products Containing Same*. 2010.
- [28] Wikipedia, "Unidad de seguimiento GPS." [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_de_seguimiento_GPS. [Accessed: 16-Feb-2021].

- [29] T. Xu and Y. Cai, "Location safety protection in ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 8, pp. 1551–1562, Nov. 2009.
- [30] G. Ghinita, M. L. Damiani, C. Silvestri, and E. Bertino, "Preventing velocity-based linkage attacks in location-aware applications," in *GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, 2009, pp. 246–255.
- [31] Y. Cui *et al.*, "Cache-Based Privacy Preserving Solution for Location and Content Protection in Location-Based Services," *Sensors*, vol. 20, no. 16, p. 4651, Aug. 2020.
- [32] M. Li *et al.*, "DGS-HSA: A Dummy Generation Scheme Adopting Hierarchical Structure of the Address," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 2, p. 548, Jan. 2020.
- [33] S. T. Peddinti, A. Dsouza, and N. Saxena, "Cover locations: Availing Location-Based Services without revealing the location," in *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*, 2011, pp. 143–152.
- [34] J. Zheng, X. Tan, C. Zou, Y. Niu, and J. Zhu, "A cloaking-based approach to protect location privacy in location-based services," in *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014*, 2014, pp. 5459–5464.

Anexos

Los anexos consistirán en presentar las tablas de datos donde se obtuvieron los diferentes gráficos. Se presentarán de forma separada por métrica, por distribución y enfoque para la construcción de regiones de encubrimiento.

Métrica: *l*

Bottom Up Uniforme

<i>l</i>	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR) ⁸ /k promedio	U QD ⁹
2	842364	490033	1,718994435	81	216,382716	7,342975	130	30,91181657	210
2	840275	494449	1,699416927	79	214,696203	7,235075	130	30,67088614	215
2	841946	494554	1,702434921	76	190,157895	7,108429	132	27,16541357	214
2	838292	504659	1,661105816	82	241,597561	7,498811	128	34,51393729	207
2	845003	464348	1,819762333	78	218,576923	7,355568	126	31,22527471	210
2	828443	499210	1,659508023	76	221,881579	7,346922	122	31,69736843	214
3	850055	476978	1,78216815	80	202,8375	7,191537	130	28,97678571	210
3	845557	513564	1,646449128	78	194,448718	7,130533	128	27,77838829	211
3	836401	506417	1,651605298	79	227,037975	7,430399	130	32,43399643	210
3	841674	503281	1,672373883	77	217,935065	7,297475	130	31,13358071	206
3	844393	509918	1,655938798	71	203,647887	7,121128	123	29,09255529	206
3	845930	498491	1,69698149	73	217,438356	7,353165	121	31,06262229	211
4	858782	518288	1,656959065	80	203,5875	7,206681	130	29,08392857	210
4	857384	496181	1,727966206	75	242,4	7,567404	132	34,62857143	212
4	857712	508799	1,68575803	76	235,618421	7,490735	129	33,65977443	213
4	841554	507787	1,657297253	79	210,126582	7,292735	124	30,01808314	209
4	856749	521842	1,641778546	79	219,316456	7,382046	130	31,33092229	210
4	852909	526145	1,621053132	82	235,743902	7,509351	134	33,67770029	207
5	869609	485406	1,791508552	80	211,625	7,228025	130	30,23214286	210
5	859040	527381	1,628879311	83	202,987952	7,15424	130	28,99827886	216
5	862085	524164	1,644685633	74	209,283784	7,246745	126	29,89768343	225
5	870136	512724	1,697084591	76	222,921053	7,296522	125	31,84586471	225
5	870014	507552	1,714137665	77	216,337662	7,382587	129	30,90538029	219
5	855070	517356	1,65276908	77	226,519481	7,415569	126	32,35992586	224
6	881836	502263	1,755725586	82	237,125	7,506783	130	33,875	210
6	876020	522644	1,676131363	74	226,958333	7,402478	130	32,422619	216
6	885600	531897	1,66498401	75	187,118421	7,052882	125	26,731203	218
6	867761	530894	1,634527797	75	210,131579	7,299725	125	30,018797	219
6	886388	523518	1,693137581	76	216,157143	7,405484	128	30,87959186	223
6	884607	502947	1,758847354	79	208,097222	7,302709	123	29,72817457	217
7	902965	543600	1,661083517	80	237,125	7,506783	130	33,875	210
7	885830	544644	1,626438554	72	226,958333	7,402478	130	32,422619	218
7	905034	541639	1,670917345	76	187,118421	7,052882	125	26,731203	218
7	902456	501931	1,797968247	76	210,131579	7,299725	125	30,018797	214
7	900908	511123	1,762605087	70	216,157143	7,405484	128	30,87959186	213
7	901196	520919	1,730011768	72	208,097222	7,302709	123	29,72817457	208

Tabla anexa 1: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica *l*)

⁸ Dimensión de las regiones de encubrimiento construidas y asignadas a usuarios

⁹ Número de usuarios que demandan *l*-diversidad

Top Down Uniforme

<i>l</i>	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	300214460	144792245	2,073415327	57	7	2,807355	130	1	210
2	302656401	127356580	2,376448873	50	7	2,807355	127	1	211
2	302712436	132489870	2,284796838	52	7	2,807355	130	1	214
2	302829649	160089925	1,891622155	63	7	2,807355	133	1	207
2	299805391	142436902	2,104829484	56	7	2,807355	131	1	203
2	297596115	142438809	2,089290953	56	7	2,807355	133	1	210
3	305391419	142156363	2,148278224	56	7	2,807355	130	1	210
3	320420592	119562857	2,679934221	47	7	2,807355	130	1	205
3	307987621	124672631	2,47037075	49	7	2,807355	130	1	203
3	315311438	150288007	2,098047903	59	7	2,807355	138	1	208
3	280355685	157530166	1,77969523	62	7	2,807355	135	1	220
3	320235472	142407140	2,248731854	56	7	2,807355	140	1	217
4	287053826	150016750	1,913478502	59	7	2,807355	130	1	210
4	289968978	134599604	2,154307809	53	7	2,807355	128	1	212
4	312383499	139684631	2,236348385	55	7	2,807355	130	1	220
4	309920092	127254070	2,435443456	50	7	2,807355	126	1	212
4	316061595	124761333	2,533329738	49	7	2,807355	126	1	224
4	315407777	142322184	2,216153295	56	7	2,807355	129	1	213
5	297690087	137475990	2,165396932	54	7	2,807355	130	1	210
5	292559124	149876927	1,951995746	59	7	2,807355	133	1	211
5	307968238	132211819	2,329354821	52	7	2,807355	133	1	207
5	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
5	310704844	139701224	2,224066727	55	7	2,807355	137	1	227
5	295146422	132446633	2,228417705	52	7	2,807355	139	1	214
6	304944732	139971782	2,178615773	55	7	2,807355	130	1	210
6	290039514	129763719	2,235135647	51	7	2,807355	130	1	214
6	318096024	142435210	2,233268193	56	7	2,807355	128	1	210
6	297917071	127334030	2,339650061	50	7	2,807355	126	1	215
6	297835894	116772218	2,550571524	46	7	2,807355	126	1	212
6	315463348	137434843	2,295366598	54	7	2,807355	128	1	211
7	317887453	134702044	2,359930433	53	7	2,807355	130	1	210
7	297863100	145017952	2,05397398	57	7	2,807355	130	1	216
7	287754240	132388406	2,173560727	52	7	2,807355	128	1	218
7	299766204	145227426	2,064115658	57	7	2,807355	126	1	212
7	315660537	142458586	2,215805631	56	7	2,807355	126	1	206
7	315329334	142505005	2,212759713	56	7	2,807355	128	1	207

Tabla anexa 2: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica *l*)

Bottom Up Exponencial 0.5

<i>l</i>	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	773616	712045	1,086471	24	202,7083	1,868659	463	28,95833	212
2	776942	734033	1,058456	32	188,9375	1,845031	464	26,99107	203
2	768141	719794	1,067168	35	224,9143	1,985319	461	32,13061	209
2	802524	695911	1,153199	35	210,6286	1,801312	453	30,0898	213
2	770725	715761	1,076791	39	214,5128	1,321222	451	30,64469	202
2	780920	698711	1,117658	38	228,9474	1,591453	446	32,70677	205
3	809511	734649	1,101902	24	182,5833	1,573136	463	26,08333	212
3	777622	743159	1,046374	33	252,8788	2,143697	463	36,12554	210
3	757189	729658	1,037731	37	242	1,707683	458	34,57143	205
3	786365	741228	1,060895	36	229,6389	1,706156	453	32,80556	197
3	799569	718910	1,112196	40	199,925	1,257453	447	28,56071	194
3	786757	698345	1,126602	40	226,35	1,463597	438	32,33571	202
4	823677	662776	1,242768	26	210,5769	1,750896	463	30,08242	212
4	794465	702535	1,130855	30	202,8333	2,08671	461	28,97619	208

4	804979	752161	1,070222	32	237,8438	1,881847	458	33,97768	198
4	782938	699505	1,119274	35	243,5143	1,451334	454	34,78776	203
4	808026	746061	1,083056	35	239,7429	2,161225	448	34,24898	201
4	788708	729799	1,080719	35	214,2	1,872351	446	30,6	203
5	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
5	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
5	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
5	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
5	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
5	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
6	804149	797230	1,008679	23	224,9583	1,658604	463	32,1369	212
6	835168	758618	1,100907	33	244,8788	1,991833	463	34,98268	217
6	831430	763884	1,088424	37	213,9189	1,924848	453	30,55985	209
6	762514	746615	1,021295	39	236,3243	1,832234	447	33,76062	206
6	817364	665005	1,22911	45	218,1026	1,375446	439	31,15751	206
6	830631	713340	1,164425	43	234,8333	1,805488	431	33,54762	207
7	845790	693983	1,218747	24	224,9583	1,658604	463	32,1369	212
7	852177	744501	1,144628	33	244,8788	1,991833	463	34,98268	207
7	820669	700615	1,171355	37	213,9189	1,924848	453	30,55985	203
7	828625	764155	1,084368	37	236,3243	1,832234	447	33,76062	206
7	808374	736447	1,097668	39	218,1026	1,375446	439	31,15751	207
7	821028	709555	1,157103	36	234,8333	1,805488	431	33,54762	203

Tabla anexa 3: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica I)

Top Down Exponencial 0.5

I	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	131886744	46570239	2,831996	18	7,444444	2,129984	463	1,063492	212
2	149701739	67386540	2,221538	26	7	2,023854	462	1	214
2	163059206	80129091	2,034956	31	7	2,14397	459	1	211
2	163090826	82596033	1,97456	32	7	2,157884	456	1	204
2	170719854	74814993	2,281894	29	7	2,159059	451	1	205
2	162983695	75038111	2,172012	29	7	2,161932	445	1	208
3	129204159	49147621	2,6289	19	7,789474	2,117799	463	1,112782	212
3	152523706	69755328	2,186553	27	7	2,084339	462	1	204
3	157873581	77413330	2,039359	30	7	2,121148	460	1	196
3	165715116	85333179	1,941978	33	7	2,154506	457	1	195
3	168087439	80185380	2,096235	31	7	2,159173	452	1	201
3	170627681	85499439	1,995658	33	7	2,161534	446	1	200
4	134517462	51826338	2,595542	20	7	1,922059	463	1	212
4	144628271	67305019	2,148848	26	7	2,063511	463	1	212
4	160253540	80116782	2,000249	31	7	2,138312	457	1	208
4	168096344	80036652	2,100242	31	7	2,157806	449	1	199
4	167862714	77533258	2,165041	30	7	2,160974	443	1	205
4	178758140	77496126	2,306672	30	7	2,161439	438	1	216
5	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
5	149923691	64694494	2,31741	25	7,36	2,167725	463	1,051429	215
5	160250042	80341809	1,994603	31	7	2,14013	459	1	205
5	157766378	80072283	1,970299	31	7	2,154289	457	1	208
5	170377939	77581480	2,196116	30	7	2,157347	449	1	207
5	176069516	77537950	2,270753	30	7	2,153558	442	1	200
6	131902221	43874761	3,006335	17	7,722222	2,161519	463	1,103175	212
6	149886550	67464198	2,22172	26	7,36	2,165745	461	1,051429	200
6	157841564	67294779	2,345525	26	7,137931	2,163706	457	1,019704	203
6	165598309	67240581	2,462773	26	7	2,144398	451	1	195
6	168136592	67126204	2,504783	26	7	2,150616	445	1	198
6	170960899	72453010	2,359611	28	7	2,159781	440	1	211
7	129139744	46594350	2,771575	18	7,722222	2,161519	463	1,103175	212
7	160146120	64673649	2,476219	25	7,36	2,165745	461	1,051429	211
7	175845426	74914798	2,347272	29	7,137931	2,163706	457	1,019704	199
7	178592110	77483052	2,304918	30	7	2,144398	451	1	207
7	167999816	80428842	2,088801	31	7	2,150616	445	1	207
7	165625697	82837806	1,999397	32	7	2,159781	440	1	202

Tabla anexa 4: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica I)

Bottom Up Zipf 2.0

<i>l</i>	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	842086	507686	1,658675	90	211,2111	1,565478	153	30,17302	212
2	843561	526627	1,601819	86	219,4186	2,521572	150	31,34552	205
2	849644	525800	1,615907	82	210,2927	1,610787	153	30,04181	196
2	853934	511506	1,669451	86	212,9186	1,784531	152	30,41694	196
2	843405	528861	1,594757	89	215,6517	2,575198	155	30,80738	200
2	846567	473786	1,786813	85	212,4471	2,900546	155	30,34958	194
3	848254	514537	1,648577	87	203,023	2,05252	153	29,00328	212
3	853786	527411	1,618825	85	229,4353	2,560652	146	32,77647	208
3	864370	513634	1,682852	84	226,7738	1,265015	143	32,39626	203
3	862394	514185	1,677206	85	227,2471	1,670767	142	32,46387	199
3	854051	528081	1,617273	82	204,0854	1,792669	139	29,15505	206
3	862014	520301	1,65676	81	247,7037	1,679791	142	35,38624	201
4	851886	535249	1,59157	87	209,4138	1,974681	153	29,91626	212
4	862387	492841	1,749828	78	208,0513	1,65156	145	29,72161	203
4	854647	510787	1,673196	74	232,2162	1,525943	139	33,17375	204
4	860021	504138	1,705924	81	205,679	2,069064	137	29,38272	204
4	861594	535303	1,609545	78	218,3974	1,745725	138	31,19963	204
4	864631	526868	1,641077	76	224,3158	3,273171	142	32,04511	208
5	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
5	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
5	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
5	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
5	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
5	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
6	886462	497813	1,780713	90	200,4157	3,140493	153	28,63082	212
6	887486	538874	1,646927	84	203,6353	1,846885	147	29,09076	206
6	886973	541177	1,63897	87	229,3125	3,001838	147	32,75893	208
6	879771	542814	1,62076	84	216,3289	2,804161	146	30,90414	200
6	883323	539643	1,636865	86	238,2078	1,849954	146	34,02968	200
6	881633	525088	1,67902	82	237,0759	1,799443	148	33,86799	205
7	904992	539112	1,678672	89	200,4157	3,140493	153	28,63082	212
7	916960	555320	1,651228	85	203,6353	1,846885	147	29,09076	217
7	910801	550080	1,655761	80	229,3125	3,001838	147	32,75893	207
7	911087	555315	1,640667	76	216,3289	2,804161	146	30,90414	196
7	915431	542144	1,688538	77	238,2078	1,849954	146	34,02968	200
7	908283	568780	1,596897	79	237,0759	1,799443	148	33,86799	211

Tabla anexa 5: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica *l*)

Top Down Zipf 2.0

<i>l</i>	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	595647062	210491813	2,829787313	77	7	2,679915	153	1	212
2	589167579	191143395	3,082332921	70	7	2,679161	149	1	208
2	614385179	193953916	3,167686385	71	7	2,679587	144	1	204
2	617394137	171821029	3,593239667	63	7	2,667378	144	1	200
2	614757227	199205343	3,086047883	73	7	2,684821	143	1	207
2	608541799	199524666	3,049957738	73	7	2,681757	143	1	211
3	604087999	202080444	2,989344179	74	7	2,680483	153	1	212
3	605971993	185649402	3,264066496	68	7	2,684455	148	1	211
3	617087201	196692414	3,137320797	72	7	2,681906	147	1	209
3	619684839	185333305	3,343623743	68	7	2,677665	143	1	206
3	609144009	193586848	3,146618767	71	7	2,679809	151	1	204
3	614502383	191336583	3,211630381	70	7	2,674262	153	1	201
4	590440655	204977755	2,880510888	75	7	2,675598	153	1	212
4	621929855	191073153	3,254930613	70	7	2,671399	150	1	208
4	584084756	204935315	2,85009324	75	7	2,677054	152	1	202
4	614925591	199055841	3,089211489	73	7	2,67577	153	1	200
4	592718628	185705670	3,191709914	68	7	2,687801	157	1	204
4	586517775	179982870	3,258742207	66	7	2,683544	154	1	203

5	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
5	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
5	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
5	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
5	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
5	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197
6	584804033	204939148	2,853549645	75	7	2,680585	153	1	212
6	622134715	213222830	2,917767835	78	7	2,683329	153	1	205
6	611406667	196386282	3,113286024	72	7	2,67297	146	1	211
6	611857420	191001499	3,203416849	70	7	2,683145	146	1	200
6	606173190	210333823	2,881957744	77	7	2,665408	146	1	204
6	622220535	199507259	3,118786445	73	7	2,665955	149	1	198
7	600927045	204747036	2,93497311	75	7	2,680585	153	1	212
7	649702685	196495952	3,306443102	72	7	2,683329	153	1	211
7	624880449	193689856	3,22619089	71	7	2,67297	146	1	205
7	617006148	196140340	3,145738138	72	7	2,683145	146	1	199
7	611509976	204843667	2,985252046	75	7	2,665408	146	1	203
7	606095334	191216380	3,169683131	70	7	2,665955	149	1	209

Tabla anexa 6: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica I)

Métrica: Número de usuarios

Bottom Up Uniforme

U ¹⁰	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	584443	452037	1,29290965	47	219,489362	7,277695	59	31,3556231	95
200	580581	476411	1,21865574	45	233,155556	7,367173	59	33,3079366	94
200	587384	444010	1,32290714	46	218,717391	7,323672	59	31,2453416	94
200	572678	442659	1,29372271	47	201,085106	7,114174	59	28,7264437	89
200	562979	462083	1,21835038	45	209,244444	7,1447	58	29,8920634	89
200	559757	411445	1,36046616	47	183,255319	6,970813	56	26,1793313	89
300	655418	439405	1,49160342	60	207,466667	7,2538	82	29,6380953	124
300	656205	458854	1,43009541	60	203,283333	7,179132	82	29,0404761	115
300	660441	480887	1,37338086	64	212,96875	7,255984	81	30,4241071	111
300	670196	457129	1,46609819	63	218,650794	7,392322	81	31,2358277	113
300	667829	453834	1,47152703	53	208,509434	7,271963	78	29,787062	118
300	671965	480131	1,39954512	57	237,438596	7,484107	77	33,9197994	120
400	769120	498636	1,5424478	70	234,028571	7,38343	104	33,432653	168
400	757355	495035	1,52990193	72	204,402778	7,18461	101	29,2003969	175
400	770643	507186	1,51944849	71	217,126761	7,276977	102	31,0181087	175
400	761399	501219	1,51909445	67	242,41791	7,525453	102	34,63113	181
400	758961	497867	1,5244252	69	249,594203	7,59347	104	35,6563147	171
400	763369	495601	1,54028947	69	227,637681	7,378145	103	32,5196687	169
500	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
500	859040	527381	1,62887931	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	216
500	862085	524164	1,64468563	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	225
500	870136	512724	1,69708459	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	225
500	870014	507552	1,71413766	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	219
500	855070	517356	1,65276908	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	224
600	979751	531464	1,84349457	84	207,607143	7,186262	148	29,6581633	254
600	979387	526656	1,85963323	87	197,425287	7,154047	147	28,2036124	244
600	961759	531934	1,80804198	79	229,379747	7,43051	149	32,7685353	239
600	984414	517188	1,90339683	86	230,813953	7,437249	154	32,9734219	240
600	984499	509634	1,93177653	84	220,130952	7,307838	157	31,4472789	251
600	975257	548394	1,77838744	80	229,975	7,396793	156	32,8535714	259
700	1105087	564917	1,95619356	96	208,8125	7,183132	176	29,8303571	303
700	1103975	560423	1,96989595	89	219,11236	7,284569	178	31,3017657	299
700	1103693	556762	1,98234254	86	239,209302	7,55567	182	34,1727574	302
700	1092433	566765	1,92748847	93	222,88172	7,39706	189	31,8402457	301
700	1103997	573036	1,92657529	93	225,010753	7,330219	189	32,1443933	304
700	1088366	551841	1,97224563	94	214,138298	7,228347	183	30,5911854	314

¹⁰ Número de usuarios

800	1231910	585100	2,10546915	101	223,168317	7,323629	206	31,8811881	334
800	1229598	579845	2,12056325	97	228,670103	7,390479	207	32,6671576	332
800	1228708	587060	2,09298538	98	227,918367	7,438108	211	32,5597667	342
800	1229755	586660	2,09619712	98	226,591837	7,393897	211	32,3702624	345
800	1232051	581198	2,11984728	96	232,895833	7,498886	210	33,2708333	336
800	1231232	582416	2,11400786	99	224,787879	7,306719	213	32,1125541	333

Tabla anexa 7: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica usuarios)

Top Down Uniforme

U	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	215892622	99143188	2,17758402	39	7	2,807355	59	1	95
200	218720220	91523897	2,38976079	36	7	2,807355	58	1	98
200	231695189	86470798	2,67946167	34	7	2,807355	57	1	101
200	195900258	86532913	2,26388147	34	7	2,807355	56	1	97
200	208496036	81144564	2,56943935	32	7	2,807355	55	1	99
200	241413823	83851015	2,87908051	33	7	2,807355	55	1	95
300	239034339	104370508	2,29024792	41	7	2,807355	82	1	124
300	254272791	117136573	2,17073784	46	7	2,807355	78	1	108
300	251528978	106552306	2,36061506	42	7	2,807355	79	1	115
300	233927500	119577116	1,95628986	47	7	2,807355	74	1	116
300	274694419	119509137	2,29852232	47	7	2,807355	78	1	119
300	254316033	124619104	2,04074676	49	7	2,807355	83	1	120
400	274532453	127152997	2,15907182	50	7	2,807355	104	1	168
400	274803921	129809736	2,11697465	51	7	2,807355	105	1	171
400	274363794	104270951	2,63125819	41	7	2,807355	108	1	166
400	282679978	119526148	2,36500534	47	7	2,807355	103	1	170
400	282047562	147714983	1,90940388	58	7	2,807355	110	1	170
400	282074867	127220512	2,21721217	50	7	2,807355	110	1	173
500	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
500	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
500	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
500	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
500	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
500	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
600	330726561	140092464	2,36077339	55	7	2,807355	148	1	254
600	335557103	132394977	2,53451536	52	7	2,807355	146	1	246
600	317670969	152459323	2,0836441	60	7	2,807355	152	1	256
600	313099909	145244758	2,15567097	57	7	2,807355	142	1	248
600	318665654	142688707	2,23329274	56	7	2,807355	140	1	247
600	330376211	130230883	2,53684997	51	7	2,807355	137	1	238
700	351105991	152722807	2,2989755	60	7	2,807355	176	1	303
700	333098047	160381552	2,07690999	63	7	2,807355	183	1	304
700	315124183	129742216	2,42884847	51	7	2,807355	181	1	303
700	320975528	162805061	1,97153286	64	7	2,807355	185	1	315
700	313057473	150243330	2,08366969	59	7	2,807355	178	1	321
700	320772227	142863009	2,24531339	56	7	2,807355	177	1	314
800	313425609	183368951	1,70926216	72	7	2,807355	206	1	334
800	330816198	162882167	2,03101545	64	7	2,807355	210	1	343
800	335765119	142756237	2,35201716	56	7	2,807355	203	1	337
800	328108559	147447644	2,22525467	58	7	2,807355	200	1	345
800	336068157	160142612	2,09855549	63	7	2,807355	203	1	351
800	333440027	149812763	2,22571175	59	7	2,807355	199	1	339

Tabla anexa 8: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica usuarios)

Bottom Up Exponencial 0.5

U	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	551939	485226	1,137489	21	202,0476	1,893095	166	28,86395	95
200	551943	476018	1,1595	30	212,1	1,504019	167	30,3	97
200	567797	487856	1,163862	32	253,1875	1,980334	167	36,16964	94
200	559138	515758	1,084109	37	248,8108	1,928056	168	35,5444	90

200	566870	476125	1,190591	37	218,4595	1,501715	168	31,20849	95
200	564085	484956	1,163167	38	206,2105	1,665102	167	29,45865	91
300	650225	447628	1,452601	21	193,5238	1,256865	266	27,64626	142
300	617855	580817	1,063769	29	228,4138	2,069623	267	32,63054	141
300	626042	571058	1,096284	34	182,9118	1,546313	265	26,13025	147
300	642474	574923	1,117496	34	227,0294	1,431615	259	32,43277	138
300	610527	572698	1,066054	37	224,973	1,101358	254	32,139	144
300	637691	588382	1,083804	37	226,6757	1,489225	256	32,38224	145
400	752014	624610	1,203974	25	212,72	1,960425	363	30,38857	170
400	722474	654487	1,103878	30	208,6667	1,543032	363	29,80952	173
400	733528	618576	1,185833	32	239,3438	2,124631	360	34,19196	181
400	714926	680655	1,05035	35	225,8571	1,750203	354	32,26531	178
400	701173	643109	1,090286	39	216,7436	1,384638	349	30,96337	176
400	698633	646206	1,08113	38	236,3684	1,659648	343	33,76692	171
500	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
500	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
500	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
500	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
500	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
500	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
600	909071	860962	1,055878	25	230,68	1,772869	563	32,95429	244
600	931904	784176	1,188386	33	186,4545	1,495548	562	26,63636	244
600	926724	839196	1,1043	38	213,0789	1,241947	556	30,43985	251
600	925043	821734	1,125721	38	223,0526	1,542748	543	31,86466	247
600	916968	821833	1,11576	38	213,9737	1,598442	543	30,56767	246
600	921969	833073	1,106709	38	267,2368	0,947445	532	38,17669	245
700	987317	944451	1,045387	22	233,7727	1,983887	662	33,3961	284
700	1024626	914551	1,12036	31	235,3871	1,299418	659	33,62673	289
700	987062	928236	1,063374	38	227,8158	1,868541	651	32,54511	286
700	1043805	923348	1,130457	38	233,8947	1,797184	649	33,41353	284
700	1007426	953974	1,056031	34	221,0588	2,046766	647	31,57983	289
700	999166	854986	1,168634	37	238,1892	1,4751	643	34,02703	283
800	1129521	1011945	1,116188	23	211,3913	1,640967	761	30,19876	332
800	1158773	1061336	1,091806	32	222,8438	1,80838	758	31,83482	334
800	1170378	1077010	1,086692	35	213,6	1,407416	753	30,51429	331
800	1138123	1042434	1,091794	35	217,2571	1,38658	747	31,03673	334
800	1154201	1060738	1,088111	39	204,7692	1,540674	734	29,25275	334
800	1181589	982350	1,202819	40	200,9	1,573229	721	28,7	335

Tabla anexa 9: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica usuarios)

Top Down Exponencial 0.5

U	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	126686999	44013844	2,878344	17	7	2,155008	166	1	95
200	147512667	44013844	2,720196	21	7	2,161973	164	1	96
200	152594406	54228684	2,566193	23	7	2,158516	163	1	97
200	163158027	59463350	2,738257	23	7	2,157905	160	1	94
200	165195130	59584626	2,559521	25	7	2,156893	162	1	93
200	165796892	64541413	2,37325	27	7	2,162688	161	1	94
300	129257535	69860699	2,771351	18	7	2,129388	266	1	142
300	155064261	46640621	2,397017	25	7	2,150257	266	1	135
300	157829656	64690517	2,355297	26	7	2,156235	264	1	136
300	162978221	67010497	2,254586	28	7	2,157924	263	1	134
300	152458173	72287426	2,036167	29	7	2,16401	260	1	127
300	162894812	74875078	2,170689	29	7	2,160748	260	1	133
400	132137066	75042892	2,689086	19	7	2,056757	363	1	170
400	144840178	49138286	2,331508	24	7	2,117042	363	1	167
400	160558867	62122953	2,585412	24	7	2,143379	355	1	180
400	155249162	62101846	2,313494	26	7	2,155304	351	1	177
400	157581658	67105931	2,261271	27	7	2,159415	351	1	176
400	160600932	69687197	2,299018	27	7	2,159116	348	1	172
500	129386119	69856313	2,627733	19	7	2,124618	463	1,052632	212
500	149923691	49238690	2,31741	25	7,368421	2,167725	463	1,051429	215
500	160250042	64694494	1,994603	31	7,36	2,14013	459	1	205

500	157766378	80341809	1,970299	31	7	2,154289	457	1	208
500	170377939	80072283	2,196116	30	7	2,157347	449	1	207
500	176069516	77581480	2,270753	30	7	2,153558	442	1	200
600	126505200	77537950	2,72233	18	7	2,161579	563	1,142857	244
600	157570886	46469465	2,256845	27	8	2,095332	564	1,021164	244
600	160597429	69819088	1,828013	34	7,148148	2,090532	556	1	246
600	165504475	87853543	2,004165	32	7	2,113044	549	1	241
600	173263900	82580263	2,029112	33	7	2,118857	544	1	239
600	178804752	85389046	2,098662	33	7	2,149756	537	1	238
700	129248948	85199417	2,626509	19	7	2,103218	662	1,157895	284
700	144675648	49209410	2,241011	25	8,105263	2,125725	659	1,051429	282
700	170804887	64558208	2,203143	30	7,36	2,091049	653	1,02381	287
700	170763384	77527836	2,362206	28	7,166667	2,075384	642	1	283
700	175944536	72289784	2,425783	28	7	2,124316	635	1	278
700	202133613	72531020	2,68956	29	7	2,141957	621	1	286
800	128970200	75154910	2,945875	17	7	2,129815	761	1,487395	332
800	152408355	43779925	2,358097	25	10,41177	2,101383	759	1,182857	334
800	175806592	64631918	2,42466	28	8,28	2,092948	754	1,071429	335
800	188539005	72507716	2,355167	31	7,5	2,116351	746	1,009217	331
800	188812083	80053332	2,432863	30	7,064516	2,167359	740	1,042857	333
800	189374350	77609006	2,287715	32	7,3	2,13272	730	1	339

Tabla anexa 10: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica usuarios)

Bottom Up Zipf 2.0

U	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	588816	438855	1,34171	49	186,551	2,010916	61	26,65015	95
200	587509	449167	1,307997	48	179,4167	2,311514	60	25,63095	92
200	647217	455478	1,420962	49	186,449	2,88322	62	26,63557	96
200	652074	460827	1,415008	49	222,6327	2,219835	62	31,80466	98
200	642224	459241	1,398447	48	231,2083	1,68921	62	33,02976	97
200	637792	380179	1,67761	49	195,7143	1,758018	63	27,95918	91
300	672591	489894	1,372932	60	201,5	2,788444	85	28,78571	142
300	669627	489696	1,367434	62	209,2581	2,467724	84	29,89401	138
300	688071	465697	1,477508	60	230,65	1,48058	81	32,95	134
300	675674	490901	1,376396	56	218,9286	1,792182	78	31,27551	136
300	662065	472235	1,401982	51	238,6275	1,356782	79	34,08964	132
300	668121	494181	1,351976	55	224,9091	1,791729	78	32,12987	133
400	750624	504997	1,486393	76	201,0789	2,254877	120	28,72556	170
400	771713	511279	1,509377	82	212,6707	1,499273	119	30,38153	174
400	778974	529732	1,470506	73	235,3562	1,766931	120	33,62231	185
400	774692	503037	1,54003	69	235	1,392633	114	33,57143	184
400	775561	493171	1,572601	72	232,2222	1,111715	112	33,1746	179
400	780013	493326	1,581131	66	211,8182	1,379303	111	30,25974	183
500	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
500	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
500	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
500	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
500	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
500	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
600	984528	536825	1,833983	91	231,2088	1,884979	176	33,02983	244
600	981780	550836	1,782345	91	224,8571	1,837129	176	32,12245	239
600	982528	543498	1,807786	93	198,4839	1,322509	178	28,35484	235
600	981802	546692	1,795896	85	209,3176	2,43139	172	29,90252	239
600	976932	555835	1,757594	90	227,3222	1,90095	172	32,4746	244
600	984987	539684	1,825118	89	224,4831	1,876381	172	32,06902	254
700	1101283	582028	1,892148	100	226,84	2,503458	202	32,40571	284
700	1105190	552656	1,999779	103	213,5728	2,08149	199	30,5104	285
700	1090840	577832	1,887815	96	215,8438	2,357854	202	30,83482	280
700	1108760	578884	1,915341	91	215,1648	1,89705	203	30,73783	280
700	1106879	575891	1,922029	92	237,7609	2,383126	200	33,96584	287
700	1105738	564692	1,958126	92	242,3043	1,766521	198	34,61491	285
800	1237969	602594	2,0544	104	222,3462	1,477826	228	31,76374	332
800	1226709	590495	2,077425	102	227,6176	2,670354	230	32,51681	337

800	1233969	600285	2,055639	95	226,9789	1,779905	230	32,42556	333
800	1234417	610651	2,021477	100	222,9	1,964518	230	31,84286	328
800	1246207	568929	2,190444	103	221,3689	2,278053	227	31,62413	327
800	1244798	600802	2,071894	100	198,65	1,163453	227	28,37857	333

Tabla anexa 11: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica usuarios)

Top Down Zipf 2.0

U	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
200	341060871	111976372	3,045829	41	7	2,67698	61	1	95
200	360283334	98301473	3,665086	36	7	2,686588	61	1	91
200	335345875	100860007	3,324865	37	7	2,682583	60	1	89
200	338364270	106449187	3,178646	39	7	2,664435	62	1	92
200	324792970	114641927	2,833108	42	7	2,674745	63	1	98
200	335589760	114746249	2,924625	42	7	2,674808	62	1	98
300	433649736	152923503	2,83573	56	7	2,68359	85	1	142
300	436450270	139297766	3,133218	51	7	2,690428	86	1	145
300	447675227	147414937	3,036838	54	7	2,694588	84	1	140
300	444968532	125744644	3,538668	46	7	2,694966	82	1	132
300	442291131	149903007	2,950515	55	7	2,679865	85	1	132
300	450350897	139287324	3,233251	51	7	2,664052	82	1	125
400	538058158	188509999	2,854269	69	7	2,679564	120	1	170
400	512629576	169311490	3,027731	62	7	2,679071	115	1	159
400	526630440	185595312	2,83752	68	7	2,682427	113	1	174
400	554118151	168937103	3,280026	62	7	2,676056	117	1	178
400	548860024	188307491	2,914701	69	7	2,684599	115	1	187
400	557003932	182760603	3,047724	67	7	2,680034	115	1	183
500	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
500	580852645	207281164	2,802245	76	7	2,67439	153	1	209
500	581299375	207475992	2,801767	76	7	2,686271	153	1	205
500	594980677	199034885	2,989329	73	7	2,676508	155	1	204
500	595079424	185663347	3,205153	68	7	2,677643	152	1	209
500	567916969	199349039	2,848857	73	7	2,667439	152	1	197
600	642031254	221224799	2,902167	81	7	2,679002	176	1	244
600	655226312	224023812	2,924807	82	7	2,680775	179	1	243
600	660663048	221034461	2,988959	81	7	2,680948	177	1	245
600	644066496	215363097	2,990608	79	7	2,677527	176	1	246
600	668981527	210255038	3,181762	77	7	2,681038	172	1	236
600	658283855	188597494	3,490417	69	7	2,674517	168	1	242
700	687901787	237515561	2,896239	87	7	2,67309	202	1	284
700	684693413	213126421	3,212616	78	7	2,669743	201	1	287
700	699405968	229429688	3,048455	84	7	2,672118	200	1	286
700	677029684	207368431	3,264864	76	7	2,66755	195	1	287
700	677322322	207257851	3,268018	76	7	2,676117	202	1	291
700	682983441	204893492	3,333358	75	7	2,677135	201	1	283
800	739574359	248622644	2,974686	91	7	2,673528	228	1	332
800	726603184	245876967	2,955149	90	7	2,673443	232	1	334
800	737907557	237376735	3,108593	87	7	2,669354	229	1	344
800	772706609	229392404	3,368493	84	7	2,672972	230	1	342
800	761657273	223841191	3,402668	82	7	2,678118	225	1	342
800	742886855	234738159	3,164747	86	7	2,683846	231	1	337

Tabla anexa 12: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica usuarios)

Métrica: k

Bottom Up Uniforme

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/ k promedio	U QD
2	863856	471139	1,83354806	82	202,02439	7,041178	130	101,012195	210
2	860979	515568	1,66996206	78	218,910256	7,29004	127	109,455128	214
2	861454	468365	1,83927919	73	213,191781	7,09851	130	106,595891	217
2	862477	518539	1,6632828	81	226,209877	7,378974	132	113,104939	219
2	860257	504790	1,70418788	83	253,686747	7,631024	133	126,843374	214
2	866561	526174	1,64690958	87	215,517241	7,288995	132	107,758621	221
3	870922	513589	1,69575672	82	238,036585	7,437334	130	79,3455283	210
3	861509	486748	1,76992818	78	202,884615	7,189482	127	67,628205	215
3	871038	490403	1,77616776	79	204,886076	7,132172	128	68,2953587	215
3	870232	523395	1,66266777	74	233,189189	7,331639	127	77,7297297	211
3	863547	517496	1,66870275	73	225,465753	7,312042	121	75,155251	216
3	861213	488178	1,76413726	80	211,3125	7,103202	126	70,4375	224
4	871143	508513	1,71311845	82	232,390244	7,449482	130	58,097561	210
4	869204	513345	1,69321606	86	222,034884	7,354025	132	55,508721	209
4	867845	509381	1,70372472	79	220,075949	7,253806	128	55,0189873	205
4	869221	520071	1,67135064	77	224,454545	7,342367	127	56,1136363	194
4	860187	470727	1,82735853	81	204,382716	7,150032	124	51,095679	199
4	869114	501837	1,73186513	73	219,205479	7,359452	121	54,8013698	207
5	860406	501775	1,71472473	81	229,444444	7,431168	130	45,8888888	210
5	862622	510352	1,69024908	78	227,038462	7,331321	131	45,4076924	218
5	869589	512444	1,69694445	76	210,171053	7,081441	135	42,0342106	213
5	863137	512781	1,68324684	77	198,714286	7,009127	138	39,7428572	216
5	862526	529245	1,62972914	79	211,810127	7,162975	138	42,3620254	215
5	867483	527206	1,64543461	83	193,46988	7,072918	137	38,693976	223
6	860272	493545	1,74304673	81	226,308642	7,400516	130	37,718107	210
6	866420	504794	1,71638332	73	192,150685	7,117689	125	32,0251142	219
6	864351	502350	1,72061511	85	224,964706	7,360476	129	37,4941177	211
6	868472	523410	1,65925756	79	218,240506	7,260692	127	36,3734177	208
6	865796	521272	1,66092942	79	229,164557	7,453317	130	38,1940928	215
6	868670	511090	1,69964194	76	233,460526	7,426981	131	38,9100877	210
7	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
7	859040	527381	1,62887931	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	216
7	862085	524164	1,64468563	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	225
7	870136	512724	1,69708459	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	225
7	870014	507552	1,71413766	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	219
7	855070	517356	1,65276908	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	224
8	873413	523644	1,66795189	80	221,4375	7,375491	130	27,6796875	210
8	867714	526436	1,64828013	76	223,763158	7,349324	135	27,9703948	215
8	855701	529972	1,61461549	75	233,133333	7,405049	133	29,1416666	215
8	867838	502255	1,72788325	76	209,157895	7,247921	129	26,1447369	215
8	872514	530891	1,64348991	78	224,551282	7,335232	134	28,0689103	228
8	871803	516238	1,68876177	72	220,180556	7,346312	135	27,5225695	218
9	870017	529672	1,64255804	78	206,884615	7,11923	130	22,9871794	210
9	856820	521737	1,64224504	80	213,1625	7,178027	127	23,6847222	207
9	874346	510172	1,71382593	76	200,157895	7,243032	132	22,2397661	209
9	855272	511576	1,67183762	76	219,144737	7,266452	127	24,3494152	205
9	868197	503606	1,72396079	73	230,123288	7,422922	135	25,5692542	211
9	866105	491742	1,76129962	75	222,266667	7,378817	132	24,6962963	204
10	869574	527618	1,64811284	80	205,5	7,206745	130	20,55	210
10	863525	534208	1,61645838	77	237,285714	7,526041	130	23,7285714	217
10	872158	539837	1,61559508	76	223,25	7,329796	131	22,325	218
10	864211	536446	1,61099346	79	237,088608	7,52258	133	23,7088608	217
10	871154	500998	1,73883728	74	218,594595	7,349186	134	21,8594595	210
10	865757	519375	1,66692082	76	214,157895	7,364513	132	21,4157895	213
11	873771	529969	1,64872096	80	213,65	7,274199	130	19,4227273	210
11	864782	450882	1,91797854	79	206,240506	7,237737	130	18,7491369	208
11	877132	530553	1,65324105	84	216,02381	7,318396	132	19,6385282	208
11	875661	521837	1,67803548	80	218,525	7,342769	132	19,8659091	207
11	872005	512286	1,70218394	76	212,065789	7,251533	136	19,2787081	214

11	875414	520539	1,68174527	77	230,636364	7,405292	133	20,9669422	209
12	873069	514569	1,69669957	78	218,884615	7,330195	130	18,2403846	210
12	874534	517962	1,68841344	75	218,546667	7,455131	129	18,2122223	214
12	875080	500502	1,7484046	77	209,597403	7,269129	131	17,4664503	221
12	872429	533439	1,63548035	78	224,820513	7,422884	128	18,7350428	217
12	871778	525934	1,65758061	82	230,231707	7,378639	129	19,1859756	218
12	871848	532999	1,6357404	79	226,493671	7,371292	130	18,8744726	212

Tabla anexa 13: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica k)

Top Down Uniforme

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	475652087	169698517	2,80292424	66	3	1,584963	130	1,5	210
2	473918039	174879992	2,70996146	68	3	1,584963	130	1,5	214
2	511964241	175124788	2,92342533	68	3	1,584963	136	1,5	220
2	476506687	185200826	2,5729188	72	3	1,584963	133	1,5	212
2	476522583	177649249	2,68237882	69	3	1,584963	138	1,5	217
2	496673489	177261997	2,80191749	69	3	1,584963	141	1,5	210
3	475652087	169698517	2,80292424	66	3	1,584963	130	1	210
3	473918039	174879992	2,70996146	68	3	1,584963	130	1	214
3	511964241	175124788	2,92342533	68	3	1,584963	136	1	220
3	476506687	185200826	2,5729188	72	3	1,584963	133	1	212
3	476522583	177649249	2,68237882	69	3	1,584963	138	1	217
3	496673489	177261997	2,80191749	69	3	1,584963	141	1	210
4	418006795	171822735	2,43277931	67	4	2	130	1	210
4	423546303	166597213	2,54233727	65	4	2	129	1	209
4	429027112	151410339	2,83353908	59	4	2	129	1	220
4	402610787	149018069	2,70175818	58	4	2	130	1	211
4	395118068	171811293	2,29972117	67	4	2	134	1	213
4	423458134	166623897	2,54140097	65	4	2	134	1	220
5	367682410	163614460	2,24724887	64	5	2,321928	130	1	210
5	357848312	153509992	2,33110762	60	5	2,321928	129	1	216
5	358050870	150830226	2,37386683	59	5	2,321928	131	1	214
5	368097701	145999636	2,52122342	57	5	2,321928	132	1	218
5	370956422	161058975	2,30323347	63	5	2,321928	131	1	212
5	370510925	160958814	2,30189895	63	5	2,321928	130	1	219
6	344214021	155456902	2,21420868	61	6	2,584962	130	1	210
6	338874559	150337975	2,2540849	59	6	2,584962	129	1	209
6	356655786	152952371	2,33180946	60	6	2,584962	134	1	208
6	329209681	163154475	2,01777905	64	6	2,584962	142	1	217
6	354385757	145416750	2,43703533	57	6	2,584962	139	1	225
6	313444004	145726042	2,15091277	57	6	2,584962	137	1	215
7	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
7	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
7	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
7	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
7	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
7	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
8	279186421	116721902	2,39189403	46	8	3	130	1	210
8	271409861	139401618	1,94696349	55	8	3	137	1	212
8	287128349	129339191	2,21996401	51	8	3	139	1	214
8	292067269	131998981	2,21264791	52	8	3	140	1	216
8	269217514	121829060	2,20979719	48	8	3	133	1	210
8	284019257	116499098	2,43795241	46	8	3	131	1	210
9	230507334	118963123	1,93763688	47	9	3,169925	130	1	210
9	260821282	129074945	2,02069644	51	9	3,169925	135	1	208
9	245701353	139073942	1,76669583	55	9	3,169925	135	1	205
9	250700197	129259088	1,93951699	51	9	3,169925	135	1	207
9	270993567	121613753	2,2283135	48	9	3,169925	137	1	211
9	258262645	124120804	2,08073616	49	9	3,169925	135	1	209
10	242426824	118778419	2,0410006	47	10	3,321928	130	1	210
10	234896537	128935694	1,82181155	51	10	3,321928	130	1	214
10	257509084	113684965	2,26511117	45	10	3,321928	129	1	214
10	237552855	126283225	1,88111172	50	10	3,321928	129	1	216

10	229916924	121265993	1,89597197	48	10	3,321928	128	1	211
10	242323852	121120427	2,00068525	48	10	3,321928	129	1	219
11	219468416	118338905	1,85457535	47	11	3,459432	130	1	210
11	232051290	105981751	2,18954007	42	11	3,459432	130	1	217
11	229530078	136111693	1,68633622	54	11	3,459432	130	1	213
11	234368622	118361097	1,98011532	47	11	3,459432	126	1	211
11	206838552	111204024	1,85999161	44	11	3,459432	130	1	212
11	232213007	105790175	2,19503377	42	11	3,459432	127	1	214
12	216485175	108152758	2,00166116	43	12	3,584962	130	1	210
12	211327748	123168059	1,71576746	49	12	3,584962	132	1	216
12	228838407	115688972	1,97804858	46	12	3,584962	131	1	215
12	223666227	110528460	2,02360756	44	12	3,584962	132	1	218
12	206348827	110843201	1,86162818	44	12	3,584962	127	1	214
12	223966690	113113634	1,98001498	45	12	3,584962	127	1	221

Tabla anexa 14: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica k)

Bottom Up Exponencial 0.5

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	940153	870413	1,080123	26	204,8077	1,908289	463	102,4038	212
2	926231	752140	1,231461	30	208,4667	0,908837	461	104,2333	201
2	838928	741557	1,131306	35	248,9429	1,531638	456	124,4714	199
2	814254	736257	1,105937	34	226,1765	1,502583	449	113,0882	197
2	815135	723185	1,127146	36	237,1111	1,5042	447	118,5556	202
2	799835	710820	1,125229	39	204,1026	1,583393	441	102,0513	191
3	837854	712021	1,176727	25	211,68	1,510064	463	70,56	212
3	802486	731544	1,096976	32	211,6563	1,418916	462	70,55208	204
3	803905	710784	1,131012	34	183,6176	1,611883	458	61,20588	207
3	801111	739652	1,083092	36	226,8889	1,409378	446	75,62963	212
3	808040	734847	1,099603	38	212,4474	1,386999	447	70,81579	199
3	816210	733873	1,112195	37	183,1892	1,342457	441	61,06306	199
4	841950	737364	1,141838	23	270,6957	1,815583	463	67,67391	212
4	806096	684897	1,176959	34	211,1765	1,641806	464	52,79412	217
4	824921	749289	1,100938	36	232,1667	1,535678	458	58,04167	214
4	809918	763246	1,061149	35	245	1,518966	457	61,25	215
4	794390	750101	1,059044	40	223,275	1,627069	453	55,81875	209
4	807762	713453	1,132187	41	230,122	1,705719	448	57,53049	198
5	790165	749835	1,053785	25	228,96	1,803632	463	45,792	212
5	826861	731423	1,130483	36	243,1667	1,781751	465	48,63333	213
5	799222	695893	1,148484	38	200,9737	1,248778	461	40,19474	210
5	789608	626556	1,260235	36	195,4722	1,48782	457	39,09444	213
5	797614	729024	1,094085	35	221,8286	1,677632	452	44,36571	216
5	780870	741470	1,053138	35	203,1143	1,871708	444	40,62286	213
6	815347	764860	1,066008	22	244,9091	1,711298	463	40,81818	212
6	789822	708971	1,11404	32	217,7188	1,933628	464	36,28646	205
6	806214	730271	1,103993	35	215,9143	1,792024	459	35,98571	203
6	811557	689039	1,17781	37	233,3243	1,579256	458	38,88739	208
6	815806	743014	1,097969	36	213,6389	1,188022	450	35,60648	211
6	815491	741013	1,100508	37	233,7838	1,788796	447	38,96396	205
7	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
7	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
7	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
7	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
7	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
7	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
8	810062	750340	1,079593	22	213,0455	1,950843	463	26,63068	212
8	792645	772099	1,026611	30	208,2333	1,241685	462	26,02917	213
8	812495	736653	1,102955	39	235,5385	1,717842	461	29,44231	202
8	823587	667958	1,232992	38	249,3684	1,455269	453	31,17105	206
8	819236	707100	1,158586	39	195,2308	1,476766	449	24,40385	209
8	795192	719178	1,105696	36	201,5833	2,197366	446	25,19792	206
9	823258	748578	1,099762	22	218,6818	1,910858	463	24,29798	212
9	820261	739336	1,109456	31	213,0645	1,661569	462	23,67384	215
9	793837	773915	1,025742	36	193,4444	2,105302	460	21,49383	210

9	797066	745046	1,069821	35	252,9429	1,724232	446	28,10476	207
9	819418	712648	1,149822	36	225,5833	1,734147	443	25,06481	209
9	831902	706203	1,177993	34	208,8235	1,078209	436	23,20261	206
10	755705	683974	1,104874	23	201,6957	2,071965	463	20,16957	212
10	814963	760992	1,070922	31	219,2581	1,737875	462	21,92581	205
10	806083	743051	1,084829	30	199,1667	1,490274	458	19,91667	208
10	819089	707545	1,157649	33	205,1212	1,757846	456	20,51212	204
10	804871	737881	1,090787	34	233,7353	1,698502	449	23,37353	201
10	835044	758263	1,101259	36	229,3333	1,923147	440	22,93333	194
11	804505	535972	1,501021	22	151,4545	1,743148	463	13,7686	212
11	750607	706689	1,062146	30	193	1,948426	463	17,54545	208
11	825216	699554	1,179632	33	217,8182	1,830526	460	19,80165	195
11	810101	752552	1,076472	36	211,9722	1,960723	454	19,2702	198
11	821455	738281	1,112659	35	205,3429	2,007735	446	18,66753	203
11	819385	714910	1,146137	37	230,5676	1,46897	441	20,96069	205
12	743285	644006	1,154159	21	205,381	2,147121	463	17,11508	212
12	808152	772070	1,046734	29	201,1724	1,849321	464	16,76437	212
12	829894	739673	1,121974	29	248,5517	1,574758	457	20,71264	208
12	824760	753767	1,094184	34	249,2647	1,644243	448	20,77206	211
12	825610	737327	1,119734	32	191,5938	1,862848	443	15,96615	207
12	823352	662583	1,24264	34	238,3235	1,834259	436	19,86029	202

Tabla anexa 15: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica k)

Top Down Exponencial 0.5

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	133358820	52226767	2,553457311	20	3,6	1,018614	463	1,8	212
2	167217005	78664396	2,125701251	30	3,066667	0,966435	462	1,533334	212
2	175463610	83608768	2,098626905	32	3	0,976433	461	1,5	210
2	180275334	86336495	2,088054814	33	3	0,998763	453	1,5	207
2	183601601	86514891	2,122196525	33	3	0,994289	444	1,5	201
2	186124996	83837709	2,220063003	32	3	0,989857	443	1,5	198
3	133358820	52226767	2,553457311	20	3,6	1,018614	463	1,2	212
3	167217005	78664396	2,125701251	30	3,066667	0,966435	462	1,022222	212
3	175463610	83608768	2,098626905	32	3	0,976433	461	1	210
3	180275334	86336495	2,088054814	33	3	0,998763	453	1	207
3	183601601	86514891	2,122196525	33	3	0,994289	444	1	201
3	186124996	83837709	2,220063003	32	3	0,989857	443	1	198
4	132775678	49334000	2,691362509	19	4,526316	1,456278	463	1,131579	212
4	153759126	67767816	2,268910747	26	4,346154	1,513277	460	1,086539	207
4	175015182	70190762	2,493421884	27	4	1,454834	456	1	202
4	179875519	70267284	2,559875788	27	4	1,459414	450	1	198
4	169900527	65244574	2,60405604	25	4	1,485347	445	1	203
4	172236117	75694987	2,275396612	29	4	1,50674	441	1	203
5	129876560	46840969	2,772712921	18	5,5	1,761319	463	1,1	212
5	160917389	70152614	2,293818859	27	5,148148	1,750554	462	1,02963	206
5	163648437	80576150	2,030978608	31	5	1,74353	454	1	203
5	174156036	80419289	2,165600295	31	5	1,78087	451	1	203
5	176872804	70322033	2,515183314	27	5	1,797711	448	1	208
5	171939009	83168819	2,067349411	32	5	1,799962	445	1	203
6	129714931	46670700	2,779365448	18	6,444444	1,944079	463	1,074074	212
6	157843831	67475478	2,339276959	26	6	1,926888	460	1	208
6	158331533	72486811	2,184280572	28	6	1,967895	457	1	207
6	155538924	80338570	1,936042974	31	6	2,012774	454	1	204
6	168340215	75203316	2,238467982	29	6	2,014441	445	1	214
6	181506507	72539907	2,502160735	28	6	2,011058	446	1	212
7	129386119	49238690	2,627732765	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
7	149923691	64694494	2,317410366	25	7,36	2,167725	463	1,051429	215
7	160250042	80341809	1,994603358	31	7	2,14013	459	1	205
7	157766378	80072283	1,970299486	31	7	2,154289	457	1	208
7	170377939	77581480	2,196116122	30	7	2,157347	449	1	207
7	176069516	77537950	2,270752786	30	7	2,153558	442	1	200
8	129067919	49034181	2,632203014	19	8,315789	2,194165	463	1,039474	212
8	141821003	72341801	1,960429531	28	8	2,16085	463	1	205

8	157644011	77364067	2,037690327	30	8	2,229226	461	1	207
8	170499822	79895250	2,134042036	31	8	2,249567	451	1	207
8	175370703	77486648	2,2632377	30	8	2,254555	443	1	209
8	178282704	74872957	2,381136142	29	8	2,257801	436	1	201
9	128584831	46410734	2,77058387	18	9,277778	2,283394	463	1,030864	212
9	154309422	64394098	2,396328651	25	9,16	2,292996	463	1,017778	200
9	159953512	77169828	2,072746774	30	9	2,298988	456	1	204
9	164815419	84909999	1,941060192	33	9	2,320585	454	1	200
9	159734259	79826704	2,001012831	31	9	2,320148	448	1	205
9	167701957	79891787	2,099113855	31	9	2,31837	440	1	213
10	128547770	46301701	2,776307721	18	10,22222	2,333268	463	1,022222	212
10	151368561	66834237	2,264835626	26	10	2,32939	462	1	204
10	172426609	77124818	2,23568254	30	10	2,353928	457	1	209
10	169599099	71935146	2,35766671	28	10	2,365233	450	1	199
10	179574979	79632282	2,25505253	31	10	2,360512	441	1	202
10	169778990	84877769	2,000276303	33	10	2,364346	439	1	205
11	128348168	46209500	2,777527738	18	11,16667	2,304538	463	1,015152	212
11	151248869	66693308	2,267826766	26	11	2,357731	464	1	216
11	161717514	69179620	2,337646752	27	11	2,381877	456	1	204
11	166969639	69013784	2,419366528	27	11	2,396821	448	1	204
11	158889239	71679122	2,216673901	28	11	2,392072	445	1	198
11	166910776	71790449	2,324971891	28	11	2,396365	446	1	199
12	127914442	46161148	2,771041179	18	12,38889	2,336571	463	1,032407	212
12	151088219	69102139	2,186447789	27	12	2,395611	465	1	202
12	161009592	74222727	2,169276157	29	12	2,412371	459	1	199
12	161083538	74205965	2,17076266	29	12	2,414509	451	1	202
12	163590986	76561019	2,136739925	30	12	2,412918	445	1	206
12	161181160	74300876	2,16930363	29	12	2,415994	436	1	206

Tabla anexa 16: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica k)

Bottom Up Zipf 2.0

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	864289	535252	1,614733	88	200,8864	1,104995	153	100,4432	212
2	870562	506929	1,717325	88	212,7386	1,971481	154	106,3693	218
2	866062	534757	1,619543	84	229,381	2,223662	151	114,6905	202
2	861684	514436	1,675007	86	225,7907	1,820409	153	112,8953	199
2	863101	525975	1,640954	84	211	1,764718	154	105,5	209
2	871633	509485	1,710812	90	194,6889	1,479069	152	97,34444	194
3	857936	528785	1,622467	89	206,5056	2,823078	153	68,83521	212
3	868667	516767	1,680965	90	215,6778	2,369799	151	71,89259	214
3	866085	529840	1,634616	94	229,3085	2,52886	149	76,43617	214
3	858782	518264	1,657036	91	220,9011	1,691228	146	73,6337	206
3	870610	536301	1,623361	83	218,8193	2,318394	151	72,93976	204
3	866843	515620	1,681166	87	219,5057	1,765546	151	73,16858	205
4	872682	542948	1,607303	88	224,5568	2,518684	153	56,1392	212
4	869656	527953	1,647222	96	237,2813	1,140563	152	59,32031	207
4	873326	540934	1,614478	83	210,0241	2,04571	147	52,50602	212
4	872061	526275	1,657044	78	228,2564	2,744954	144	57,0641	198
4	865039	523238	1,653242	81	212,9877	1,540559	148	53,24691	202
4	872583	523911	1,665518	83	216,1807	1,089378	146	54,04518	197
5	867077	536169	1,617171	88	221,25	1,610973	153	44,25	212
5	864780	528166	1,637326	87	213,3218	2,591584	151	42,66437	207
5	875554	550925	1,589244	87	217,8276	1,615472	149	43,56552	208
5	862538	515449	1,673372	85	222,7412	1,865124	144	44,54824	211
5	870405	544522	1,598475	91	234,2857	1,424083	146	46,85714	213
5	868104	552045	1,572524	89	250,7191	1,19276	150	50,14382	212
6	863555	533746	1,617914	89	229,2135	1,253465	153	38,20225	212
6	883353	540290	1,634961	86	205,814	1,7486	158	34,30233	212
6	878308	532540	1,649281	89	204,5393	2,513435	158	34,08989	211
6	882636	533395	1,654751	87	213,7356	1,377231	159	35,62261	201
6	872022	539208	1,617227	76	207,4605	2,187162	155	34,57675	203
6	877591	539943	1,62534	78	212,9744	1,642542	156	35,49573	197
7	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212

7	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
7	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
7	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
7	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
7	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
8	875308	526498	1,66251	89	232,4157	1,547768	153	29,05197	212
8	883860	502605	1,758558	94	207,6915	1,447439	152	25,96144	204
8	884817	532382	1,661996	84	218,3452	2,265792	149	27,29315	203
8	879540	537631	1,635955	83	224,2892	1,611199	152	28,03614	203
8	877248	551011	1,59207	84	234,0714	1,502401	154	29,25893	204
8	881970	516811	1,706562	84	220,8095	1,333337	153	27,60119	203
9	868445	547346	1,586647	86	209,3953	2,19081	153	23,26615	212
9	867002	498994	1,7375	88	202,7841	1,409695	154	22,53157	206
9	879556	530269	1,658698	95	214,0947	1,984302	156	23,7883	209
9	880218	541852	1,624462	87	225,9425	1,498065	155	25,10473	204
9	881053	533029	1,652918	85	227,4824	1,946513	152	25,27582	204
9	886267	515406	1,719551	80	231,2125	1,88038	150	25,69028	207
10	878438	535493	1,640429	87	206,2644	2,435574	153	20,62644	212
10	875306	560165	1,562586	91	216,6374	1,43244	155	21,66374	213
10	873649	531815	1,642769	88	218,9773	2,055826	152	21,89773	204
10	874528	545253	1,603894	84	229,5238	1,992157	149	22,95238	203
10	870222	553313	1,572748	83	227,5181	1,483319	148	22,75181	200
10	875937	519880	1,684883	82	231,6463	2,614282	149	23,16463	200
11	873752	551739	1,583633	84	230,881	2,605936	153	20,98918	212
11	878719	491397	1,788206	87	205,6552	1,65014	156	18,69592	209
11	883702	527163	1,676335	85	219,4471	2,326457	158	19,94973	209
11	885120	542992	1,630079	81	212,5802	1,580946	151	19,32548	207
11	884220	522481	1,692349	85	217,9176	2,606331	145	19,8107	201
11	886556	549679	1,612861	85	200,1059	1,369347	144	18,19144	195
12	879969	548912	1,603115	86	218,9767	3,040744	153	18,24806	212
12	870327	516002	1,686674	85	218,3294	1,934868	150	18,19412	213
12	877095	519631	1,687919	81	207,3086	2,088787	142	17,27572	207
12	897779	518053	1,732987	85	229,6824	1,357204	143	19,1402	209
12	897346	529751	1,693901	83	228,8072	2,470228	145	19,06727	199
12	897610	533684	1,681913	80	213,4125	2,263375	147	17,78438	193

Tabla anexa 17: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica k)

Top Down Zipf 2.0

k	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
2	665182135	220797679	3,012632	80	3	1,352229	153	1,5	212
2	689882151	193342993	3,568178	70	3	1,325698	141	1,5	203
2	664771098	203988346	3,258868	74	3	1,329655	133	1,5	201
2	679062246	220666779	3,07732	80	3	1,346371	139	1,5	196
2	659410618	206980340	3,185861	75	3	1,327124	137	1,5	194
2	675647928	207139902	3,261795	75	3	1,347779	139	1,5	194
3	665182135	220797679	3,012632	80	3	1,352229	153	1	212
3	689882151	193342993	3,568178	70	3	1,325698	141	1	203
3	664771098	203988346	3,258868	74	3	1,329655	133	1	201
3	679062246	220666779	3,07732	80	3	1,346371	139	1	196
3	659410618	206980340	3,185861	75	3	1,327124	137	1	194
3	675647928	207139902	3,261795	75	3	1,347779	139	1	194
4	640859157	217629310	2,944728	79	4	1,812163	153	1	212
4	643711771	203526762	3,162787	74	4	1,809539	144	1	205
4	638014696	189681201	3,363616	69	4	1,812658	144	1	203
4	640900993	195364598	3,280538	71	4	1,802289	143	1	202
4	646149093	189971777	3,40129	69	4	1,80353	143	1	205
4	644009969	189725513	3,39443	69	4	1,797621	143	1	202
5	617808374	211352863	2,923113	77	5	2,161474	153	1	212
5	608892447	205598479	2,961561	75	5	2,150799	147	1	213
5	617745347	186265391	3,316479	68	5	2,161483	142	1	208
5	600877920	199927060	3,005486	73	5	2,154679	142	1	205
5	614933894	194850010	3,155935	71	5	2,157825	144	1	206
5	616862062	200233798	3,080709	73	5	2,157044	140	1	202

6	608474854	202602581	3,003293	74	6	2,439711	153	1	212
6	584823773	199812103	2,926869	73	6	2,441994	149	1	212
6	594129343	229839293	2,584977	84	6	2,440139	150	1	221
6	604863400	210464531	2,873945	77	6	2,438689	149	1	211
6	621318642	191592520	3,242917	70	6	2,43846	147	1	210
6	623590394	188942779	3,300419	69	6	2,445535	152	1	202
7	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
7	580852645	207281164	2,802245	76	7	2,67439	153	1	209
7	581299375	207475992	2,801767	76	7	2,686271	153	1	205
7	594980677	199034885	2,989329	73	7	2,676508	155	1	204
7	595079424	185663347	3,205153	68	7	2,677643	152	1	209
7	567916969	199349039	2,848857	73	7	2,667439	152	1	197
8	583779221	198796466	2,936567	73	8	2,883618	153	1	212
8	615328880	204565874	3,007974	75	8	2,874901	153	1	206
8	580199437	209762379	2,765984	77	8	2,885504	145	1	204
8	588795490	187720862	3,136548	69	8	2,882316	144	1	205
8	596714510	190680806	3,129389	70	8	2,879768	141	1	201
8	577644895	193456208	2,985921	71	8	2,870492	146	1	205
9	576957529	203881615	2,829865	75	9	3,064429	153	1	212
9	605747228	184885304	3,276341	68	9	3,062335	157	1	218
9	630669223	182287873	3,459743	67	9	3,066762	151	1	214
9	571053322	187172743	3,050943	69	9	3,062662	151	1	209
9	584196117	198426026	2,944151	73	9	3,06361	143	1	205
9	612145450	193144074	3,169372	71	9	3,064685	145	1	206
10	578398826	192534992	3,004123	71	10	3,212887	153	1	212
10	566470899	200753725	2,82172	74	10	3,209623	145	1	204
10	580693007	187094419	3,103743	69	10	3,213536	140	1	203
10	591192685	189755437	3,115551	70	10	3,229965	146	1	202
10	580602866	195295062	2,972952	72	10	3,225642	149	1	203
10	610449220	200498651	3,044655	74	10	3,227951	146	1	212
11	552800525	189579604	2,915928	70	11	3,35732	153	1	212
11	559909239	186700306	2,998973	69	11	3,366311	154	1	215
11	571203582	184395620	3,097707	68	11	3,363301	153	1	207
11	590508322	178411422	3,309812	66	11	3,349885	151	1	208
11	574521304	175437171	3,274798	65	11	3,346636	147	1	205
11	584567102	183908781	3,178571	68	11	3,355484	147	1	207
12	568593040	191620234	2,967291	71	12	3,485096	153	1	212
12	583171933	202913681	2,87399	75	12	3,495333	150	1	209
12	572406810	186626418	3,067126	69	12	3,498807	142	1	204
12	581423844	172763615	3,36543	64	12	3,493126	137	1	211
12	537621613	167222694	3,215004	62	12	3,496635	142	1	203
12	556699702	194569209	2,861191	72	12	3,489958	146	1	197

Tabla anexa 18: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica k)

Métrica: Velocidad (v)

Bottom Up Uniforme

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
3	868949	510306	1,70279989	83	207,915663	7,215317	132	29,7022376	216
3	871462	482422	1,80643088	78	184,730769	7,024566	132	26,3901099	223
3	869914	532855	1,63255295	80	226,0625	7,433354	137	32,2946429	214
3	875491	520568	1,6817995	81	222,148148	7,309775	142	31,7354497	212
3	862294	517561	1,66607221	82	205,926829	7,170339	142	29,4181184	216
4	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
4	866628	513565	1,68747481	73	200,164384	7,169433	134	28,594912	210
4	872768	505635	1,72608304	80	208,45	7,255255	134	29,7785714	203
4	870068	498418	1,74565927	80	236,2875	7,460478	133	33,7553571	213
4	868449	525901	1,65135453	74	227,986486	7,439787	129	32,569498	211
4	869656	521817	1,66659193	79	209,088608	7,294197	134	29,8698011	211
5	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
5	866990	513359	1,68885712	75	227,573333	7,422655	137	32,5104761	215
5	870293	509899	1,70679488	77	229,025974	7,449573	135	32,7179963	212
5	869165	515343	1,68657574	74	224,554054	7,324947	135	32,0791506	208
5	864656	516202	1,67503419	77	233,61039	7,517743	138	33,3729129	220
5	874484	522097	1,67494546	75	251,2	7,605628	129	35,8857143	218
6	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
6	868150	509826	1,70283587	70	210,371429	7,202493	128	30,0530613	218
6	868734	494419	1,75708053	82	209,670732	7,255559	125	29,9529617	218
6	869811	517858	1,67963225	76	211,315789	7,190341	127	30,1879699	223
6	858098	505602	1,69718079	79	203,974684	7,232641	132	29,1392406	223
6	860984	520705	1,6534967	83	212,457831	7,273162	135	30,3511187	213
7	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
7	870399	499888	1,74118803	74	217,410959	7,244358	131	31,0587084	218
7	871831	509193	1,71218182	78	244,023529	7,57744	133	34,8605041	213
7	872351	521209	1,67370671	75	215,426471	7,27282	119	30,7752101	208
7	867768	515226	1,6842473	73	240,44	7,488902	127	34,3485714	207
7	863355	523589	1,64891738	79	246,565217	7,558149	127	35,2236024	214
8	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
8	868034	527925	1,64423734	73	217,410959	7,244358	131	31,0587084	218
8	870598	510594	1,705069	85	244,023529	7,57744	133	34,8605041	215
8	872486	498635	1,74974881	68	215,426471	7,27282	119	30,7752101	222
8	863652	519869	1,66128775	75	240,44	7,488902	127	34,3485714	213
8	861597	519949	1,65707983	69	246,565217	7,558149	127	35,2236024	207
9	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
9	867368	503147	1,72388586	75	210	7,293821	136	30	214
9	872111	524788	1,66183487	76	245,697368	7,630126	117	35,099624	222
9	870162	488422	1,78157823	71	234,309859	7,441191	115	33,472837	218
9	867526	494085	1,75582339	75	209,8	7,225309	121	29,9714286	218
9	869175	514946	1,68789543	81	239,209877	7,560013	133	34,1728396	213
10	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
10	865722	514155	1,68377629	81	230,567901	7,441036	133	32,9382716	211
10	867072	516563	1,67854066	76	230,815789	7,396489	129	32,9736841	213
10	868442	506926	1,7131534	71	218,380282	7,336081	125	31,1971831	212
10	869868	527916	1,64773941	78	233,884615	7,432202	131	33,4120879	219
10	870100	516071	1,68600832	78	213,089744	7,319846	135	30,441392	219
11	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
11	861829	518692	1,66154288	83	190,86747	7,113074	135	27,2667814	211
11	868987	497161	1,74789857	75	249,893333	7,568249	131	35,6990476	218
11	863477	509268	1,69552573	74	226,081081	7,299942	123	32,2972973	218
11	863218	509966	1,69269716	72	248,527778	7,642369	120	35,5039683	225
11	857570	491296	1,74552612	71	227,366197	7,440386	120	32,4808853	222
12	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
12	868001	492563	1,76221316	75	219,92	7,292558	131	31,4171429	215
12	860711	524185	1,64199853	73	202,726027	7,168793	134	28,960861	212
12	857929	507380	1,69090031	78	224,679487	7,382832	143	32,0970696	214
12	866438	524762	1,6511066	86	218,127907	7,364583	148	31,1611296	211

12	862658	513758	1,67911351	78	227,448718	7,399576	133	32,492674	209
13	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
13	866260	523528	1,65465839	74	236,175676	7,519963	134	33,7393823	215
13	865778	529109	1,63629422	76	225,973684	7,364536	134	32,2819549	214
13	860629	533011	1,61465523	75	225,866667	7,412121	137	32,2666667	213
13	868442	520120	1,66969545	84	195,833333	7,075571	133	27,9761904	210
13	863608	513964	1,68028889	72	202,875	7,244828	123	28,9821429	211
14	869609	485406	1,79150855	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
14	866800	522718	1,6582555	72	207,736111	7,280922	124	29,6765873	216
14	870075	497741	1,74804768	76	211,157895	7,274835	131	30,1654136	218
14	861496	525601	1,63906842	77	229,831169	7,379367	129	32,8330241	217
14	856528	509319	1,68171225	82	234,536585	7,480275	144	33,5052264	212
14	867263	525243	1,65116527	79	229,924051	7,421692	146	32,846293	215

Tabla anexa 19: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica velocidad)

Top Down Uniforme

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
3	310368442	139663720	2,2222553	55	7	2,807355	133	1	214
3	307935494	134934243	2,28211525	53	7	2,807355	131	1	214
3	320429777	134867722	2,37588188	53	7	2,807355	133	1	223
3	323382593	132501971	2,44058704	52	7	2,807355	134	1	216
3	328273131	144973617	2,26436463	57	7	2,807355	136	1	212
4	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
4	279654746	142344842	1,96462859	56	7	2,807355	136	1	214
4	302879353	139990549	2,16357001	55	7	2,807355	136	1	216
4	282612991	134907615	2,09486315	53	7	2,807355	131	1	218
4	294991008	129841076	2,27193903	51	7	2,807355	132	1	215
4	320347710	150158117	2,13340255	59	7	2,807355	131	1	214
5	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
5	302480894	142361484	2,12473828	56	7	2,807355	137	1	217
5	315451162	150033480	2,10253846	59	7	2,807355	140	1	213
5	300767108	134864270	2,23014671	53	7	2,807355	144	1	217
5	312992751	142282281	2,19980133	56	7	2,807355	154	1	214
5	313042101	150063356	2,08606624	59	7	2,807355	150	1	220
6	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
6	287390094	147456301	1,94898483	58	7	2,807355	129	1	212
6	320909787	142420024	2,25326312	56	7	2,807355	129	1	211
6	302782624	157663507	1,92043568	62	7	2,807355	131	1	223
6	310369555	142260584	2,18169746	56	7	2,807355	128	1	224
6	302862584	140091226	2,16189545	55	7	2,807355	141	1	220
7	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
7	287075318	147668332	1,94405472	58	7	2,807355	137	1	210
7	295457778	155440724	1,90077459	61	7	2,807355	132	1	218
7	299759369	129885005	2,3078828	51	7	2,807355	127	1	224
7	310261052	132265181	2,34575003	52	7	2,807355	133	1	219
7	323107928	142366821	2,26954515	56	7	2,807355	139	1	224
8	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
8	310387169	134884684	2,30112982	53	7	2,807355	137	1	217
8	310381003	137576217	2,25606584	54	7	2,807355	132	1	212
8	325290696	122059324	2,66502128	48	7	2,807355	127	1	214
8	323304932	142533621	2,26827137	56	7	2,807355	133	1	217
8	305400348	145363715	2,10093934	57	7	2,807355	139	1	218
9	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
9	294954325	129644644	2,27509842	51	7	2,807355	129	1	216
9	310272645	147703068	2,10065132	58	7	2,807355	129	1	213
9	307974130	134795150	2,28475676	53	7	2,807355	125	1	211
9	297679626	124552533	2,38999255	49	7	2,807355	126	1	215
9	281717499	137663216	2,04642538	54	7	2,807355	128	1	210
10	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
10	297430538	139960657	2,12510104	55	7	2,807355	126	1	216
10	287767982	134826730	2,13435409	53	7	2,807355	120	1	209
10	317834491	134716431	2,35928527	53	7	2,807355	117	1	204

10	313314271	132261677	2,36889686	52	7	2,807355	113	1	204
10	290111736	122052539	2,37694143	48	7	2,807355	107	1	202
11	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
11	307519194	129700756	2,37098999	51	7	2,807355	131	1	216
11	297609758	134922304	2,20578621	53	7	2,807355	133	1	219
11	309937561	129729508	2,38910612	51	7	2,807355	128	1	215
11	292652530	137648116	2,12609179	54	7	2,807355	127	1	228
11	294971546	137352319	2,14755417	54	7	2,807355	127	1	223
12	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
12	295267576	132028912	2,23638574	52	7	2,807355	134	1	216
12	295676820	137411686	2,15175891	54	7	2,807355	132	1	212
12	284761179	132652539	2,14666965	52	7	2,807355	136	1	212
12	308031817	129537990	2,37792648	51	7	2,807355	142	1	210
12	294765096	132297624	2,22804527	52	7	2,807355	147	1	215
13	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
13	318078350	129804621	2,45043934	51	7	2,807355	137	1	216
13	285139421	147418450	1,93421801	58	7	2,807355	143	1	216
13	320227391	147679672	2,16839181	58	7	2,807355	144	1	213
13	310718216	134731933	2,30619579	53	7	2,807355	154	1	211
13	285026611	142379155	2,00188441	56	7	2,807355	150	1	211
14	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
14	302311807	134553767	2,24677327	53	7	2,807355	132	1	216
14	295638457	137243671	2,15411359	54	7	2,807355	142	1	211
14	322618858	139747463	2,30858472	55	7	2,807355	135	1	219
14	290376775	129680310	2,23917397	51	7	2,807355	141	1	213
14	313159230	142125487	2,20339952	56	7	2,807355	145	1	205

Tabla anexa 20: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica velocidad)

Bottom Up Exponencial 0.5

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
3	817146	638727	1,279335	29	247	1,693812	461	35,28571	214
3	827734	737730	1,122001	36	182,6944	1,71303	446	26,09921	204
3	822242	724735	1,134542	37	216,4324	1,360734	431	30,91892	206
3	817917	709561	1,152709	37	228,4595	1,693276	413	32,63707	199
3	791904	668915	1,183863	39	183,7436	1,856778	397	26,24908	201
4	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
4	820852	679539	1,207954	32	205,6875	1,468007	431	29,38393	204
4	806432	680527	1,185011	41	221,9512	1,615853	388	31,70732	195
4	827705	665767	1,243235	40	234,3	1,520566	356	33,47143	197
4	822699	659963	1,246584	42	234,619	1,953275	336	33,51701	198
4	813011	621400	1,308354	42	230,5714	1,408471	325	32,93878	202
5	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
5	780329	640813	1,217717	31	202,6774	1,999393	408	28,95392	204
5	780576	656402	1,189174	31	217,7419	1,681708	357	31,10599	203
5	812684	603098	1,347516	39	186,1795	1,734268	317	26,59707	202
5	826127	625921	1,319858	37	223,4054	1,457412	295	31,91506	203
5	806498	581130	1,38781	35	207,9714	2,065033	258	29,7102	209
6	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
6	827972	681326	1,215236	25	228,64	1,739073	383	32,66286	204
6	802760	593669	1,352201	28	238,25	1,838144	308	34,03571	198
6	813293	471207	1,725978	23	191,5217	1,264166	241	27,36025	200
6	818459	514674	1,590247	23	216,087	1,433179	204	30,86957	192
6	829448	440188	1,884304	23	143,2609	1,60538	178	20,46584	198
7	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
7	791887	662407	1,195469	27	205,9167	1,754639	379	29,41667	204
7	815678	607167	1,343416	28	223,0385	1,866589	302	31,86264	194
7	831296	524051	1,586288	30	250,2222	1,80748	241	35,74603	197
7	823651	490012	1,680879	26	229,2258	1,456562	191	32,74654	200
7	829404	530017	1,564863	26	219,6333	1,589629	162	31,37619	205
8	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
8	820118	695531	1,179125	24	205,9167	1,754639	379	29,41667	204
8	818709	608825	1,344736	26	223,0385	1,866589	302	31,86264	196

8	781324	569074	1,372974	27	250,2222	1,80748	241	35,74603	207
8	836114	533118	1,568347	31	229,2258	1,456562	191	32,74654	205
8	843198	524641	1,60719	30	219,6333	1,589629	162	31,37619	202
9	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
9	785797	619518	1,268401	23	198,087	1,376064	362	28,29814	204
9	807116	515879	1,564545	26	191,6923	1,122409	264	27,38462	200
9	780847	502485	1,553971	24	216,2917	1,376174	197	30,89881	206
9	826559	531696	1,554571	22	245,6364	1,512456	171	35,09091	195
9	804837	486911	1,652945	20	178,25	1,866963	151	25,46429	205
10	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
10	816165	660101	1,236424	29	208,8276	1,623856	358	29,83251	204
10	815237	604555	1,348491	27	261,3333	2,01521	270	37,33333	204
10	818560	562466	1,455306	28	232,9286	1,998446	205	33,27551	203
10	827550	535477	1,545445	27	209,7407	1,537746	173	29,96296	202
10	832747	527539	1,578551	27	263,9259	1,191711	160	37,7037	201
11	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
11	819523	641662	1,277188	29	193,5517	2,062873	349	27,65025	204
11	816624	580292	1,407264	32	225,1875	1,916493	265	32,16964	201
11	830294	506579	1,639022	28	233,6071	1,612329	208	33,37245	201
11	832530	534526	1,557511	28	244,1071	1,491863	184	34,87245	205
11	793075	501531	1,581308	26	203,3077	1,33427	167	29,04396	196
12	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
12	804733	612516	1,313815	26	175,1538	2,09062	341	25,02198	204
12	812006	607803	1,335969	29	229,6207	1,969101	256	32,80296	202
12	806510	544078	1,482343	26	234,4615	2,07669	193	33,49451	203
12	832951	484127	1,720522	32	225,7813	1,844173	163	32,25446	202
12	824549	489115	1,685798	33	232,7576	1,871934	160	33,25108	199
13	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
13	781821	654450	1,194623	27	218	2,077797	348	31,14286	212
13	829984	472878	1,755176	26	207,1923	1,94442	262	29,5989	203
13	774043	529413	1,462078	26	228,3846	1,603131	204	32,62637	207
13	844895	495005	1,706841	27	190,8148	2,092109	172	27,25926	211
13	835883	480705	1,738869	30	209,8667	1,526644	155	29,98095	208
14	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
14	832198	656855	1,266943	29	255,0345	1,955523	343	36,4335	212
14	826860	572081	1,445355	32	232,3438	2,169045	247	33,19196	204
14	825249	524160	1,574422	33	225,2121	1,519803	190	32,17316	201
14	815556	508396	1,604175	35	239,4	1,616433	165	34,2	204
14	827929	518122	1,597942	34	202,9118	1,247994	144	28,9874	197

Tabla anexa 21: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica velocidad)

Top Down Exponencial 0.5

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
3	149729129	69773357	2,145936	27	7	2,113431	463	1	216
3	165608338	77535919	2,135892	30	7	2,15772	444	1	206
3	173293697	77446285	2,237599	30	7	2,15911	428	1	205
3	180909303	82691747	2,187755	32	7	2,155252	403	1	206
3	202123437	80258206	2,518415	31	7	2,159044	383	1	212
4	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
4	160157879	72445477	2,210737	28	7	2,107119	428	1	214
4	191383287	82695680	2,314308	32	7	2,156511	393	1	209
4	209177642	95644980	2,187022	37	7	2,160304	374	1	210
4	225320286	88119659	2,556981	34	7	2,159835	348	1	213
4	240891263	95907133	2,511714	37	7	2,161922	336	1	205
5	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
5	170400473	72289307	2,357202	28	7	2,079717	404	1	206
5	212098780	77582356	2,733853	30	7	2,147808	338	1	202
5	229927357	77580673	2,96372	30	7	2,163317	313	1	198
5	232937868	82800291	2,813249	32	7	2,158301	288	1	195
5	251166870	80228686	3,130637	31	7	2,157874	257	1	201
6	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
6	152389599	67125740	2,270211	26	7	2,06123	384	1	206

6	186581606	59402974	3,140947	23	7	2,123258	301	1	205
6	196376461	54376851	3,611398	21	7	2,165402	225	1	205
6	212286320	51625369	4,112054	20	7	2,169965	196	1	205
6	222764192	43899423	5,074422	17	7	2,160576	186	1	213
7	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
7	178248043	64688280	2,755492	25	7	2,074281	382	1	206
7	209970390	64573617	3,251644	25	7	2,160779	282	1	200
7	235339552	59394965	3,962281	23	7	2,164364	215	1	197
7	251105323	67187265	3,737395	26	7	2,169915	177	1	199
7	251123440	54497382	4,607991	21	7	2,165198	170	1	193
8	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
8	167948263	67191895	2,499532	26	7	2,074281	382	1	206
8	222619612	59391970	3,748312	23	7	2,160779	282	1	202
8	245845940	56879283	4,32224	22	7	2,164364	215	1	191
8	261271505	54371558	4,805297	21	7	2,169915	177	1	187
8	279727890	54401927	5,141875	21	7	2,165198	170	1	198
9	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
9	155101191	54274135	2,857737	21	7	2,086322	382	1	206
9	193922999	54269558	3,573329	21	7	2,157362	290	1	194
9	212104531	49175524	4,313213	19	7	2,16969	233	1	205
9	225109807	49036261	4,59068	19	7	2,165367	184	1	214
9	228129529	51687785	4,413606	20	7	2,165337	176	1	205
10	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
10	185957372	62052699	2,996765	24	7	2,10331	370	1	206
10	245925454	54406126	4,520179	21	7	2,153114	286	1	202
10	261214489	64559987	4,046074	25	7	2,162852	227	1	198
10	276996306	59370524	4,665553	23	7	2,170098	182	1	203
10	295000820	64752895	4,555794	25	7	2,167408	172	1	203
11	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
11	185950344	61921115	3,00302	24	7	2,091153	366	1	206
11	238169802	59499542	4,002885	23	7	2,168303	272	1	200
11	261327007	57019862	4,583087	22	7	2,164886	209	1	201
11	287411393	54275681	5,295399	21	7	2,174623	178	1	192
11	292304917	59612854	4,903387	23	7	2,165216	166	1	204
12	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
12	160132839	67266270	2,380582	26	7	2,110733	339	1	207
12	204495899	69689593	2,934382	27	7	2,16038	253	1	212
12	222273512	64660325	3,437556	25	7	2,163466	190	1	210
12	235840413	69731316	3,382131	27	7	2,159716	162	1	211
12	246305837	67215939	3,664396	26	7	2,16093	143	1	209
13	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
13	170307989	67187508	2,534816	26	7	2,09715	352	1	206
13	227814079	59373584	3,83696	23	7	2,167514	262	1	209
13	263894718	51814499	5,093067	20	7	2,167078	193	1	206
13	274552887	56991680	4,81742	22	7	2,163208	169	1	212
13	294880731	59458541	4,959434	23	7	2,154815	147	1	212
14	129386119	49238690	2,627733	19	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
14	175575941	64552027	2,719914	25	7	2,121453	349	1	201
14	227734289	67153978	3,391226	26	7	2,158562	258	1	206
14	256031940	67320365	3,803187	26	7	2,170825	198	1	204
14	282202341	72530664	3,8908	28	7	2,156182	177	1	209
14	295041859	67351378	4,380636	26	7	2,161234	169	1	199

Tabla anexa 22: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica velocidad)

Bottom Up Zipf 2.0

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
3	863570	532466	1,621831	87	198,7011	2,44556	152	28,38588	207
3	857415	504811	1,698487	85	242,3882	2,254728	155	34,62689	210
3	870299	540015	1,61162	87	220,8391	0,95579	159	31,54844	207
3	869490	537436	1,617848	88	225,3409	2,512984	154	32,19156	207
3	876888	516965	1,696223	80	212,25	2,050118	152	30,32143	203
4	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212

4	866279	539666	1,605213	82	224,122	1,745541	147	32,01742	208
4	877813	513555	1,709287	84	223,0952	1,807142	147	31,87075	206
4	871239	499660	1,743664	76	230,1974	2,031348	139	32,88534	199
4	884182	517924	1,707166	78	216,0641	1,672641	136	30,8663	202
4	878192	523828	1,676489	79	245,6835	1,652287	133	35,09765	200
5	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
5	865739	528277	1,638797	88	224,9318	1,970552	144	32,13312	208
5	866249	515598	1,680086	72	230,0833	2,957919	131	32,86905	204
5	869536	517081	1,681624	72	221,0278	1,589007	126	31,5754	207
5	866189	502945	1,722234	72	207,8056	1,605103	117	29,68651	207
5	872110	470324	1,854275	72	215,7361	1,457832	123	30,81944	194
6	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
6	874073	530851	1,646551	83	214,3855	2,094417	152	30,62651	210
6	869405	536788	1,619643	77	229,3377	2,86338	148	32,76252	212
6	870522	519218	1,676602	76	220,3816	1,857031	147	31,48308	211
6	860564	522658	1,646515	78	209,2436	1,61097	133	29,89194	202
6	863518	524950	1,644953	72	239,5417	2,546609	130	34,22024	203
7	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
7	862593	528635	1,631736	86	217,747	3,011348	154	31,10671	210
7	860853	537572	1,601372	75	201	1,347385	152	28,71429	203
7	871684	489288	1,781536	74	239,7841	3,3672	161	34,25487	205
7	871486	514994	1,692226	84	234,4024	2,018097	151	33,48606	197
7	867966	519937	1,669368	79	217,9367	1,556117	143	31,13382	209
8	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
8	870181	541219	1,607817	83	217,747	3,011348	154	31,10671	207
8	869681	507940	1,712173	89	201	1,347385	152	28,71429	206
8	866478	548372	1,580092	88	239,7841	3,3672	161	34,25487	203
8	872623	554146	1,574717	82	234,4024	2,018097	151	33,48606	202
8	869685	509473	1,707029	79	217,9367	1,556117	143	31,13382	204
9	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
9	860087	524790	1,638917	85	235,9647	2,154316	150	33,70924	209
9	867992	511633	1,696513	87	212,023	2,458504	155	30,289	208
9	868507	529687	1,639661	84	225,369	1,618713	152	32,19558	210
9	867168	522379	1,660036	81	227,7654	1,875479	148	32,53792	207
9	855651	534041	1,60222	86	244,4302	1,725337	147	34,9186	206
10	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
10	862416	505452	1,706227	77	210,2857	3,021941	141	30,04082	208
10	861569	523141	1,646915	78	218,3077	2,551388	139	31,18681	204
10	872630	521881	1,672086	72	221,4167	2,163612	134	31,63095	204
10	868780	521607	1,665583	78	217,3205	2,503272	150	31,04579	203
10	856946	511838	1,674252	72	193,2361	2,652947	136	27,60516	211
11	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
11	875694	522924	1,67461	84	219,131	2,690304	142	31,30442	207
11	853964	528309	1,61641	79	237,5949	2,71069	131	33,94213	206
11	875306	530726	1,649262	84	217,5833	1,665449	135	31,08333	205
11	868580	509765	1,703883	76	203,3421	2,529567	134	29,04887	208
11	857445	502989	1,704699	83	223,7831	1,324794	146	31,96902	198
12	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
12	873012	532748	1,638696	93	205,7742	2,116193	154	29,39631	211
12	867119	521059	1,664147	90	225,4444	1,609849	153	32,20635	208
12	868179	528607	1,64239	83	205,8795	1,842142	150	29,41136	203
12	864044	537994	1,606048	82	225,8171	2,649212	158	32,25958	197
12	857852	536319	1,599518	81	213,2099	2,063659	154	30,45855	196
13	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
13	873953	525185	1,664086	88	208,7727	1,735116	149	29,82468	208
13	861796	491935	1,751849	80	220,7125	1,25421	137	31,53036	210
13	863758	518479	1,665946	76	237,0395	1,823771	133	33,86278	209
13	868094	492765	1,76168	77	218,987	2,171186	146	31,28386	212
13	870711	527294	1,651282	75	209,44	2,900249	145	29,92	205
14	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
14	868504	529215	1,641118	85	228,5294	1,5368	147	32,64706	208
14	872235	537088	1,624008	86	241,3721	1,996316	144	34,48173	197
14	863817	509198	1,696427	77	228,5974	2,08959	141	32,65677	199
14	868406	529445	1,640219	79	215,443	1,842436	146	30,77758	203
14	866900	508705	1,704131	81	191,0247	1,250001	143	27,28924	208

Tabla anexa 23: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica velocidad)

Top Down Zipf 2.0

v	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
3	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
3	583859958	207349455	2,815826	76	7	2,680228	160	1	207
3	597721453	199367681	2,998086	73	7	2,667091	157	1	210
3	568659348	218041353	2,608034	80	7	2,673733	159	1	208
3	582114815	212996655	2,732976	78	7	2,674005	154	1	213
3	562607606	191188749	2,942682	70	7	2,675881	153	1	212
4	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
4	578568146	196270975	2,947803	72	7	2,672263	163	1	207
4	586842048	191269391	3,068144	70	7	2,674078	164	1	213
4	592821382	201625573	2,940209	74	7	2,671026	155	1	213
4	630301010	199534506	3,158857	73	7	2,671689	150	1	202
4	608846726	193692159	3,143373	71	7	2,67008	145	1	205
5	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
5	575713109	190981469	3,014497	70	7	2,669404	158	1	207
5	600092495	183239862	3,274901	67	7	2,660758	150	1	207
5	606401779	185523418	3,2686	68	7	2,665078	141	1	208
5	606481186	188311569	3,220626	69	7	2,670443	137	1	204
5	611547639	193681344	3,157494	71	7	2,685659	134	1	204
6	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
6	556545120	185610598	2,998456	68	7	2,660906	151	1	206
6	573347544	191055243	3,000952	70	7	2,686226	145	1	201
6	571143415	168993087	3,379685	62	7	2,689254	133	1	204
6	586688629	180146277	3,256735	66	7	2,676313	140	1	207
6	554380491	182936987	3,030445	67	7	2,681516	134	1	207
7	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
7	570453614	210306165	2,712491	77	7	2,67412	149	1	195
7	581129363	193871937	2,997491	71	7	2,668332	151	1	203
7	581770665	190727326	3,050274	70	7	2,669575	136	1	200
7	568504446	191301124	2,971778	70	7	2,678195	144	1	201
7	597911329	188625565	3,169832	69	7	2,680787	147	1	208
8	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
8	559211262	204623021	2,732885	75	7	2,67412	149	1	195
8	584027333	209866952	2,782846	77	7	2,668332	151	1	193
8	595338649	193510615	3,076517	71	7	2,669575	136	1	200
8	614486555	204712623	3,001703	75	7	2,678195	144	1	203
8	611676132	207619976	2,946133	76	7	2,680787	147	1	202
9	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
9	581059304	201919181	2,877683	74	7	2,664982	148	1	203
9	611777430	169235229	3,614953	62	7	2,681476	125	1	202
9	586554638	185168789	3,167676	68	7	2,690087	129	1	206
9	584545677	180281725	3,242401	66	7	2,673215	124	1	200
9	573202170	182835857	3,135064	67	7	2,678743	132	1	204
10	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	210
10	598071320	204710037	2,921553	75	7	2,676228	154	1	216
10	625156948	202155080	3,092462	74	7	2,660609	148	1	209
10	617343538	193540899	3,189732	71	7	2,668861	148	1	204
10	625050807	188248371	3,320352	69	7	2,668501	138	1	204
10	630468843	180229641	3,498142	66	7	2,662298	128	1	202
11	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
11	600342211	218586520	2,746474	80	7	2,668469	157	1	204
11	583869812	199363076	2,928676	73	7	2,665451	155	1	204
11	597956636	204507918	2,92388	75	7	2,674186	150	1	206
11	562427498	182810190	3,076565	67	7	2,672358	130	1	209
11	597942153	182872101	3,269729	67	7	2,680049	133	1	205
12	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
12	592035109	196570654	3,011818	72	7	2,678916	148	1	202
12	609098740	186201179	3,271186	68	7	2,676201	137	1	202
12	587066262	198817579	2,952789	73	7	2,670426	132	1	208
12	595019268	185963207	3,199661	68	7	2,684203	135	1	210
12	598107934	193841093	3,085558	71	7	2,679472	137	1	215
13	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212

13	583880424	204638661	2,853226	75	7	2,666752	152	1	203
13	603393967	177588356	3,397711	65	7	2,681507	142	1	203
13	595548854	177179725	3,36127	65	7	2,666444	132	1	207
13	600447881	199308893	3,01265	73	7	2,664239	142	1	201
13	595410595	169324373	3,51639	62	7	2,659151	132	1	206
14	589781125	204444590	2,884797	75	7	2,67642	153	1	212
14	602791647	202090302	2,982784	74	7	2,677701	139	1	203
14	609083851	188309219	3,234488	69	7	2,681195	139	1	208
14	625440245	185429603	3,372926	68	7	2,678644	132	1	203
14	582080441	158409500	3,67453	58	7	2,663772	123	1	201
14	597413978	180055179	3,317949	66	7	2,671987	132	1	200

Tabla anexa 24: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica velocidad)

Métrica: θ

Bottom Up Uniforme

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	164692	25268	6,51780909	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
0,018	164139	25175	6,51992056	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	213
0,018	164243	25740	6,38084693	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	220
0,018	163699	25802	6,34443066	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	220
0,018	163640	26109	6,26757057	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	223
0,018	163987	25898	6,33203336	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	220
0,306	165288	25891	6,38399444	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
0,306	164718	26163	6,29583763	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	217
0,306	164669	26778	6,1494137	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	222
0,306	164508	27686	5,9419201	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	226
0,306	164384	27861	5,90014716	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	223
0,306	164464	26851	6,12506052	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	218
0,45	166005	26534	6,25631266	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
0,45	165850	26478	6,26369061	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	212
0,45	165457	26761	6,18276597	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	215
0,45	165336	27120	6,09646018	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	217
0,45	165596	28038	5,9061274	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	223
0,45	165407	27706	5,97007868	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	222
0,594	166860	27394	6,09111484	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
0,594	166757	27267	6,11570763	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	211
0,594	166809	27449	6,07705199	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	207
0,594	166447	27590	6,03287423	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	206
0,594	166024	28774	5,76993119	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	217
0,594	166489	28134	5,91771522	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	218
0,882	167943	28582	5,87583094	80	211,625	7,228025	130	30,2321429	210
0,882	167764	28035	5,98409131	83	202,987952	7,15424	130	28,9982789	205
0,882	167422	28878	5,79756216	74	209,283784	7,246745	126	29,8976834	209
0,882	167368	27597	6,06471718	76	222,921053	7,296522	125	31,8458647	201
0,882	167889	28748	5,84002365	77	216,337662	7,382587	129	30,9053803	211
0,882	167236	29097	5,74753411	77	226,519481	7,415569	126	32,3599259	214

Tabla anexa 25: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica θ)

Top Down Uniforme

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
0,018	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
0,018	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
0,018	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
0,018	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
0,018	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
0,306	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210

0,306	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
0,306	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
0,306	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
0,306	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
0,306	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
0,45	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
0,45	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
0,45	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
0,45	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
0,45	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
0,45	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
0,594	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
0,594	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
0,594	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
0,594	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
0,594	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
0,594	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214
0,882	297690087	137475990	2,16539693	54	7	2,807355	130	1	210
0,882	292559124	149876927	1,95199575	59	7	2,807355	133	1	211
0,882	307968238	132211819	2,32935482	52	7	2,807355	133	1	207
0,882	292652875	142128434	2,05907338	56	7	2,807355	138	1	214
0,882	310704844	139701224	2,22406673	55	7	2,807355	137	1	227
0,882	295146422	132446633	2,22841771	52	7	2,807355	139	1	214

Tabla anexa 26: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica θ)

Bottom Up Exponencial 0.5

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
0,018	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
0,018	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
0,018	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
0,018	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
0,018	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
0,306	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
0,306	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
0,306	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
0,306	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
0,306	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
0,306	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
0,45	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
0,45	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
0,45	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
0,45	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
0,45	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
0,45	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
0,594	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
0,594	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
0,594	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
0,594	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
0,594	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
0,594	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208
0,882	816543	732010	1,115481	25	243,72	1,854655	463	34,81714	212
0,882	797074	721746	1,104369	31	224,1613	1,824111	464	32,02304	208
0,882	806683	748161	1,078221	38	243,6316	1,643518	456	34,80451	207
0,882	813718	702216	1,158786	37	201,5946	1,876926	449	28,79923	215
0,882	828135	715235	1,15785	40	213,875	1,819975	448	30,55357	214
0,882	812232	736075	1,103464	43	241,6279	1,086696	446	34,51827	208

Tabla anexa 27: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5 (métrica θ)

Top Down Exponencial 0.5

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro de computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	126664501	44008909	2,878156	17	7	2,160576	463	1	212
0,018	147313668	67258814	2,190251	26	7	2,154582	463	1	204
0,018	165538537	74830137	2,212191	29	7	2,155982	457	1	207
0,018	165569643	80044140	2,068479	31	7	2,159597	455	1	204
0,018	186254101	80103063	2,325181	31	7	2,161302	451	1	197
0,018	178630717	74958982	2,383046	29	7	2,155933	443	1	200
0,306	126664501	44008909	2,878156	17	7	2,104066	463	1	212
0,306	147313668	67258814	2,190251	26	7	2,141288	463	1	204
0,306	165538537	74830137	2,212191	29	7	2,159168	460	1	207
0,306	165569643	80044140	2,068479	31	7	2,159427	455	1	204
0,306	186254101	80103063	2,325181	31	7	2,159672	452	1	197
0,306	178630717	74958982	2,383046	29	7	2,163779	445	1	200
0,45	126664501	44008909	2,878156	17	7,368421	2,124618	463	1,052632	212
0,45	147313668	67258814	2,190251	26	7,36	2,167725	463	1,051429	204
0,45	165538537	74830137	2,212191	29	7	2,14013	459	1	207
0,45	165569643	80044140	2,068479	31	7	2,154289	457	1	204
0,45	186254101	80103063	2,325181	31	7	2,157347	449	1	197
0,45	178630717	74958982	2,383046	29	7	2,153558	442	1	200
0,594	126664501	44008909	2,878156	17	8,210526	2,006854	463	1,172932	212
0,594	147313668	67258814	2,190251	26	7,4	2,13762	464	1,057143	204
0,594	165538537	74830137	2,212191	29	7	2,108021	460	1	207
0,594	165569643	80044140	2,068479	31	7	2,139305	457	1	204
0,594	186254101	80103063	2,325181	31	7	2,144105	453	1	197
0,594	178630717	74958982	2,383046	29	7	2,148618	447	1	200
0,882	126664501	44008909	2,878156	17	12,83333	2,104665	463	1,833333	212
0,882	147313668	67258814	2,190251	26	7,8	2,148784	463	1,114286	204
0,882	165538537	74830137	2,212191	29	7	2,059486	456	1	207
0,882	165569643	80044140	2,068479	31	7	2,091383	452	1	204
0,882	186254101	80103063	2,325181	31	7	2,085988	446	1	197
0,882	178630717	74958982	2,383046	29	7	2,112517	442	1	200

Tabla anexa 28: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5 (métrica θ)

Bottom Up Zipf 2.0

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro de computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
0,018	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
0,018	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
0,018	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
0,018	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
0,018	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
0,306	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
0,306	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
0,306	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
0,306	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
0,306	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
0,306	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
0,45	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
0,45	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
0,45	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
0,45	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
0,45	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
0,45	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
0,594	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
0,594	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
0,594	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
0,594	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203

0,594	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
0,594	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209
0,882	869579	527108	1,649717	89	206,427	1,953982	153	29,48957	212
0,882	868139	514442	1,687535	85	197,6235	2,556179	151	28,23193	207
0,882	872626	520937	1,675109	86	230,8256	2,432294	154	32,97508	207
0,882	864652	531526	1,626735	79	223,0633	1,98108	151	31,86618	203
0,882	868356	523717	1,658063	80	235,675	1,658373	154	33,66786	208
0,882	854654	543165	1,57347	85	225,0706	1,290415	153	32,15294	209

Tabla anexa 29: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica θ)

Top Down Zipf 2.0

θ	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
0,018	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
0,018	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
0,018	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
0,018	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
0,018	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
0,018	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197
0,306	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
0,306	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
0,306	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
0,306	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
0,306	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
0,306	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197
0,45	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
0,45	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
0,45	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
0,45	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
0,45	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
0,45	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197
0,594	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
0,594	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
0,594	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
0,594	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
0,594	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
0,594	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197
0,882	589781125	204444590	2,884796927	75	7	2,67642	153	1	212
0,882	580852645	207281164	2,802245191	76	7	2,67439	153	1	209
0,882	581299375	207475992	2,801766939	76	7	2,686271	153	1	205
0,882	594980677	199034885	2,989328614	73	7	2,676508	155	1	204
0,882	595079424	185663347	3,205152948	68	7	2,677643	152	1	209
0,882	567916969	199349039	2,84885732	73	7	2,667439	152	1	197

Tabla anexa 30: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica θ)

Métrica: Áreas restringidas

Bottom Up Uniforme

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	869609	18773	46,3223246	0	0	0	0	0	210
1	859040	19083	45,0159828	0	0	0	0	0	218
1	862085	20526	41,999659	0	0	0	0	0	228
1	870136	19167	45,3976105	0	0	0	0	0	218
1	870014	19257	45,1791037	0	0	0	0	0	214
1	855070	18849	45,3642103	0	0	0	0	0	211
2	869609	404941	2,14749556	19	254,421053	7,636296	32	36,3458647	210
2	859040	381694	2,25059865	22	197,454545	7,012968	39	28,2077921	211
2	862085	454104	1,89843076	20	236,75	7,427544	38	33,8214286	215
2	870136	407084	2,13748514	18	202,222222	6,858622	35	28,8888889	217
2	870014	396560	2,19390256	23	218,478261	7,311938	40	31,2111801	221
2	855070	453804	1,88422755	22	242,727273	7,451771	38	34,6753247	212
3	869609	473647	1,83598545	37	248,405405	7,529849	67	35,4864864	210
3	859040	483276	1,77753499	35	245,828571	7,555948	65	35,1183673	215
3	862085	426514	2,02123494	40	208,525	7,275857	75	29,7892857	212
3	870136	457172	1,90330116	39	228,025641	7,5258	74	32,5750916	216
3	870014	448135	1,94141051	38	250,078947	7,647046	72	35,7255639	212
3	855070	446639	1,9144544	37	236,756757	7,543851	67	33,8223939	206
4	869609	547946	1,58703412	97	240,721649	7,523948	172	34,388807	210
4	859040	550181	1,56137707	102	232,794118	7,469661	171	33,2563026	209
4	862085	538666	1,6004073	101	228,950495	7,374666	173	32,7072136	214
4	870136	545606	1,59480651	102	236,303922	7,498898	170	33,7577031	215
4	870014	553276	1,57247739	98	237,193878	7,49125	172	33,8848397	217
4	855070	549691	1,55554666	104	230,586538	7,437545	175	32,940934	212
5	869609	633616	1,37245429	166	225,873288	7,402624	280	32,2676126	210
5	859040	640091	1,34205918	166	219,455479	7,34153	282	31,3507827	209
5	862085	640535	1,34588274	167	230,714286	7,447309	274	32,9591837	220
5	870136	633163	1,37426855	171	230,600671	7,469882	275	32,942953	207
5	870014	628798	1,38361445	169	223,714286	7,36591	274	31,9591837	212
5	855070	645026	1,32563649	171	219,030717	7,361198	278	31,2901024	220
6	869609	842959	1,03161482	292	225,873288	7,402624	500	32,2676126	210
6	859040	847864	1,01318136	292	219,455479	7,34153	500	31,3507827	209
6	862085	853894	1,00959253	287	230,714286	7,447309	500	32,9591837	220
6	870136	847806	1,02633857	298	230,600671	7,469882	500	32,942953	207
6	870014	853582	1,01925064	294	223,714286	7,36591	500	31,9591837	212
6	855070	853024	1,00239853	293	219,030717	7,361198	500	31,2901024	210

Tabla anexa 31: Datos de Bottom Up con distribución Uniforme (métrica áreas restringidas)

Top Down Uniforme

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	297690087	19235	15476,4797	0	0	0	0	0	210
1	292559124	19545	14968,4893	0	0	0	0	0	218
1	307968238	20988	14673,5391	0	0	0	0	0	228
1	292652875	19629	14909,2096	0	0	0	0	0	218
1	310704844	19719	15756,6227	0	0	0	0	0	214
1	295146422	19311	15283,8497	0	0	0	0	0	211
2	297690087	43121067	6,90358815	17	7	2,807355	32	1	210
2	292559124	40648977	7,19720755	16	7	2,807355	33	1	211
2	307968238	43200115	7,12887542	17	7	2,807355	34	1	215
2	292652875	50939855	5,7450669	20	7	2,807355	35	1	217
2	310704844	48172565	6,44982977	19	7	2,807355	35	1	221
2	295146422	48368322	6,10206039	19	7	2,807355	32	1	212
3	297690087	71135664	4,18482193	28	7	2,807355	67	1	210
3	292559124	78992239	3,7036439	31	7	2,807355	63	1	210

3	307968238	73807377	4,17259427	29	7	2,807355	63	1	208
3	292652875	73728046	3,96935618	29	7	2,807355	63	1	204
3	310704844	89110959	3,48671866	35	7	2,807355	64	1	204
3	295146422	76319805	3,86723239	30	7	2,807355	65	1	209
4	297690087	160342386	1,8565901	63	7	2,807355	172	1	210
4	292559124	180351698	1,62215897	71	7	2,807355	170	1	209
4	307968238	162805773	1,89162972	64	7	2,807355	171	1	214
4	292652875	168007500	1,74190364	66	7	2,807355	170	1	215
4	310704844	157747443	1,96963474	62	7	2,807355	170	1	217
4	295146422	145094478	2,03416716	57	7	2,807355	171	1	212
5	297690087	218765038	1,36077542	86	7	2,807355	280	1	210
5	292559124	213644183	1,36937557	84	7	2,807355	277	1	212
5	307968238	236464872	1,30238473	93	7	2,807355	274	1	213
5	292652875	216460566	1,35199164	85	7	2,807355	282	1	218
5	310704844	224259448	1,38547048	88	7	2,807355	279	1	219
5	295146422	221292649	1,33373803	87	7	2,807355	285	1	219
6	297690087	299997559	0,99230836	118	7	2,807355	500	1	210
6	292559124	313113977	0,93435345	123	7	2,807355	500	1	214
6	307968238	307703095	1,00086168	121	7	2,807355	500	1	210
6	292652875	305405560	0,95824344	120	7	2,807355	500	1	213
6	310704844	302256597	1,02795058	119	7	2,807355	500	1	212
6	295146422	284789929	1,03636538	112	7	2,807355	500	1	210

Tabla anexa 32: Datos de Top Down con distribución Uniforme (métrica áreas restringidas)

Bottom Up Exponencial 0.5

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	773982	18819	41,12769	0	0	0	0	0	212
1	806429	18459	43,68758	0	0	0	0	0	207
1	825100	18204	45,3252	0	0	0	0	0	204
1	813541	18555	43,84484	0	0	0	0	0	206
1	828901	19360	42,81513	0	0	0	0	0	216
1	830848	18601	44,66685	0	0	0	0	0	212
2	773982	270502	2,86128	2	174	9,935572	2	24,85714	212
2	806429	310530	2,596944	2	189	1,204797	2	27	203
2	825100	77549	10,63972	2	80,5	9,803668	2	11,5	214
2	813541	25601	31,7777	1	7	8,473843	1	1	210
2	828901	28969	28,61338	2	18,5	4,013449	2	2,642857	205
2	830848	25530	32,54399	1	7	2,199988	2	1	210
3	773982	403478	1,918276	4	280	1,505088	4	40	212
3	806429	317362	2,541038	4	145,75	1,159562	4	20,82143	206
3	825100	311677	2,647292	4	202,75	1,58332	4	28,96429	205
3	813541	334511	2,432031	4	242	1,668326	4	34,57143	198
3	828901	197452	4,197987	4	143	1,258654	4	20,42857	187
3	830848	123665	6,718538	4	119,75	1,380394	4	17,10714	198
4	773982	445140	1,738738	14	182,7143	1,479458	14	26,10204	212
4	806429	393803	2,047798	14	219,0714	1,020916	14	31,29592	206
4	825100	442692	1,863824	14	246,0714	1,476596	14	35,15306	204
4	813541	429222	1,895385	13	210,2308	1,750741	14	30,03297	203
4	828901	441981	1,875422	12	199,3333	1,35499	13	28,47619	201
4	830848	246031	3,377005	11	205,2727	1,302458	12	29,32468	201
5	773982	454570	1,702668	28	213,9245	1,911719	28	30,56065	212
5	806429	421851	1,911644	29	241,8636	1,398316	30	34,55195	206
5	825100	457191	1,804716	30	224,8219	2,007643	34	32,11742	197
5	813541	450653	1,805249	31	232,2368	1,382127	34	33,17669	193
5	828901	462696	1,791459	33	205,1139	1,500854	39	29,30199	195
5	830848	392746	2,115484	35	219,3951	1,371678	47	31,34215	195
6	773982	773030	1,001232	53	213,9245	1,911719	500	30,56065	212
6	806429	788793	1,022358	66	241,8636	1,398316	500	34,55195	208

6	825100	787099	1,04828	73	224,8219	2,007643	500	32,11742	197
6	813541	782396	1,039807	76	232,2368	1,382127	500	33,17669	200
6	828901	802025	1,03351	79	205,1139	1,500854	500	29,30199	197
6	830848	795413	1,044549	81	219,3951	1,371678	500	31,34215	196

Tabla anexa 33: Datos de Bottom Up con distribución Exponencial 0.5(métrica áreas restringidas)

Top Down Exponencial 0.5

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	129306820	19281	6706,437	0	0	0	0	0	212
1	154908886	18921	8187,141	0	0	0	0	0	207
1	160407461	18666	8593,564	0	0	0	0	0	204
1	157731339	19017	8294,228	0	0	0	0	0	206
1	160317801	19822	8087,872	0	0	0	0	0	216
1	168133168	19063	8819,869	0	0	0	0	0	212
2	129306820	5124480	25,23316	2	11,5	2,209285	2	1,642857	212
2	154908886	5167171	29,97944	2	7	2,15718	2	1	205
2	160407461	5203956	30,82414	2	7	2,15718	2	1	209
2	157731339	5179040	30,45571	2	7	2,136558	2	1	204
2	160317801	2568071	62,42732	1	7	2,15718	1	1	207
2	168133168	2612787	64,35012	1	7	2,15718	1	1	200
3	129306820	10346705	12,49739	4	9,25	2,183232	4	1,321429	212
3	154908886	7833964	19,77401	3	7	2,15718	3	1	211
3	160407461	7771716	20,6399	3	7	2,15718	3	1	208
3	157731339	5201482	30,32431	2	7	2,109397	2	1	206
3	160317801	7737209	20,72037	3	7	2,15718	3	1	199
3	168133168	10375451	16,2049	4	7	2,15718	4	1	191
4	129306820	36231839	3,568873	14	7	2,137636	14	1	212
4	154908886	36120076	4,28872	14	7	2,043524	14	1	210
4	160407461	38842327	4,129708	15	7	2,146836	15	1	209
4	157731339	36231107	4,353478	14	7	2,15718	14	1	200
4	160317801	36235661	4,42431	14	7	2,15718	14	1	201
4	168133168	33560943	5,009787	13	7	2,15718	13	1	207
5	129306820	69622163	1,857265	27	7,510204	2,118708	28	1,072886	212
5	154908886	72439494	2,138459	28	7,315789	2,085256	29	1,045113	208
5	160407461	77707148	2,064256	30	7,032787	2,125856	34	1,004684	202
5	157731339	85302760	1,849077	33	7	2,155098	40	1	205
5	160317801	87909861	1,823661	34	7	2,159431	43	1	202
5	168133168	90705548	1,853615	35	7	2,157741	47	1	207
6	129306820	126441502	1,022661	49	7,510204	2,118708	500	1,072886	212
6	154908886	147447958	1,0506	57	7,315789	2,085256	500	1,045113	216
6	160407461	157616098	1,01771	61	7,032787	2,125856	500	1,004684	207
6	157731339	170831429	0,923316	66	7	2,155098	500	1	203
6	160317801	170554218	0,939981	66	7	2,159431	500	1	203
6	168133168	170890495	0,983865	66	7	2,157741	500	1	207

Tabla anexa 34: Datos de Top Down con distribución Exponencial 0.5(métrica áreas restringidas)

Bottom Up Zipf 2.0

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	808589	19636	41,17891	0	0	0	0	0	212
1	821574	19159	42,88188	0	0	0	0	0	213
1	797996	18586	42,93533	0	0	0	0	0	205
1	821273	18573	44,21865	0	0	0	0	0	205
1	812945	19516	41,65531	0	0	0	0	0	216
1	825503	19436	42,47289	0	0	0	0	0	215
2	808589	30039	26,91797	1	7	5,618327	2	1	212
2	821574	24763	33,17748	1	7	2,34212	1	1	205
2	797996	25299	31,54259	1	7	8,5816	1	1	203
2	821273	25583	32,10229	1	7	5,78398	1	1	211

2	812945	40431	20,10697	2	44,5	1,309752	2	6,357143	208
2	825503	106555	7,747201	2	102,5	1,343433	2	14,64286	208
3	808589	402067	2,01108	6	207	1,87419	7	29,57143	212
3	821574	412701	1,990725	7	174,4286	2,274753	7	24,91837	210
3	797996	361497	2,207476	5	166,4	2,466963	8	23,77143	216
3	821273	421602	1,947982	6	274,1667	2,3623	8	39,16667	206
3	812945	347400	2,340083	7	210,2857	2,625714	8	30,04082	203
3	825503	123840	6,665883	8	93,75	1,445583	8	13,39286	193
4	808589	386461	2,092291	18	207,4444	2,381362	20	29,63492	212
4	821574	412054	1,99385	19	220,8421	2,112326	19	31,54887	202
4	797996	373895	2,134278	17	162,4118	1,990944	19	23,20168	204
4	821273	406051	2,022586	18	225,6111	1,729121	20	32,23016	206
4	812945	390765	2,080394	21	241,4762	1,570603	22	34,4966	208
4	825503	458602	1,800042	20	182,45	2,296401	24	26,06429	205
5	808589	418283	1,933115	34	235,2174	1,783584	38	33,60248	212
5	821574	443638	1,851902	32	232,6494	1,606001	37	33,23562	207
5	797996	448685	1,778522	35	235,759	1,4616	38	33,67986	202
5	821273	455737	1,802077	36	214,2738	1,753814	42	30,61054	202
5	812945	460532	1,76523	36	207,3409	2,395094	48	29,62013	201
5	825503	415416	1,987172	34	216,9643	2,415461	46	30,9949	208
6	808589	792364	1,020477	69	235,2174	1,783584	500	33,60248	212
6	821574	771936	1,064303	77	232,6494	1,606001	500	33,23562	204
6	797996	787410	1,013444	83	235,759	1,4616	500	33,67986	204
6	821273	796053	1,031681	84	214,2738	1,753814	500	30,61054	202
6	812945	790865	1,027919	88	207,3409	2,395094	500	29,62013	203
6	825503	796104	1,036929	84	216,9643	2,415461	500	30,9949	207

Tabla anexa 35: Datos de Bottom Up con distribución Zipf 2.0 (métrica áreas restringidas)

Top Down Zipf 2.0

Ejemplar	Ciclos sin condiciones	Ciclos con condiciones	Razón de ahorro computac.	#Regiones de encubrimiento	Dimensión CR promedio	Entropía promedio	Usuarios en áreas restringidas	Size(CR)/k promedio	U QD
1	147332987	20098	7330,729	0	0	0	0	0	212
1	155727468	19621	7936,775	0	0	0	0	0	213
1	161203925	19048	8463,037	0	0	0	0	0	205
1	177525356	19035	9326,26	0	0	0	0	0	205
1	193509073	19978	9686,108	0	0	0	0	0	216
1	182570630	19898	9175,326	0	0	0	0	0	215
2	147332987	5463715	26,96572	2	7	2,761523	2	1	212
2	155727468	5463194	28,50484	2	7	2,682861	2	1	205
2	161203925	8193269	19,67517	3	7	2,709088	3	1	203
2	177525356	8230270	21,56981	3	7	2,72349	3	1	211
2	193509073	8228774	23,51615	3	7	2,678698	3	1	208
2	182570630	5509876	33,13516	2	7	2,715081	2	1	208
3	147332987	19103320	7,712428	7	7	2,747721	7	1	212
3	155727468	13729920	11,3422	5	7	2,69663	6	1	210
3	161203925	13674817	11,78838	5	7	2,687139	7	1	209
3	177525356	13628684	13,02586	5	7	2,727699	7	1	205
3	193509073	16402271	11,7977	6	7	2,71061	7	1	196
3	182570630	19114349	9,551496	7	7	2,735096	8	1	200
4	147332987	40929650	3,599664	15	7	2,730762	20	1	212
4	155727468	40879400	3,809436	15	7	2,733046	20	1	217
4	161203925	54603462	2,952266	20	7	2,724304	23	1	215
4	177525356	49247453	3,604762	18	7	2,738386	20	1	215
4	193509073	46405558	4,169955	17	7	2,737272	22	1	218
4	182570630	43671897	4,180506	16	7	2,744125	20	1	207
5	147332987	76401645	1,928401	28	7,282609	2,657253	38	1,040373	212
5	155727468	89952610	1,731217	33	7,160714	2,655901	43	1,022959	207
5	161203925	84816345	1,900623	31	7,016393	2,633984	42	1,002342	204
5	177525356	90169598	1,968794	33	7	2,612987	45	1	209
5	193509073	79117308	2,44585	29	7	2,624508	44	1	206
5	182570630	84706684	2,155327	31	7	2,629935	50	1	208
6	147332987	125465480	1,174291	46	7,282609	2,657253	500	1,040373	212
6	155727468	152939746	1,018228	56	7,160714	2,655901	500	1,022959	209

6	161203925	166708990	0,966978	61	7,016393	2,633984	500	1,002342	215
6	177525356	169355549	1,048241	62	7	2,612987	500	1	207
6	193509073	182622160	1,059614	67	7	2,624508	500	1	212
6	182570630	183136011	0,996913	67	7	2,629935	500	1	211

Tabla anexa 36: Datos de Top Down con distribución Zipf 2.0 (métrica áreas restringidas)