

## El perfil geográfico: comportamiento y adaptación al medio.

### *Geographic profiling: behavior and adaptation to the environment*

Daniel Salafranca Barreda<sup>1</sup>, Samuel Rodríguez Ferrández, Jorge Mateu Mahiques

Centro Crimina. Universidad Miguel Hernández de Elche

#### Resumen

No hay teorías geográficas directas que brinden explicación de la distribución espacial del delito, sino que se ha establecido un vínculo entre la geografía humana y la criminología como resultado del desarrollo del fuerte paralelismo existente. En este contexto no tenemos constancia de la existencia de investigaciones que hayan comprobado la eficacia de la variable de distancia en modelos probabilísticos de perfilado geográfico. Una primera cuestión importante para los algoritmos de perfilado geográfico es determinar la métrica apropiada para medir la distancia, considerando que su comportamiento y adaptación al medio es fundamental para salvar los obstáculos del entorno. En este sentido, el siguiente estudio tiene por objetivo explorar la influencia de los nodos y rutas en el marco de la llamada *journey to crime*, de los delitos realizados por Peter Sutcliffe (*Yorkshire Ripper*) entre los años 1975 y 1980, comparando tres medidas de distancia; directa (Euclidiana), indirecta (Manhattan) y distancias funcionales, concretamente métricas calculadas con el algoritmo Dijkstra's, con el fin de evaluar si la distancia seleccionada varía al aplicar una función exponencial negativa en un perfil geográfico.

**Palabras clave:** *criminología ambiental; viaje al crimen; perfil geográfico; algoritmo Dijkstra's; distancia de decaimiento.*

#### Abstract

<sup>1</sup> Correspondencia: [d.salafranca@crimina.es](mailto:d.salafranca@crimina.es)

There are no direct geographical theories that provide an explanation of the spatial distribution of crime, but rather a link between human geography and criminology as a result of the development of the strong existing parallelism. In this context, we do not have evidence of the existence of investigations that have verified the effectiveness of the distance variable in probabilistic models of geographic profiling. A first important issue for all geographic profile methods is to determine the appropriate metric to measure the distance, their behavior and adaptation to the environment are fundamental to overcome environmental obstacles. In this sense, the following study aims to explore the influence of the nodes and routes in the framework of the so-called journey to crime, of the crimes committed by Peter Sutcliffe (Yorkshire Ripper) between 1975 and 1980, comparing three measures of distance; direct (Euclidean), indirect (Manhattan) and functional distances, specifically metrics calculated with the Dijkstra's algorithm, in order to evaluate whether the selected distance varies when applying a negative exponential function in a geographic profile.

**Keywords:** *environmental criminology; journey to crime; geographic profiling; Dijkstra's algorithm; distance decay.*

## 1. Introducción.

Los esfuerzos combinados de los Brantingham, Newton, Canter, Rossmo, Levine e innumerables otros han sido fundamentales para el desarrollo de técnicas de perfil geográfico, una herramienta de análisis espacial y de apoyo a la decisión, que consta de varias metodologías de investigación y análisis, que utilizan los criminólogos o las organizaciones policiales para predecir el área más probable de residencia del delincuente mediante el análisis de la ubicación de una serie de delitos vinculados (Rossmo, 2000).

El extenso cuerpo de trabajo establecido por estos investigadores continúa expandiendo e inspirando a otros a desarrollar nuevas técnicas y estrategias que en última instancia mejorarán su aplicación. En este sentido, el presente estudio exploratorio trata de profundizar cómo medir el componente espacial del perfil geográfico, utilizando métricas espaciales como el algoritmo Dijkstra's, escasamente exploradas en los modelos probabilísticos de perfilado geográfico.

En el desarrollo de las investigaciones sobre las conductas de movilidad ha sido comúnmente asumido el cálculo de la distancia en línea recta o euclidiana entre el lugar del domicilio del delincuente y la escena del delito, como indicador de la distancia

recorrida. Esto significa que los modelos de perfilado probabilísticos actuales asumen una superficie isotrópica, donde los obstáculos son uniformes en todas las direcciones. Como consecuencia, estos modelos no se adaptan a las variaciones inherentes exhibidas por una red de transporte particular, como la ruta, dirección, velocidad, características del paisaje, desarrollo urbanístico, límites, etc. Son muy pocos los que incluyen en sus análisis de perfilado geográfico a los actores geográficos (distancias funcionales) como una variable que influya en el comportamiento espacial del delincuente. En este contexto no tenemos constancia en España de la existencia de estudios exploratorios que hayan comprobado la eficacia del algoritmo Dijkstra's en estrategias de distancia de probabilidad.

A raíz de estos planteamientos surge la necesidad de explorar un área asimétrica del entorno urbano y comprobar si las características del paisaje pueden aumentar significativamente la exactitud del perfil geográfico.

## 1.1. Revisión de la literatura.

El perfil geográfico está arraigado en varias teorías sociológicas y particularmente, en la criminología ambiental. Desde los años veinte, la escuela de Chicago ha desarrollado varios métodos para analizar la distribución del delito. Estas técnicas intentaron explicar las variaciones espaciales de los delitos por la organización específica de las ciudades y sus procesos ecológicos y urbanos relacionados (Capone & Woodrow W. Nichols, 1976). Consideraron factores como la tipología delictiva, el *modus operandi* en un hecho delictivo y, finalmente, cómo influye la distancia media en la comisión de un delito. En la década de 1980, los criminólogos ambientales destacaron la importancia de la dimensión en el análisis de la delincuencia, y ello alentó al análisis espacial a herramientas para reducir el área de búsqueda del delincuente (Brantingham, P. J., & Brantingham, 1981). Teorías como la de las actividades cotidianas (E. Cohen & Felson, 1979), elección racional (Cornish, D. B., & Clarke, 1986) y la teoría del patrón delictivo (Brantingham & Brantingham, 1981, 1984, 1993), se utilizaron para describir las características espaciales del comportamiento delictivo que se supone que está directamente influenciado por la configuración de su ambiente.

Estas tres teorías proporcionan las bases principales y se han ido desarrollando e incluso han confluído en una única denominación común de teorías de la oportunidad. Cada enfoque aporta una perspectiva única y diferente en un intento de completar los espacios en blanco que otra teoría ha dejado sin respuesta.

El conocimiento de las dinámicas en la forma que aparecen los eventos delictivos en un territorio es concluyente y tiene diferentes formas de aproximarse al mismo; desde

la utilización de la sociología, la antropología, la estadística, el derecho penal, las ciencias policiales y la criminología, entre otras disciplinas que intentan, desde sus campos de competencias, comprender los factores que influyen en el comportamiento delictivo (Norza et al., 2018).

En este contexto las teorías geográficas se utilizan para describir los patrones de actividad de los ciudadanos. Dentro de este marco surge, en primer lugar, la geografía del comportamiento (*Behavioral Geography*) que ha marcado a la geografía norteamericana desde los años 60. Esta geografía, inspirada en el *behaviourismo*, pretende explicar los comportamientos espaciales de los individuos por la percepción y la memorización visual que tienen de su entorno.

La teoría geométrica del crimen investiga el comportamiento espacial del delincuente. Un elemento implícito en este enfoque es la rutina individual que conforma la vida cotidiana, concepto clave para el perfilado geográfico. Las actividades cotidianas tienen lugar entre los nodos de actividad (hogar, lugar de trabajo, área de ocio) y las rutas entre estos nodos. Al moverse entre los nodos, un individuo da forma a un espacio llamado espacio de actividad. Esto representa el área en la que el delincuente generalmente planifica sus actividades no delictivas. El delincuente construye su espacio de oportunidad para cometer delitos como un subconjunto de su espacio de actividad. Este espacio de oportunidad está formado por la distribución no uniforme de los objetivos.

## 1.2. *Journey to crime.*

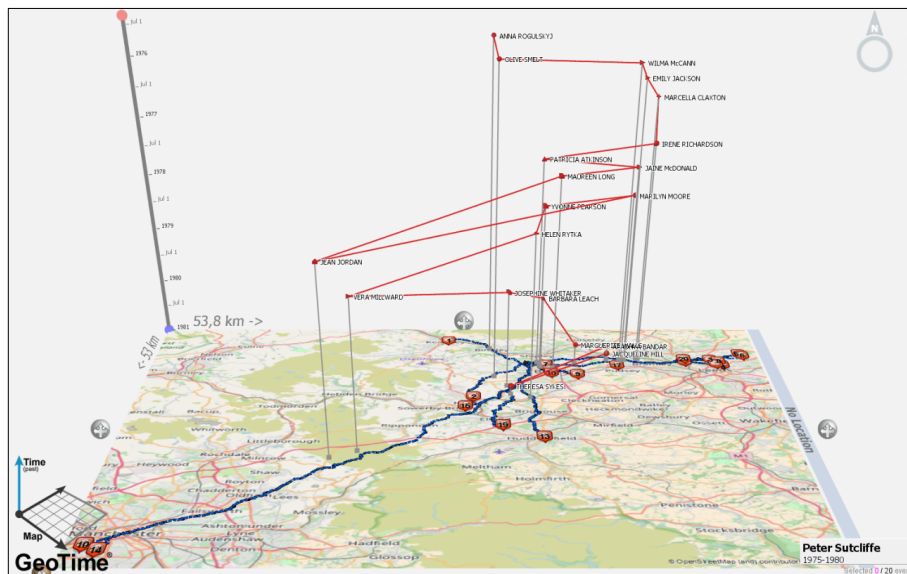
En relación con esas teorías, la mayoría de las metodologías de perfiles geográficos se basan en los principales hallazgos de los estudios de viaje al crimen.

*Journey to crime* o trayecto al lugar del delito, es un término acuñado por primera vez por P.D. Phillips (1980) y se configura como un área de investigación criminológica que se interesa por las distancias que los delincuentes recorren para cometer delitos, específicamente la distancia desde su domicilio hasta la escena del crimen (Figura 1).

El enfoque de viaje al crimen es un precursor de las técnicas de perfiles geográficos y se ha utilizado durante años para ubicar el origen probable de un delincuente en serie basado en las propiedades asociadas con la distribución de incidentes delictivos (Levine, 2006).

Mientras que la idea de los viajes de los criminales a la delincuencia es relativamente simple, las implicaciones de dónde y por qué los criminales viajan a lugares específicos para cometer un delito afecta a la mayoría de las teorías criminológicas (Rengert, Piquero, & Jones, 2006). Como resultado, la criminología está experimentando el surgimiento de un nuevo enfoque que intenta vincular el lugar de residencia del delincuente con la escena del delito.

**Figura1.** Journey to crime. Área espacio/temporal de P. Sutcliffe



Fuente: Elaboración propia.

En el análisis del *Journey to crime*, se deben tener en cuenta los siguientes componentes; la motivación del delincuente, el origen, el destino, la ubicación del delito, la ruta que toma, el momento temporal, la duración, la distancia, la dirección, el modo de desplazarse y si lo hace solo o en compañía de otras personas (Bernasco, 2014). Sin embargo, y de forma muy acertada Rengert (2004) encontró, en su revisión bibliográfica que la mayoría de los estudios del trayecto a los delitos, sólo miden la distancia al delito, ignorando el origen y los componentes direccionales de un viaje. Esta observación, tal y como apuntan Andresen, Frank, & Felson (2014), es debido principalmente a la dificultad de obtener información más completa que la incluida en los registros policiales

El análisis de la distancia en relación al *Journey to crime* fue aplicado en los años treinta por White (1932), quien señaló que los delincuentes por delitos contra la propiedad generalmente se desplazaban más lejos que los delincuentes que cometieron delitos contra

las personas. Turner (1969), analizó el comportamiento de la delincuencia por medio de una función de desplazamiento a distancia que muestra cómo se acentúan las agresiones que tienden a estar cerca de la residencia del delincuente. Además, se dio cuenta de que la frecuencia de los delitos cometidos disminuyó a medida que la distancia de la residencia aumentaba.

### 1.3. *Decaimiento con la distancia.*

El postulado de la disminución de la frecuencia de los hechos delictivos en proporción directa al incremento de la distancia respecto al domicilio del agresor está estrechamente ligado al principio superior de cercanía y/o a la ley del menor esfuerzo. Este postulado indica que, bajo la condición de una igual distribución de las posibilidades potenciales (en las que desempeñan un papel determinados parámetros como la atracción del objetivo, el uso de recursos y medios o la necesidad de seguridad), el agresor elegirá las variantes que, desde su punto de vista, le exijan una mínima modificación ambiental.

Esta expresión encuentra sus raíces en la familia de modelos gravitacionales basada en la ley fundamental de atracción de Isaac Newton (Kent, Leitner, & Curtis, 2006). Según estos autores, el término decaimiento con la distancia se utilizó originalmente para describir el hecho de que la atracción entre dos cuerpos disminuye a medida que aumenta la distancia entre ellos.

El hallazgo recurrente de que la mayoría de los viajes delictivos son cortos frecuentemente se conoce como una función de decaimiento con la distancia. La frecuencia de los viajes delictivos tiende a disminuir a medida que aumenta la distancia desde el punto de origen del delincuente. Esta relación inversa entre la distancia y la frecuencia de viaje se argumenta como evidencia de la preferencia racional de los analistas (Cornish & Clarke, 1986) para minimizar el esfuerzo percibido y el tiempo requerido para localizar objetivos de crimen adecuados.

## 2. Método

Para la elaboración del siguiente estudio exploratorio se ha seguido la línea de trabajo de Snook, Taylor & Bennell (2004), en la que clasifican los algoritmos para el perfil geográfico en dos categorías básicas: estrategias de distribución espacial y estrategias de distancia de probabilidad, siendo esta última en la que nos centraremos fundamentalmente.



Las estrategias de distancia de probabilidad desarrollan una metodología para situar el punto de anclaje o domicilio del delincuente en relación con la ubicación de los delitos realizados. Definiendo su área de actuación en la zona que contiene el domicilio del delincuente, estos modelos se basan en investigación de *Journey to crime* y asume que la probabilidad de cometer un delito disminuye con la distancia desde el domicilio.

Hay tres programas informáticos de perfiles geográficos comúnmente utilizados que implementan esos modelos: *Rigel* (Rossmo, 2000), *DragNet* (Canter et al., 2012) y *CrimeStat IV* (Levine & Associates, 2013). *Rigel* se basa en el algoritmo (CGT por sus siglas en inglés de *Criminal Geographic Targeting*), *DragNet* usa una función exponencial negativa, que asume que la probabilidad de localizar el hogar de un delincuente en serie disminuye exponencialmente al aumentar la distancia desde su ubicación del crimen; y *CrimeStat* permite al usuario seleccionar entre cinco funciones de disminución de distancia: lineal, exponencial negativa, normal, lognormal y exponencial negativa truncada. Cada programa utiliza algoritmos matemáticos y parámetros que se basan en su propia investigación empírica en el comportamiento de viaje de los delincuentes, con base en la distribución de las distancias de viaje, y han determinado qué forma de función de disminución de distancia es la más adecuada. En relación con la métrica utilizada para calcular la distancia en los algoritmos utilizados, *Rigel* utiliza la distancia Manhattan, *DragNet* utiliza la distancia euclidiana y *CrimeStat* permite al investigador utilizar la distancia Manhattan o la euclidiana.

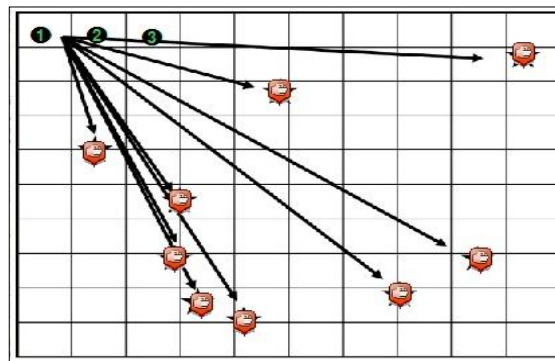
Todos los enfoques del perfil geográfico que utilizan una estrategia de distancia de probabilidad, con un método de decaimiento con la distancia, asignan pesos a la escena del crimen en función de la distancia al centroide de cada celda, cuya probabilidad se calcula bajo el supuesto de que los delincuentes cometen delitos en las cercanías de su lugar de residencia. Los lugares de crímenes que están cerca entre sí reciben más peso que los lugares más lejanos.

La predicción de la residencia de un delincuente dentro de este espacio se consigue aplicando, alrededor de cada lugar del delito, una función matemática (Ecuación 1) que genera una malla con un tamaño de celda o cuadrícula determinado sobre la distribución espacial de los incidentes delictivos (área de actuación), aplicando a cada celda un peso en relación con la distancia (*network*, euclidiana y Manhattan) de los incidentes delictivos con respecto al centroide de cada celda (Figura 2). Finalmente, los valores de las celdas son calculados mediante el sumatorio de los valores de cada incidente en función del algoritmo aplicado.

El resultado es una superficie en la que los valores más altos en determinadas zonas indican la probabilidad de que un delincuente pueda vivir dentro de esa área, y la

celda con una puntuación de probabilidad más alta determinará el punto de anclaje del delincuente (Figura 3).

**Figura 2** Cálculo de distancia en cuadrícula (euclidiana).



**Figura 3** Cuadrícula

por celda

con valor de probabilidad

12	12	13	13	14	13	9	11	16	17
12	14	13	18	18	18	27	24	25	22
17	19	34	22	34	40	31	33	29	21
26	32	40	39	58	59	47	42	39	23
32	55	60	73	77	69	58	59	49	28
29	69	82	87	85	84	69	68	51	30
22	66	88	90	87	85	69	64	44	23
26	64	85	91	93	86	64	67	45	24
28	59	71	84	81	78	70	65	41	34
37	38	49	60	66	68	59	55	40	32

Fuente: Elaboración propia.

Las estrategias de distancia de probabilidad difieren entre sí en cuanto a la forma de la función matemática aplicada en torno a cada lugar del delito y los supuestos con respecto a la relación entre el lugar donde residen los delincuentes y donde cometen sus delitos.

Los investigadores han desarrollado varias funciones diferentes para calcular el decaimiento con la distancia (Levine, 2014). Dentro de las funciones matemáticas más



utilizadas, propuestas por Levine, cabe enumerar las siguientes: lineal, exponencial negativa, normal, lognormal y exponencial negativa truncada (Figura 4). se ha optado por utilizar una función de distribución de probabilidad conocida como distribución exponencial negativa, que se caracteriza porque su función de decaimiento viene dada por la expresión siguiente;

$$f(d_{ij}) = A * e^{-B*d_{ij}} \quad (1)$$

$f(d_{ij})$  es la probabilidad que el delincuente resida en un punto determinado;

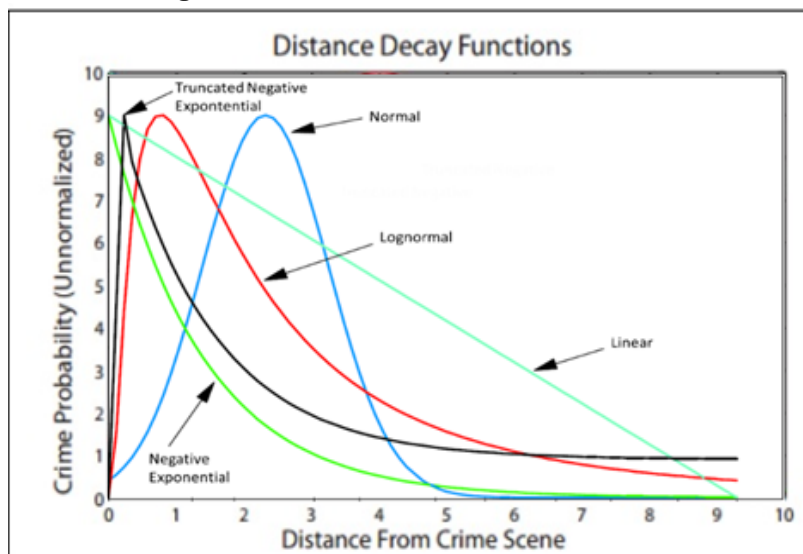
$d_{ij}$  es la distancia entre una localización de referencia y la localización del delito;

$e$  es la base del logaritmo natural;

$A$  es un coeficiente predeterminado con un valor de 1.89 ;

$B$  es un exponente predeterminada con un valor de -0.06 .

**Figura4** Funciones de decaimiento de distancia



Fuente: Levine 2007

Para la implementación de la función se ha utilizado el software *ArcGIS* 10.5, incorporando en la tabla de atributos, mediante la función de calculadora de campo, la ecuación (1) función exponencial negativa.

## 2.1. Distancia.

Los procedimientos de cálculo de distancias pueden ser varios. En primer lugar, se pueden utilizar las ecuaciones más simples, como son la distancia euclidiana y la Manhattan, ambas muy conocidas en criminología. Evidentemente, esto supone una enorme simplificación, ya que los verdaderos recorridos de los criminales para desplazarse de su residencia hasta su objetivo no siguen exactamente este procedimiento. Como es conocido, las personas se desplazan a través de las redes de calles o carreteras que no se tienen en cuenta en el análisis de los perfiles geográficos. No obstante, en la mayoría de los sistemas de perfil geográfico criminal, así como en la gran mayoría de investigaciones de perfil geográfico, el uso de la distancia se basa en la línea recta para calcular predicciones de *Journey to crime* y del domicilio (Kent et al., 2006), lo que significa que las estrategias de distancia de probabilidad actuales asumen una superficie isotrópica, donde la impedancia es uniforme en todas las direcciones.

Una primera cuestión importante para todos los métodos de perfil geográfico es determinar la métrica apropiada para medir la distancia. Un método común en criminología, es utilizar la distancia euclidiana, la distancia más corta entre dos puntos, que responde al concepto tradicional de distancia como hipotenusa de un triángulo rectángulo. Es la más utilizada para resolver problemas geoespaciales:

$$d_2(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{(x^{(1)} - y^{(1)})^2 + (x^{(2)} - y^{(2)})^2}. \quad (2)$$

En segundo lugar, disponemos de la distancia de Manhattan, que corresponde, siguiendo con el símil del triángulo rectángulo, a la suma de los catetos.

$$d_1(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = |x^{(1)} - y^{(1)}| + |x^{(2)} - y^{(2)}|. \quad (3)$$

En numerosas ocasiones, los problemas geoespaciales han tenido que adaptarse a la ciudad. La literatura geográfica y urbanística han coincidido al definir un modelo de

ciudad norteamericana, en un intento por simular mejor los desplazamientos habituales de los usuarios; especialmente en recorridos a través de medios urbanos donde la línea recta es un tanto irreal, se ha utilizado la distancia Manhattan (Ramírez, 2002). Este modelo se ha elaborado a partir de una serie de características propias del espacio urbano y del sistema de ciudades representativo de Estados Unidos. En este sentido es interesante señalar, que las ciudades británicas carecen del típico formato de patrón de rejilla regular de calles comunes a las ciudades americanas, y que era generalmente difícil identificar la ruta más probable entre dos lugares. Como consecuencia de ello, consideraban que en su estudio era mejor utilizar la distancia euclidiana en comparación con la distancia Manhattan (Wiles & Costello, 2000).

No obstante, las metodologías descritas anteriormente no integran las características geográficas en sus análisis. Para llenar este vacío, se propusieron diferentes soluciones tales como el uso de características de cobertura del suelo para mejorar los modelos de viaje al crimen (Kent et al., 2006) o algún perfil geográfico basado en la red de tráfico ponderado (Qian et al. 2011). El tiempo y el espacio en muchas ocasiones son obstáculos en el movimiento no exento de estas limitaciones. Su comportamiento y adaptación al medio es fundamental para salvar los obstáculos del entorno. El problema surge cuando las personas imaginan el trayecto y lo dibujan en su mapa cognitivo de manera geoméricamente ideal, olvidando el tramado de la red viaria. En este contexto, parece más realista usar los algoritmos de cálculo de costes de recorrido, en los cuales se tienen en cuenta la existencia de carreteras o calles. En este sentido, y planteado el problema de movilidad por las ciudades, se convierte en idea principal el encontrar, a lo largo del amplio conjunto de trayectorias posibles en la red, aquéllas que comporten un menor riesgo/tiempo para el delincuente.

Uno de los algoritmos más difundidos en esta línea de trabajo es el elaborado por Dijkstra. El algoritmo se ajusta a la estrategia conocida como esquema de algoritmo voraz. La idea subyacente en este algoritmo consiste en ir explorando todos los caminos más cortos que parten del vértice origen y que llevan a todos los demás vértices, obteniendo pesos en cada arista; cuando se obtiene el camino más corto desde el vértice origen al resto de vértices que componen el grafo, el algoritmo se detiene. Esta operación de asignar distancias a pares de puntos es precisamente lo que da origen a una revisión en la estrategia de distancia de probabilidad en los modelos de perfilado geográfico y a la necesidad de analizar el patrón de localización de delitos en un entorno urbano/interurbano a través de la red viaria.

## 2.2. *El estudio de caso.*

Entre los años 1975 y 1980 Peter Sutcliffe (el destripador de Yorkshire) fue dejando un rastro de terror por el norte de Inglaterra. Después de 9 asaltos en los alrededores de las ciudades de Leeds y Bradford, dejó West Yorkshire y cruzó los Pennines hasta llegar a Manchester. Posteriormente, se movió de ciudad en ciudad sin cometer nunca dos crímenes en el mismo lugar. Parece que conmutó a varias áreas y direcciones diferentes para cometer los asesinatos, pero también asesinó a tres víctimas cerca de su residencia, en Garden Lane, Heaton, Bradford.

Cuando Peter Sutcliffe fue arrestado en Sheffield, Inglaterra, la naturaleza de la criminología cuantitativa cambió para siempre. La detención de Sutcliffe marcó una victoria personal para Sturt Kind, el biólogo forense cuya innovadora aplicación de principios matemáticos había predicho con éxito que el destripador de Yorkshire vivía entre las ciudades de Shettley y Bingley. Más importante aún, sin embargo, este éxito marcó, a principios de 1981, el comienzo de tres décadas de investigación desarrollando métodos cada vez más poderosos para analizar patrones criminales con modelos matemáticos (Godwin & Canter, 1997). El enfoque de Kind tomó la práctica de mezclar los cálculos y la prevención del crimen en un nuevo ámbito mediante la aplicación de análisis algorítmicos a los actos delictivos de un delincuente serial (Rossmo, 2000). Desde el innovador cálculo de Kind, la práctica de perfilar geográficamente los crímenes seriales ha producido un cuerpo sustancial de investigación, principalmente enfocada en técnicas para ubicar los puntos de anclaje del delincuente.

## 2.3. *Datos.*

Se ha optado como factor base a considerar, para realizar un análisis de distribución espacial, los datos de Peter Sutcliffe, que se identifica con una localización geográfica del primer ataque (nodos de origen). La tabla 1 muestra un total de 20 ataques, incluida la fecha, la víctima, la ciudad y las coordenadas geográficas específicas (longitud y latitud) de los sitios de la localización de los crímenes.

**Tabla 1.** Información de los ataques

REGISTRO	FECHA	VICTIMA	CIUDAD	LATITUD	LONGITUD
1	7/5/1975	ANNA ROGULSKYJ	KEIGHLEY	53.871481	-1.897633
2	8/15/1975	OLIVE SMELT	HALIFAX	53.734182	-1.864272
3	10/30/1975	WILMA McCANN	LEEDS	53.822352	-1.544942
4	1/20/1976	EMILY JACKSON	LEEDS	53.809052	-1.531635
5	5/9/1976	MARCELLA CLAXTON	LEEDS	53.836585	-1.503293
6	2/5/1977	IRENE RICHARDSON	LEEDS	53.833069	-1.499997
7	4/23/1977	PATRICIA ATKINSON	BRADFORD	53.810211	-1.767216
8	6/26/1977	JAIINE McDONALD	LEEDS	53.818458	-1.535151
9	7/10/1977	MAUREEN LONG	BRADFORD	53.787368	-1.726811
10	10/1/1977	JEAN JORDAN	MANCHESTER	53.461321	-2.273241
11	12/14/1977	MARILYN MOORE	LEEDS	53.812352	-1.5396
12	1/21/1978	YVONNE PEARSON	BRADFORD	53.797916	-1.762342
13	1/31/1978	HELEN RYTKA	HUDDERSFIELD	53.649382	-1.779432
14	5/16/1978	VERA MILLWARD	MANCHESTER	53.453019	-2.257498
15	4/4/1979	JOSEPHINE WHITAKER	HALIFAX	53.71339	-1.874463
16	9/2/1979	BARBARA LEACH	BRADFORD	53.789796	-1.76127
17	8/18/1980	MARGUERITE WALLS	FARSLEY	53.8084	-1.672148
18	9/24/1980	APADHYA BANDAR	LEEDS	53.817419	-1.58065
19	11/5/1980	THERESA SYKES	HUDDERSFIELD	53.673159	-1.828876
20	11/17/1980	JACQUELINE HILL	LEEDS	53.823573	-1.579763

## 2.4. Delimitación espacial.

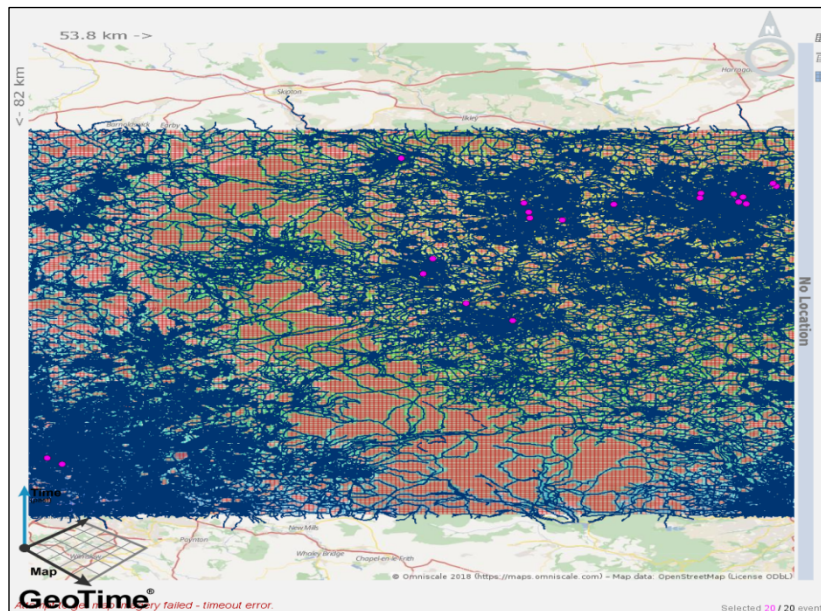
El área de actuación en este caso se ha definido como un cuadrado de 10% mayor que el área delimitada por las coordenadas mínimas y máxima XY de las localizaciones del crimen. (parte superior: 53.910181, derecha -1.421570, parte inferior 53.386094, izquierda -2.338565). En segundo lugar, se ha creado mediante la caja de herramientas de *ArcGIS* (ArcToolbox/Data Management Tools/Feature Class / Create Fishnet) una rejilla de referencia 200 por 200 de las celdas superpuestas a la zona de actuación, generando un total de 40.000 celdas.



## 2.5. Generación de Red.

En tercer lugar, para generar el sistema de elementos interconectados, como bordes (líneas) y cruces de conexión (puntos), que representa las posibles rutas desde una ubicación a otra, ha sido necesario construir la topología de red. Se ha utilizado la extensión de *ArcGIS Network Analyst* que puede realizar los cálculos de coste mínimo necesarios de los *datasets* de red (redes de transporte). Los *dataset* de red están formados por los elementos de la red utilizada. En este caso, se ha partido de una capa vectorial de tipo línea que contiene los ejes de las vías de comunicación, a partir de los *shapefiles* existentes de Gran Bretaña, sub-región Inglaterra: <http://download.geofabrik.de/europe/great-britain.html>.

Mapa de los ejes de vías de comunicación. Gran Bretaña sub-región Inglaterra.



Fuente: Elaboración propia

Las redes de carreteras se han definido como gráficas conectadas, con bordes que representan segmentos de carretera y con nodos que representan intersecciones. Algunas



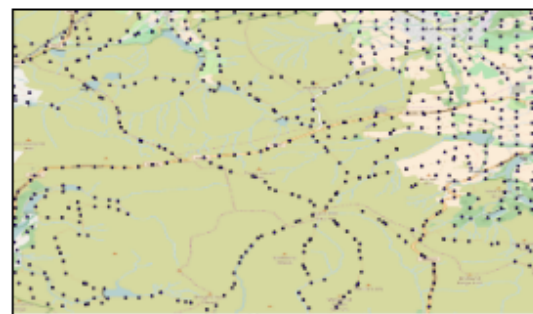
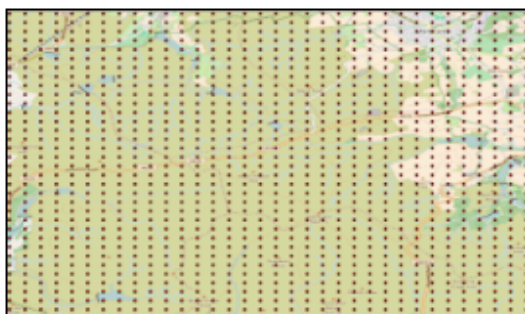
vías de comunicación, que en la vida real constituyen un solo camino, se dividieron en múltiples. Se han seleccionado un total de 173.464 ejes de vía que delimitan el área de actuación del perfil geográfico (Figura 5).

Para saber cuál es este camino, será necesario calcular la ruta óptima que representará el camino mínimo a seguir desde un punto origen, que se haya dado como entrada, a cada uno de los diferentes destinos determinados en la capa de coste acumulado. El desplazamiento entre dos puntos del espacio implica un coste. Por regla general, cuanto más alejados estén estos dos puntos, más coste en tiempo y energía supondrá desplazarnos. Así pues, podemos definir el coste como la resistencia que presenta el medio por el que nos desplazamos en un punto concreto (Olaya, 2011). La utilización de puntos (rejilla de referencia 200 por 200 de las celdas superpuestas a la zona de actuación, generando un total de 40.000 celdas) para representar la oferta y la demanda mediante el uso de los centroides, puede producir un problema de relación de todos los puntos de la red celular con los de los ejes de las carreteras. Por ello, en cuarto lugar, es necesario resolver el modo cómo estos puntos se van a conectar a la red para que así los cálculos de distancias se puedan realizar. La solución más sencilla de implementar ha sido asignar cada punto de la rejilla al eje de la red existente, justamente aquél que se encuentre a menos distancia en línea recta de él, en la (Figura 6a) se puede observar el desplazamiento del centroide al eje de la vía más cercano (Figura 6b).

Figure 6a

Rejilla simétrica/asimétrica

Figura 6b

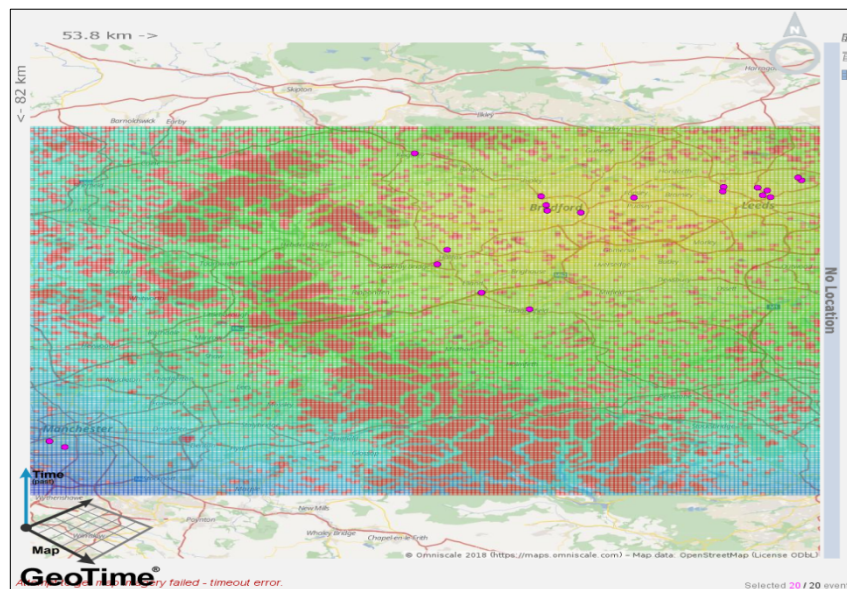


Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, pocas ciudades tienen una rejilla completamente simétrica, o incluso una que sea aproximadamente similar a una rejilla. Las limitaciones de la topografía física (montañas, océanos, ríos, lagos), así como los

diferentes patrones de desarrollo histórico, hacen que el despliegue sea asimétrico alrededor de la mayoría de las ubicaciones.

**Figure 7.** Factores de impedancia (algoritmo Dijkstra's)



Fuente: Elaboración propia

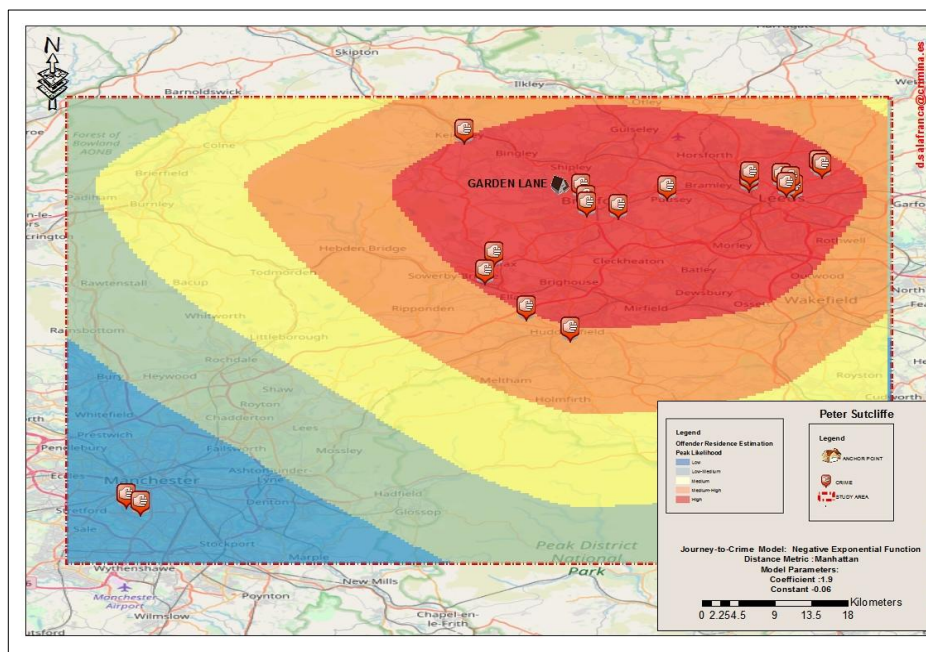
Como consecuencia, estas redes tienen factores inherentes de impedancia que están influenciados por características culturales, físicas y psicológicas (por ejemplo, lagos, ríos, montañas, etc.), que limitan los viajes para ciertas direcciones y velocidades (Barry, 2000; Rossmo 2000). Estos factores influyen significativamente en las consideraciones subjetivas y objetivas de un individuo para viajar y se deben tener en cuenta en el perfilado geográfico. En el estudio se han detectado 9806 celdas (Figura 7) de las 40.000 celdas del área de actuación que no se han modelado por encontrarse con factores inherentes de impedancia (montañas).

Validados y generados todos los campos necesarios se procede a ejecutar el análisis de red, mediante el algoritmo Dijkstra's. Finalmente, el resultado obtenido corresponde a la distancia entre una localización de referencia (centroide) y la localización del delito, que será calculada en la ecuación (1) función exponencial negativa.

### 3. Resultados

Al aplicar a cada celda un peso en relación a la distancia Manhattan, euclidiana y *network*, se obtiene una superficie formada por pequeñas unidades de igual tamaño (celdas) con un valor de probabilidad representado por una gama cromática de 5 bandas, siendo la banda de color rojo la que representa la zona de mayor probabilidad de encontrarse el domicilio del agresor (Fig-8,9 y 10).

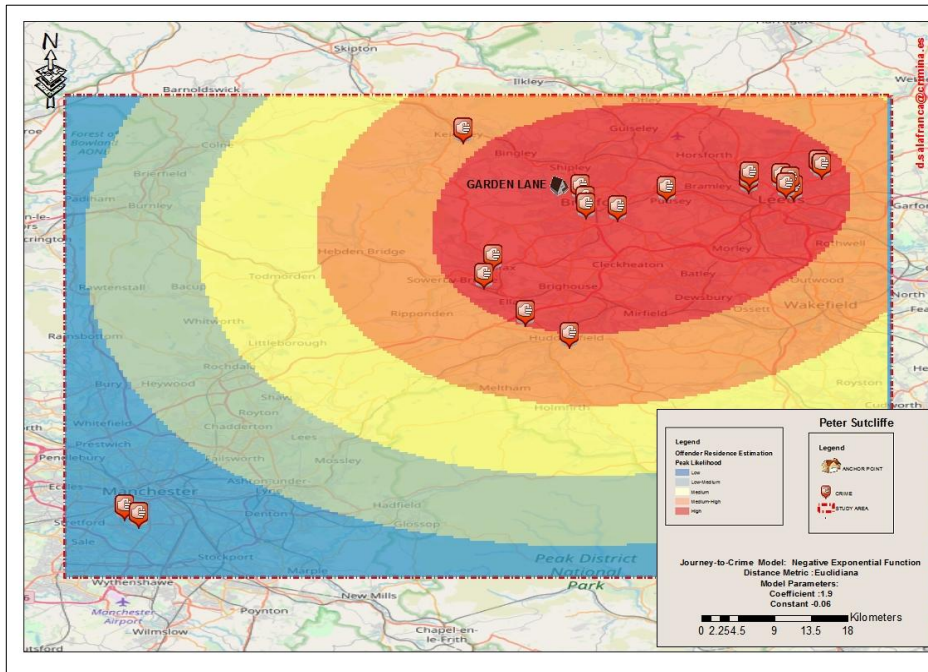
Figure 8. Mapa Distancia Manhattan



Fuente: Elaboración propia

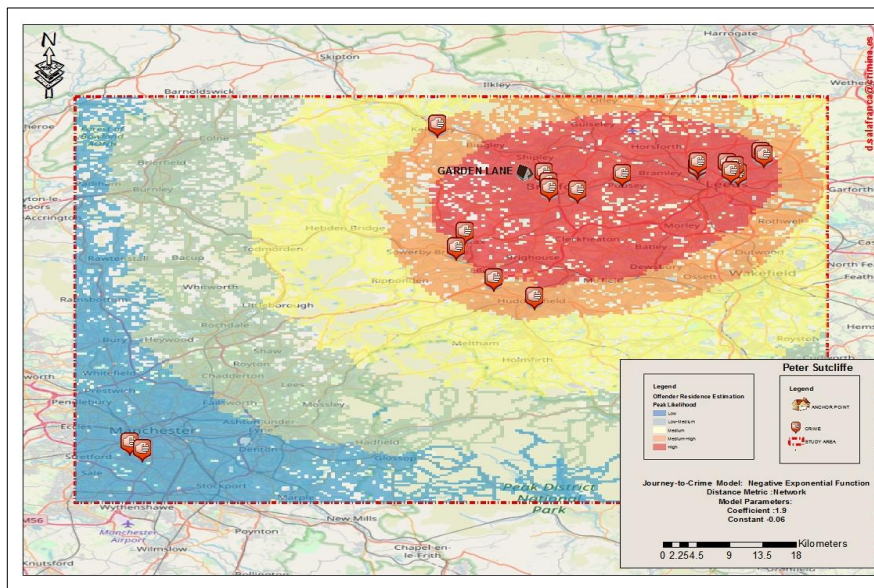


Figure 9. Mapa Distancia euclidiana



Fuente: Elaboración propia

Figure 10. Mapa Distancia Network



Fuente: Elaboración propia

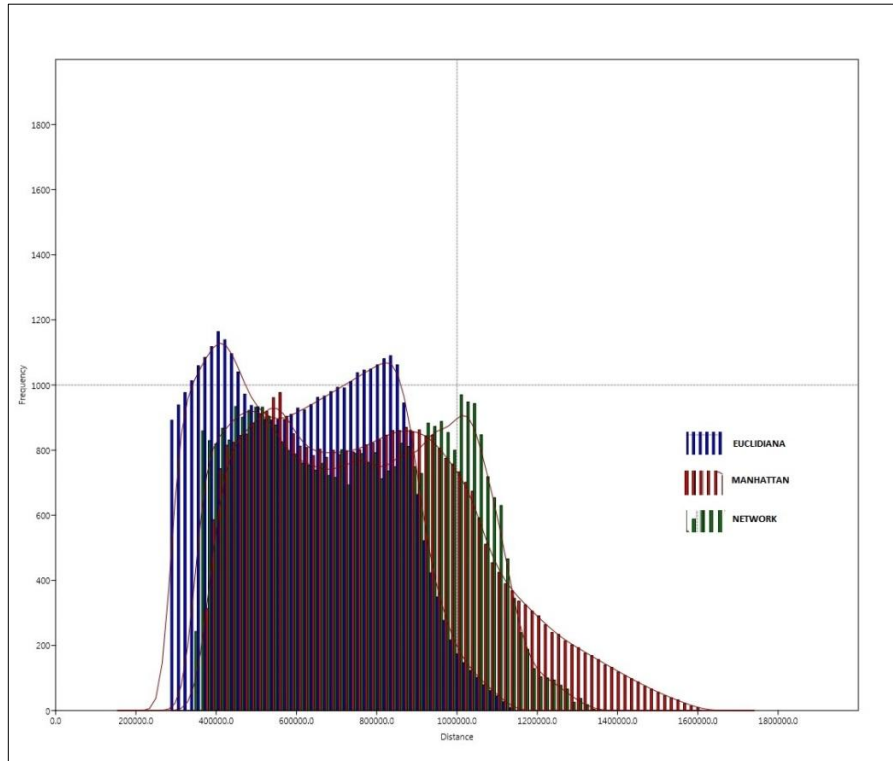
La distancia media existente entre cada incidente delictivo y cada celda (40.000) fue de 621.666 km. aplicando una distancia euclidiana; 795.881 km. con Manhattan; y 746.195 km. con *network*. (Tabla 2).

**Tabla 2.** Estadística Descriptiva

	<b>Euclidiana</b>	<b>Manhattan</b>	<b>Network</b>
<i>N</i>	39999	39999	39999
<i>Min</i>	286720	376073	340812
<i>Max</i>	1141863	1608302	1334838
<i>Mean</i>	621666	795881	746195
<i>Std.Error</i>	993	1306	1197
<i>Stand.dev</i>	198673	261363	238023
<i>Median</i>	621099	779062	744319
<i>25 prcentil</i>	444662	574270	532639
<i>75 prcentil</i>	788194	975291	952291

La Figura 11 ilustra las curvas de tres mediciones de distancia diferentes: distancia euclidiana, distancia de Manhattan y distancia *network*, para todos los delitos y todos los centroides. El eje X es la distancia en km. mientras que el eje Y muestra la frecuencia. Las frecuencias se calcularon utilizando una banda de 200 unidades, obteniendo una distribución normal bivariada en las tres medidas.

**Figura 11.** Histograma de las tres mediciones de distancia



Fuente: Elaboración propia

Como también hicieron Groff & McEwen (2005), quisimos comparar las relaciones estadísticas entre la distancia *network*, la distancia euclidiana y la distancia Manhattan. Para hacer esto, se usaron la correlación y la regresión lineal.

Se aplicó la correlación de *Pearson* para cuantificar la relación entre los métodos de medición, encontrando una correlación lineal cuando se compararon los métodos de euclidiana vs Manhattan, que corresponde a  $r = 0,974$  ( $p < 0,001$ ), así como para el método Euclidiana vs Network, con una correlación de  $r = 0,929$ , y Network vs Manhattan, con  $r = 0,899$ .

Esta relación se confirma mediante el excelente grado de concordancia entre las variables



**Tabla 3.** Resultado del coeficiente de correlación de Pearson.

	Distance Euclidiana	Distance Manhattan	Distance Network
Distance Euclidean	1	0,974***	0,929
Distance Manhattan	—	1	0,899
Distance Network	—	—	1

\*\*\*= $p < 0,001$

La Tabla 4 muestra los resultados de la regresión con la distancia *Network* como variable dependiente, y la distancia euclidiana y Manhattan como variable independiente. La relación entre las variables euclidiana y Manhattan es muy fuerte. El valor  $R^2$  es  $>0.94$ , lo que indica una relación lineal virtualmente perfecta entre las dos distancias. Lo que significa este resultado es que se puede obtener una estimación confiable de los metros de los ejes de vía aplicando los resultados de la regresión entre estas dos variables. Por otro lado, el coeficiente de determinación de las variables Manhattan y *Network* indica que el 80.99% de la variabilidad en la variable dependiente *Network* se tiene en cuenta en este modelo.

**Tabla 4.** Resultados de la Regresión

	Distance Euclidiana	Distance Manhattan	Distance Network
Distance Euclidiana	1	—	—
$R^2$	1	0.9489	0.864
Slope	1	1.2815	1.167
Intercept	1	-785.24	11620
Constant	1	32338	75805
Coefficient	1	0.7404	0.7399
Distance Manhattan	—	1	—
$R^2$	—	1	0.809
Slope	—	1	0.859
Intercept	—	1	53681
Constant	—	1	100721
Coefficient	—	1	0.9423
Distance Network	—	—	1

Para la evaluación de la medición de los resultados, se ha seguido la metodología del panel de expertos del Instituto Nacional de Justicia (Rich & Shively, 2005). Si bien en el informe se analizan diversas medidas de evaluación de perfiles geográficos, en este trabajo nos centraremos fundamentalmente, en el porcentaje de puntaje de éxito (también conocido como el coste de búsqueda) y la distancia de error. El coste de búsqueda determina el área (número de celdas de área constante) para investigar, de acuerdo con los puntajes obtenidos por cada celda antes de encontrar la residencia del delincuente (Canter, Coffey, Huntley, & Missen, 2000). Normalmente se calcula como una relación entre éste área investigada y el área de estudio.

El porcentaje de resultados es una medida de la eficiencia de búsqueda de perfiles geográficos. Se define como la proporción del área de actuación buscada (siguiendo la priorización de perfil geográfico). Cuanto menor sea esta relación, mejor será el enfoque del perfilado. Se calcula añadiendo primero el número de celdas con una puntuación de éxito (valor de verosimilitud) superior a la de la celda que contiene la residencia del delincuente ( Garden Lane, Bradford, coordenadas Longitud 53.81376, Latitud - 1.789933) más la mitad del número de vínculos (celdas con la misma puntuación de éxito) y luego dividiendo por el número total de celdas en el área de actuación (40.000 celdas) (Figura 11); en el caso de la distancia Manhattan (color rojo) 395 celdas, en la distancia euclidiana (violeta) 1.751 celdas y en el caso *network* (color amarillo) 1.841 celdas.

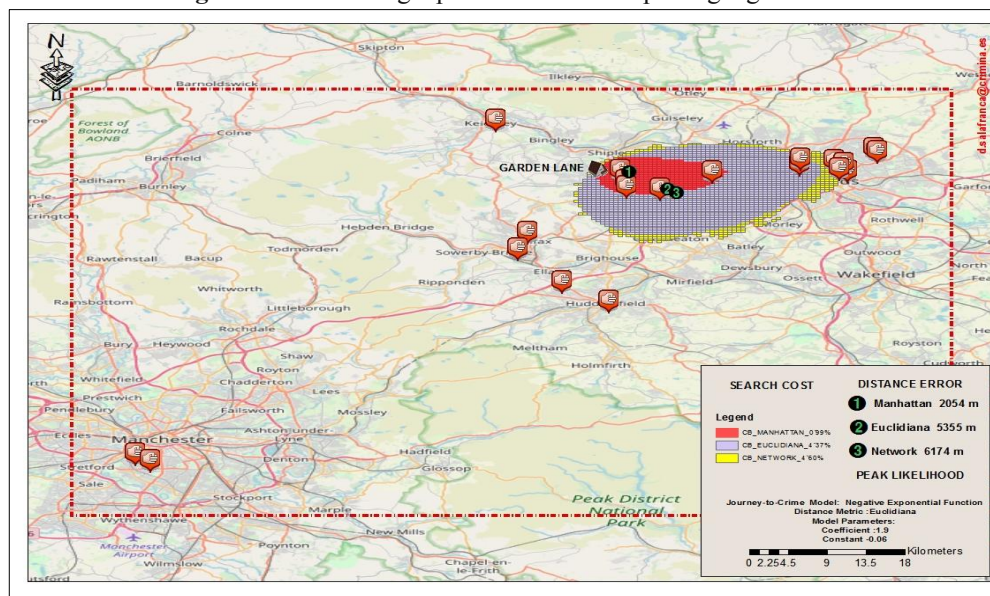
**Tabla 5.** Resultados de modelos de perfilado.

	Coste de búsqueda (%)	Distancia de error (m)
Euclidean Distance Metric	4'37	5355
Manhattan Distance Metric	0'99	2054
Network Distance Metric	4'60	6174

El indicador de rendimiento más intuitivo es probablemente la distancia entre el mejor resultado y la residencia del agresor, llamada la distancia de error. El procedimiento se basa en la distancia euclidiana entre el centroide de la celda de la cuadrícula con la probabilidad más alta y el domicilio real del delincuente (Figura 11), en relación a las tres medidas aplicadas.

Los resultados de la Tabla 5 respaldan el potencial de las herramientas operativas que utilizan dichos procedimientos para evaluar el perfilado geográfico y contribuyen a nuestra comprensión del comportamiento geográfico del delincuente (Canter, 2004).

Figure 12. Metodología para evaluación de perfil geográfico.



Fuente: Elaboración propia

## 4. Discusión.

Ciertos diseños utilizados en el perfilado geográfico presuponen que todos los actores son idénticos y que las reglas de comportamiento por las que se rigen son similares. Sin embargo, en el mundo real los actores sociales suelen tener diferentes deseos, creencias, oportunidades y reglas de comportamiento. Hacen falta por tanto nuevos métodos para explorar el comportamiento complejo, no lineal y emergente de los delincuentes seriales.

Un problema importante que surge al diseñar un modelo de perfilado geográfico es decidir qué elementos incluir y cuáles deberían ser excluidos. Cuantos más elementos se excluyan, mayor será la distancia entre las conclusiones obtenidas y la explicación del fenómeno criminológico que se quiera analizar. La teoría de modelar el comportamiento humano discute la conveniencia de tres cualidades: (1) realismo; (2) generalidad; y (3) precisión (Levins, 1966). Desafortunadamente, la mejora en la calidad de un parámetro

generalmente da lugar a un deterioro en otro. Una mayor precisión, por ejemplo, a menudo significa una pérdida de generalidad.

En este sentido, el algoritmo Dijkstra's, que es un elemento realista en el comportamiento del delincuente, no ha encontrado el mejor rendimiento ni la precisión del perfil geográfico utilizando una estrategia de distancia de probabilidad en relación con las distancias Manhattan y euclidiana.

Aunque estudios previos han utilizado el algoritmo Dijkstra's para medir la distancia en el *Journey to crime* (Kasprzyk, Trotta, Broxham, & Donnay, n.d.), no existen, bajo nuestro conocimiento, investigaciones que hayan validado el procedimiento en modelos probabilísticos de perfilado geográfico, pero sí se han comprobado modelos de distancia directa e indirecta. Por lo tanto, en el estudio exploratorio realizado los resultados obtenidos no son confirmatorios, pero se ajustan a los obtenidos por Groff y McEwen (2005) que la distancia euclidiana y la distancia *Network* tienen una fuerte relación lineal positiva, asumiendo que ambos protocolos pueden ser utilizados en función de las necesidades de la investigación. Otros estudios (Kent, Leitner, & Curtis, 2006), demostraron que, a través de varios tipos de crímenes en serie, la distancia Manhattan ha dado mejores resultados que la euclidiana y que el uso de la distancia *network*, tiene un peor rendimiento en la predicción de puntos de anclaje criminales. En dicha investigación se ha utilizado modelo de perfiles calibrados implantados en las funciones matemáticas (truncada exponencial negativa y exponencial negativa) por consiguiente, la metodología utilizada por Kent (2006) difiere de nuestro modelo, al utilizar modelos calibrados.

El principal resultado del presente estudio fue la alta correlación y concordancia existente entre las distancias medidas (Tabla 3). La mayor correlación de todas las estudiadas fue la que se observó entre la distancia euclidiana y Manhattan ( $r = 0,974$ ). Además, todas las comparaciones fueron altas, con valores de correlación mayores a 0,89.

En relación con la evaluación del perfil geográfico, esta prueba ha demostrado que el mejor rendimiento y más preciso se ha creado cuando las distancias se miden como ruta indirecta en Manhattan con un valor  $< 1$  en el área de máxima puntuación. Cuando las distancias se miden utilizando la distancia *Network*, el tamaño del área de búsqueda se vuelve cuatro veces mayor, en comparación con las distancias medidas con métricas Manhattan.

## 5. Conclusiones.

Los resultados en esta investigación encuentran innecesario agregar medidas de distancia funcional en los modelos de perfilado geográfico probabilístico. Estos hallazgos respaldan la investigación de Canter (2003), que sugiere que la ruta de viaje real no define el espacio de conciencia del delincuente. Más bien, la conducta del delincuente se basa en el mapa mental del individuo y la percepción selectiva de las características físicas dentro del paisaje real. Como tal, el delincuente percibe el camino entre dos puntos como una línea recta y una gran parte de los estudios sobre desplazamientos criminales también utilizan esta medida de distancia, ya que la distancia entre la residencia del sospechoso y la escena del crimen viene justificada por el hecho de que, a pesar de desconocer la ruta exacta elegida por el autor del crimen, la línea recta nos proporciona en todo caso una estimación razonable de su ámbito de movilidad (Brantingham & Brantingham, 1991; Davis & Dale, 2005; Beauregard et al., 2005; Lundrigan et al., 2009). Dicho esto, la distancia Manhattan o euclidiana se utilizarán en nuestros análisis posteriores por sus altos valores de correlación y la facilidad de ser implementadas en los modelos de perfilado geográfico, ya que también nos posibilitan la realización de comparativas con otras investigaciones (Akerman & Rossmo, 2015; Groff & McEwen, 2007; Rossmo et al., 2004).

Sin embargo, como señalaron Capone y Nichols (1976) hace más de un cuarto de siglo, parece lógico suponer que las diferentes funciones podrían proporcionar los mejores ajustes a distribuciones de distancia para diferentes tipos de delitos, y la investigación futura necesitaría determinar si éste es de hecho, el caso.



## Referencias

- Andresen, M., Frank, R., & Felson, M. (2014). *Age and the distance to crime. Criminology & Criminal Justice, 14*(3), 314 - 333.
- Bernasco, W. (2014). Crime Journeys—Patterns of Offender Mobility. *Oxford Handbooks Online in Criminology and Criminal Justice*.
- Brantingham, P. J., & Brantingham, P. L. (1981). *Environmental criminology* (Sage Publi). Beverly Hills.
- Capone, D. L., & Woodrow W. Nichols, J. (1976). Urban Structure and Criminal Mobility. *American Behavioral Scientist, 20*(2), 199–213. <http://doi.org/10.1177/000276427602000203>
- Cohen, L., & Felson, M. (1979). Social Change and Crime Rate Trends: A Routine Activity Approach. *American Sociological Review, 44*. <http://doi.org/10.2307/2094589>
- Cornish, D. B., & Clarke, R. V. G. (1986). *The reasoning criminal: rational choice perspectives on offending*. (©1986. New York : Springer-Verlag, Ed.).
- Godwin, M., & Canter, D. (1997). Encounter and death: The spatial behavior of US serial killers. *Policing An International Journal of Police Strategies Management, 20*(1), 24–38. <http://doi.org/10.1108/13639519710161999>
- Kent, J., Leitner, M., & Curtis, A. (2006). Evaluating the usefulness of functional distance measures when calibrating journey-to-crime distance decay functions. *Computers, Environment and Urban Systems, 30*(2), 181–200. <http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.10.002>
- Levine, N. (2006). Crime mapping and the crimestat program. *Geographical Analysis, 38*(1), 41–56. <http://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00673.x>
- Levine, N. (2014). Chapter 13: Journey-to-Crime Estimation.
- Norza, E., Nancy, C., Espinosa, M. V., Lucía, B., Prieto, A., Rincón, H., & Ospino, M. A. (2018). Criminología ambiental y homicidio en la ciudad de Bogotá ( Colombia ) 1 \*, (January). <http://doi.org/10.7440/res63.2018.05>
- Olaya, V. (2011). Sistemas de Información Geografica.
- Phillips. (1980). *Characteristics and Typology of the Journey to Crime* (United Sta). United States.
- Procedure, C., Lundrigan, S., & Ph, D. (n.d.). David canter - spatia patterns of serial murder Spatial Patterns of Serial Murder : An Analysis of.
- Rengert, G. F. (2004). The journey to crime. In G. Bruinsma. *Punishment, Places and Perpetrators: Development in Criminology and Criminal Justice Research, 169–181*.
- Rengert, G. F., Piquero, A. R., & Jones, P. R. (2006). Distance decay reexamined. *Criminology, 37*(2), 427–446. <http://doi.org/10.1111/j.1745->





9125.1999.tb00492.x

- Rossmo, D. K. (2000). *Geographic Profiling*. CRC-Press.
- Snook, B., Taylor, P. J., & Bennell, C. (2004). Geographic profiling: the fast, frugal, and accurate way. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 105–121. <http://doi.org/10.1002/acp.956>
- Trotta, M. (2015). Modelling serial offenders' spatial behaviours: new assumptions for geographic profiling.
- Turner, S. (1969). Delinquency and distance. *Delinquency: Selected Studies*, 11–26.
- White, C. R. (1932). The relation of felonies to environmental factors in Indianapolis. *Social Forces*, 10, 498–509.
- Wiles, P., & Costello, A. (2000). The “Road To Nowhere”: the Evidence for Travelling Criminals. *Home Office Research Study 207*, 60.