

## LA MEDIDA DE LA SEGREGACIÓN RESIDENCIAL URBANA: ANÁLISIS MULTIESCALA MEDIANTE ÍNDICES DE LAGUNARIDAD

SEVERINO ESCOLANO UTRILLA

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza  
C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza. España  
[severino@unizar.es](mailto:severino@unizar.es)

### RESUMEN

La segregación socioespacial es un fenómeno que se manifiesta a través de múltiples dimensiones y a diversas escalas. Sin embargo, los índices habituales que se utilizan para medirla sólo dan cuenta de una escala y están afectados por el tamaño y la forma de las unidades espaciales de análisis. Por otra parte, muchos de estos índices tampoco retienen la estructura de las configuraciones espaciales que la segregación adquiere, a pesar de que éstas ejercen una influencia trascendental en el grado y efectos de la segregación.

La *lagunaridad* es una medida analítica multiescala de la heterogeneidad de una textura espacial. La propiedad multiescala y la capacidad para retener los patrones espaciales la convierten en una técnica alternativa útil para trazar la trayectoria temporal y espacial de la segregación, y relacionar sus valores con otros procesos sociales, económicos, culturales y espaciales.

En este artículo se explora la influencia que los cambios del tamaño y forma de las unidades espaciales de análisis pueden tener en los índices de *lagunaridad*. Los resultados muestran que la *lagunaridad* es una medida consistente que refleja la variedad de patrones espaciales a todas las escalas, incluso aunque cambien las unidades espaciales de análisis.

Palabras clave: *Lagunaridad*, segregación socioespacial, multiescala, problema de la unidad espacial modificable, Santiago de Chile.

## THE MEASUREMENT OF THE URBAN RESIDENTIAL SEGREGATION: MULTI-SCALE ANALYSIS USING LACUNARITY INDICES

### ABSTRACT

The socio-spatial segregation is a phenomenon that takes place throughout multiple dimensions and over diverse scales. Nevertheless, the most frequent indices adopted to measure it only give account of one scale level and are affected by the size and the form of the spatial units of analysis. Furthermore, many of these indices do not retain the structure of the spatial configurations that the segregation acquires, even if these cause a transcendental influence in the degree and effects of the segregation.

*Lacunarity* is an analytical multi-scale measure of the heterogeneity of a spatial texture. The multi-scale property and the capacity to retain the space patterns turns it as a useful alternative technique to draw up the temporary and spatial trajectory of the segregation, and to relate their values to other social, economic, cultural and spatial processes.

This article deals with the impact that changes in size and shape of the spatial units can have in the *lacunarity* indices. The results show that *lacunarity* is a consistent measure that reflects the variety of space patterns at all scales, even when spatial units of analysis are changed.

Keywords: *Lacunarity*, spatial segregation, multi-scale, modifiable area unit problem, Santiago (Chile).

### 1. Introducción

La segregación residencial urbana es un proceso socioespacial que se despliega a través de múltiples dimensiones y a diversas escalas. Considerada como una manifestación de complejas interacciones entre grupos sociales y de éstos con el territorio, ha sido objeto de estudio multidisciplinar continuado desde hace, al menos, treinta años. El interés por su estudio se ha acrecentado puesto que los modelos de segregación vigentes están registrando cambios importantes, en especial en las grandes ciudades latinoamericanas. Algunas hipótesis mantienen que los patrones socioespaciales tradicionales, nítidos a pequeña escala, están sometidos a presiones que los fragmentan, de tal modo que se reduce la continuidad y compacidad espacial del territorio ocupado por grupos sociales distintos, disminuye la distancia física media que los separa y se incrementa la longitud de sus fronteras; en suma: está cambiando la escala de la segregación.

Sin embargo, la medición de este fenómeno es esquiva, debido seguramente a la complejidad de su contenido. Se ha utilizado una veintena de índices que recogen aspectos parciales de la segregación residencial, pero ninguno proporciona medidas completas y sintéticas de sus componentes temáticos y espaciales.

Las medidas "clásicas" de la segregación residencial presentan limitaciones asociadas a la escala del estudio, en especial en lo atinente a la resolución y a la forma de las unidades espaciales de análisis, cuando se utilizan datos espacialmente agregados.

Por diversas razones, de naturaleza jurídica o práctica, es difícil obtener datos individuales, por lo que habitualmente es necesario recurrir a información agregada en divisiones administrativas de diversos niveles y tamaños. En estos casos, los valores de los índices están afectados, inexorablemente, por el conocido problema de la "unidad espacial modificable" (PUEM).

Para comprender mejor las relaciones entre los procesos sociales y las formas espaciales en que se desarrollan, así como para construir políticas y soluciones de planeamiento más ajustadas a los problemas, se han elaborado nuevos métodos de análisis de las configuraciones espaciales que han enriquecido considerablemente el tradicional acervo metodológico y técnico de la geografía y de las ciencias sociales en general.

Una nueva oleada de métodos y técnicas ha arribado recientemente al ámbito de los estudios del fenómeno urbano, entre los que destacan las medidas multiescala, algunas tan populares como las fractales y la *lagunaridad*<sup>1</sup>. Este método ha pasado desde la "ecología del paisaje" a las ciencias sociales y a la geografía, donde se utiliza para medir y caracterizar la heterogeneidad y textura del espacio urbano, entre otros objetivos. Sin embargo, para estos propósitos su uso es aún muy reducido, y no se conoce completamente la validez de su aplicación, ni los resultados en función de los cambios del tamaño y forma de las unidades y de los patrones de distribución espacial.

En demasiadas ocasiones nuestra irrefrenable tendencia a replicar procedimientos de análisis de manera acrítica e indiscriminada, y la fascinación ejercida por los propios medios de cálculo, se confabulan para empañar la necesaria transparencia exigible a cualquier aplicación de una técnica analítica. Parece pertinente, por tanto, explorar la influencia de algunos factores en el alcance y validez de la *lagunaridad*, aplicada a la medida de la segregación socioespacial.

## 2. La segregación socioespacial y su medición

El estudio de la formación y significado de nociones como *identidad* y *pertenencia* a una raza, etnia o grupo social es uno de los temas recurrentes de las ciencias sociales. Con ellos entronca directamente el concepto de segregación socioespacial, que es uno de los más prolíficos y controvertidos del conocimiento geográfico de las ciudades. El interés por su estudio científico y por su significado práctico se ha acrecentado recientemente, debido a la efervescencia de los cambios socioeconómicos y culturales que se están produciendo en todas las grandes ciudades del mundo, causados, en gran medida, por la extraordinaria magnitud de los movimientos migratorios. En efecto, categorías como *multiculturalidad*, *diversidad cultural*, *integración social* y *étnica*, *segregación socioespacial* y otras de corte similar, son moneda corriente, tanto en los medios de comunicación social como en los análisis científicos, que se utilizan para describir la nueva realidad social de muchas ciudades.

En términos generales la expresión *segregación socioespacial residencial* designa al modo de distribución espacial de los individuos de diversos grupos en una ciudad, clasificados por atributos como la raza, la profesión o el nivel de renta. En forma alguna cabe identificar la segregación socioespacial con una simple medida de concentración o dispersión espacial. Al contrario, se trata de una noción compleja que se relaciona con múltiples aspectos sociales, económicos, culturales y del paisaje de las ciudades (Machado, 2001; Gaschet y Le Gallo, 2005). No pretendo detallar aquí el estado de la cuestión, pues existen síntesis excelentes como la de Schnell y Ostendorf (2002).

Uno de los principales problemas del uso de este concepto radica en la dificultad de su medición que deriva de la naturaleza compleja, tanto de su composición temática como de los patrones espaciales que adopta. Massey y Denton (1988) identificaron una veintena de índices para su medición agrupados en cinco dimensiones básicas: *evenness* (desigualdad de la distribución espacial de la población del área de estudio), *exposure* (medida del contacto e interacción potencial entre individuos o grupos), *concentration* (grado de ocupación relativa del espacio físico), *centralization* (proximidad de un grupo social al centro urbano), y *clustering* (medida de la localización de la residencia de un grupo en áreas contiguas).

Algunos índices miden la segregación residencial, o mejor, alguna de sus dimensiones, a escala local y otros proporcionan un valor global. Sin embargo, la mayoría de ellos se calcula a partir de datos individuales agregados en unidades espaciales de distintos niveles (secciones, distritos, municipios u otras delimitaciones administrativas o estadísticas). En estos casos los resultados están afectados por alguno de los componentes del PUEM, a saber: por la resolución de las unidades de análisis (escala) o por la forma de agregación de las mismas (zonificación) (Wong, 1997). En consecuencia, los resultados de los índices dependen, en grado variable, de las unidades de análisis utilizadas, por lo que las comparaciones son difíciles, cuando no imposibles. Por ejemplo, trabajos empíricos y simulaciones han demostrado que algunos índices empleados habitualmente para medir la segregación, como el índice *D* de similitud de Duncan y Duncan (1955), son muy sensibles a las variaciones de la escala y zonificación (Wong, 1993). Un buen resumen de los métodos más utilizados se encuentra en Checa (2006).

Para obviar o limitar en la medida de lo posible los efectos del PUEM, se han propuesto diversas soluciones, la mayoría de índole metodológica. Habida cuenta de que los patrones espaciales influyen notablemente en el grado y en los efectos de la segregación socioespacial, se han desarrollado varias medidas de la segregación que son sensibles a las configuraciones espaciales. Algunas utilizan datos individuales (Benenson y Omer, 2002); otras derivan de la teoría de la información (Reardon y O'Sullivan, 2004; Reardon *et al.*, 2006); unas terceras giran en torno a la autocorrelación espacial. La mayoría de estos índices presentan dos problemas fundamentales: por una parte, constan de un único valor, que no es capaz de retener las variaciones espaciales asociadas a los cambios de escala y, por otra, el mismo valor puede estar producido por mosaicos espaciales diferentes. Los índices de *lagunaridad* pueden constituir un método alternativo para medir la heterogeneidad de la textura de las distribuciones espaciales a varias escalas.

### 3. Objetivos: la influencia de la resolución de las unidades de análisis en la medida de la lagunaridad

La noción de *lagunaridad* fue propuesta por Mandelbrot (1982) como una medida complementaria para caracterizar estructuras geométricas con la misma *dimensión fractal*, pero con diferente textura. La *lagunaridad*, que deriva del vocablo latino "lacuna", es una medida de la distribución de los espacios vacíos en una estructura geométrica; de forma más precisa: la *lagunaridad* mide la desviación de una estructura geométrica de una invarianza traslacional (Gefen *et al.*, 1983). El uso de esta medida ha desbordado su marco original y se utiliza también para describir estructuras no fractales. En términos generales la *lagunaridad* es una medida analítica multiescala de la heterogeneidad o textura de una distribución espacial (Plotnick *et al.*, 1993).

En efecto, los índices de *lagunaridad* se han empleado para caracterizar configuraciones espaciales en diferentes disciplinas, como la biología y la medicina (Losa *et al.*, 2005), y especialmente en ecología del paisaje, en cuyo ámbito además se han realizado evaluaciones metodológicas de la *lagunaridad* y otras medidas multiescala (Plotnick *et al.*, 1996; Dale, 2000; Peralta y Mather, 2000; Saunders *et al.*, 2005).

En estudios territoriales y urbanos la aplicación de la *lagunaridad* está todavía en mantillas. Se ha utilizado para interpretar distintos tipos de imágenes de teledetección (Henebry y Kux, 1995; Dong, 2000; Greenhill *et al.*, 2003), para modelar la dinámica territorial (Sui y Zeng, 2000), para caracterizar el espacio construido (Barros y Sobreira, 2005; Alves y Barros, 2006) y para medir la segregación espacial étnica y socioeconómica (Wu y Sui, 2001 y s/f).

Todavía no existen estudios teóricos ni análisis empíricos suficientes para conocer la capacidad, las ventajas y los inconvenientes del uso de la *lagunaridad* como medida de la segregación socioespacial. El citado trabajo de Wu y Sui (s/f) sobre la segregación residencial concluye que la métrica de la *lagunaridad* captura, de forma más eficiente que los métodos tradicionales, las variaciones multiescala del fenómeno.

Sin embargo, Reardon y sus colegas señalan varias insuficiencias del método de Wu y Sui (s/f). Algunas objeciones que plantean no me parece que tengan calado suficiente como para desechar la *lagunaridad* como medida de la segregación residencial. Por ejemplo: la densidad (que no se considera en el trabajo de Wu y Sui) se puede incorporar como factor de ponderación de cualquier indicador de segregación socioespacial y, posteriormente, describir la distribución resultante con índices de *lagunaridad*; el coeficiente de variación, utilizado para calcular la *lagunaridad*, podría ser sustituido por otro estadístico; la forma cuadrada de la ventana móvil empleada para definir la vecindad espacial, podría sustituirse por otra, aunque en planos ortogonales, como es el caso de Santiago, puede ser muy apropiada.

Más fundamentales son las variaciones de la *lagunaridad* causadas por los componentes y relaciones que intervienen en su cálculo. La *lagunaridad* es una función de la distribución geométrica de los objetos en el espacio, de la fracción ocupada de un espacio dado, y de la escala en que se mida (Plotnick *et al.*, 1993 y 1996; Dale, 2000).

Es lógico suponer que la resolución de las unidades espaciales de análisis influirá en las variaciones de la *lagunaridad*, en tanto que puede modificar la geometría de los objetos, una de las fuentes de variación de esta medida. No se han llevado a cabo aún investigaciones para conocer la dirección y alcance de esta influencia en el tema que nos ocupa.

Los objetivos de este trabajo consisten, precisamente, en explorar las posibles variaciones de los índices y estructura de las curvas de *lagunaridad* producidas por los cambios del tamaño y zonificación de las unidades de análisis, por una parte y, por otra, estimar la utilidad de este método para medir la segregación socioespacial a múltiples escalas, aplicado a datos de la ciudad de Santiago (Chile).

#### 4. Metodología y datos

Se han desarrollado varios métodos para calcular la *lagunaridad* de la textura de un objeto, tanto si se trata de elementos distribuidos en un transepto, en una superficie o son de naturaleza volumétrica (Mandelbrot, 1982; Gefen *et al.*, 1983; Lin y Yang, 1986; Tolle *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista operativo, el algoritmo más utilizado es el de "ventanas móviles", propuesto por Allain y Cloitre (1991) y difundido a partir del trabajo de Plotnick *et al.* (1993). Por lo demás, este procedimiento está implementado en la mayoría de los programas informáticos dedicados al análisis de imágenes, y en los sistemas de información geográfica (SIG).

El método consiste en situar una ventana de dimensiones  $r \times r$  ( $r=2$ ) en el píxel superior izquierdo de una imagen de tamaño  $M$ , y obtener la "masa" ( $S$ ) correspondiente a esa ventana. Si se trata de una imagen binaria, la masa equivale al número de píxeles ocupados, es decir los que tienen valor 1; si es una variable continua, la masa se puede obtener con la suma de los valores. A continuación, la ventana se mueve a la siguiente columna de la primera fila y se calcula de nuevo la masa de la ventana para esa posición. La operación se repite para todas las filas y columnas de la imagen. Con los datos registrados se construye la distribución de frecuencias de las masas de la ventana  $n(S,r)$ ; esta distribución de frecuencias se transforma en una distribución de probabilidad  $Q(S,r)$  dividiendo cada valor de frecuencia por el número de ventanas  $N(r)$ .

$$Q(S,r) = n(S,r) / N(r) \quad N(r) = (M - r + 1)^2$$

El primer y el segundo momento,  $Z(1)$  y  $Z(2)$ , de esta distribución se definen:

$$Z(1) = \sum SQ(S,r) \\ Z(2) = \sum S^2Q(S,r)$$

La *lagunaridad* expresa la relación entre estas dos magnitudes:

$$\Lambda(r) = Z(2) / Z^2(1)$$

El primer momento se puede describir también por la media aritmética,  $E(s)$ , y el segundo por la varianza,  $Var(S)$ , de las masas:

$$Z(1) = E(S)$$

$$Z(2) = \text{Var}(S) + E^2(S)$$

Como resultado, la *lagunaridad* se expresa (Plotnick *et al.*, 1993, 202-204):

$$\Lambda(r) = 1 + (\text{Var}(S) / E^2(S))$$

Sin embargo, una sola medida de la *lagunaridad* obtenida a partir de una ventana móvil de un único tamaño es insuficiente para retener las variaciones multiescala de la textura de un objeto, y carece de valor para comparar diferentes configuraciones espaciales. Precisamente, una de las ventajas de esta medida se encuentra en la posibilidad de tener una colección de índices calculados para ventanas de varios tamaños con el mismo método antes descrito (Plotnick *et al.*, 1993, 204).

Wu y Sui (s/f) han propuesto una secuencia de operaciones para calcular la *lagunaridad* con el programa ArcView, que han aplicado a datos empíricos para estimar la segregación residencial étnica y socioeconómica en la ciudad de Houston. En este trabajo he seguido el mismo procedimiento, organizando las operaciones de conversión vector-raster y de cálculo de vecindad en un modelo simple implementado en el programa ArcGis 9.1.

Es importante advertir que para obtener datos correctos es necesario delimitar el área de trabajo mediante un polígono o una hoja raster cuando se aplican las funciones de vecindad, o de lo contrario las ventanas móviles extienden los valores calculados más allá de la zona original de estudio, lo que produce resultados inconsistentes en los índices de *lagunaridad*. Por la misma razón, es conveniente minimizar las áreas "sin datos" dentro de los límites del estudio. Estas restricciones no se explicitan en el citado artículo de Wu y Sui.

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, se han utilizado datos de la ciudad de Santiago (Chile) correspondientes a la distribución espacial de tres categorías profesionales medidas en otros tantos niveles administrativos: zonas, distritos y comunas. Las variables seleccionadas, "profesionales", "técnicos" y "personas no cualificados de los servicios", lo han sido porque presentan diferentes configuraciones espaciales: "sectorial", "radial" y "periférica" respectivamente, y suelen formar parte en los indicadores de segregación ([figura 1](#)).

Cada representación vectorial se ha convertido en una hoja raster de 352 filas por 315 columnas y una resolución de 100 metros. A cada hoja raster se le ha aplicado la función de vecindad "suma" con ventanas móviles de 2 píxeles de lado y sucesivas potencias de 2 hasta 256 (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 y 256) ([figura 2](#)). De cada imagen se han registrado la media,  $E(S)$  y la desviación típica,  $DT(S)$ , con las que se ha calculado la *lagunaridad*.

$$\Lambda(r) = 1 + (DT^2(S) / E^2(s))$$

Los valores de las variables expresan el porcentaje de cada categoría de ocupación respecto del total de ocupados, y proceden del Censo de Población de 2002 (Instituto Nacional de Estadística), extraídos mediante el programa informático REDATAM. Los datos generales de la investigación se resumen en la [tabla 1](#).

La categoría "profesionales" engloba los siguientes códigos de la tipología censal: 21. Profesionales de las ciencias físicas, químicas y matemáticas y de la ingeniería; 22. Profesionales de las ciencias biológicas, la medicina y la salud; 23. Profesionales de la enseñanza; 24. Otros profesionales científicos e intelectuales. La categoría "técnicos" comprende los códigos: 31. Técnicos y profesionales de nivel medio de las ciencias físicas y químicas, la ingeniería y afines; 32. Técnicos y profesionales de nivel medio de las ciencias biológicas, la medicina y salud; 33. Maestros e instructores técnicos; 34. Otros técnicos. La categoría "no cualificados" se corresponde con el código 91. Trabajadores no cualificados de ventas y servicios.

## 5. Valoración de los resultados

Una de las características más sobresalientes de la estructura socioeconómica de las grandes urbes latinoamericanas es su alto grado de segregación socioespacial. Tanto es así, que se ha consolidado un modelo de ciudad dual en el que destaca la presencia de un sector de clases acomodadas, que se desarrolla desde el centro histórico hasta la periferia en torno a uno o varios ejes de circulación radial (Villaça, 1998; Preteceille y Queiroz, 1999; Rubalcava y Schteingart, 2000; Torres, 2001; Arriagada y Rodríguez, 2003; Peters, 2005).

Todos los modelos elaborados sobre la ciudad latinoamericana incorporan este sector como rasgo distintivo de su estructura y organización socioespacial, desde los más tempranos (Gormsen, 1981; Bähr y Mertins, 1993; Ford, 1996) hasta los más recientes (Borsdorf, 2003). Esta "cuña" se reconoce en todas las grandes metrópolis latinoamericanas especialmente en Santiago (Ortiz y Schiapacasse, 1997; Ortiz y Aravena, 2002; Borsdorf e Hidalgo, 2004).

Si bien esta fuerte segregación socioespacial se puede constatar mediante un simple paseo por la ciudad de Santiago, resulta más difícil medir con precisión su intensidad y variaciones en el tiempo y en el espacio. Casi todos los trabajos realizados para calcular la segregación socioespacial lo han hecho mediante índices "clásicos", y han utilizado como unidades de análisis, casi exclusivamente, delimitaciones administrativas, generalmente las comunas.

Por estas y otras razones, como la diversidad de variables e indicadores de la segregación construidos, es prácticamente imposible trazar una imagen consistente de la evolución temporal y de la configuración espacial de la segregación residencial en Santiago.

Por otra parte, los estudios destacan la persistencia de la escala y de los patrones espaciales de la segregación. En efecto, la dicotomía antes citada se manifiesta de forma muy pertinaz a todas las escalas y apenas si ha variado durante mucho tiempo. Sin embargo, el modelo tradicional de segregación está cambiando, tal y como afirman Sabatini *et al.* (2001): "El patrón de segregación residencial tradicional de las ciudades chilenas, es también el de la mayoría de las ciudades latinoamericanas, se está transformando desde hace un par de décadas en dos sentidos principales: está cambiando su "escala geográfica" y está aumentando su "malignidad". La transformación en curso consiste en la reducción de la escala geográfica de la segregación en algunas zonas internas de las ciudades, y su ampliación en otras. Por otra parte, las consecuencias más bien perjudiciales que

la segregación espacial de los pobres siempre se han agudizado en las últimas décadas. Incluso, los efectos positivos que excepcionalmente ella tenía están desapareciendo. Por eso hablamos de la malignidad que está cobrando la segregación".

Me parece que la *lagunaridad* puede ser una medida apropiada para corroborar y evaluar esta hipótesis enunciada por Sabatini y sus colegas. Los resultados que ahora presentamos no persiguen tanto conocer el contenido y significado socioespacial de los índices, como comprobar la capacidad del método para aprehender la heterogeneidad espacial de los "paisajes" de la segregación.

### 5.1. Acerca de la interpretación de los índices de *lagunaridad*

La interpretación de los índices de *lagunaridad* no es simple ni evidente, pues la textura de las distribuciones espaciales sintetiza propiedades como la lejanía, la proximidad, la densidad, la dispersión, la permeabilidad... de los objetos en un espacio dado.

En general, cuando los vacíos de una estructura geométrica son de tamaño similar y se hallan distribuidos regularmente, la *lagunaridad* es baja. Al contrario, para la misma proporción de espacio de estudio ocupado, cuando las discontinuidades son de tamaño variable y se localizan de forma irregular, la *lagunaridad* es alta.

Los índices de *lagunaridad* se suelen representar en un gráfico bilogarítmico, con los valores de la *lagunaridad*,  $\ln\Lambda(r)$ , en el eje de ordenadas y los de la longitud del lado del píxel,  $\ln(r)$ , en el de abscisas.

El valor más elevado de *lagunaridad* se localiza al inicio de la curva, cuando se mide a la resolución original de la imagen (lado del píxel= 1;  $\ln(1) = 0$ ) y es una función de la proporción de espacio ocupado, o sea de la densidad; dicho valor es independiente del tamaño total del área de estudio y de los patrones espaciales generales. Esta propiedad es intrínseca al método de cálculo de ventanas móviles (Plotnick *et al.*, 1993). En el otro extremo de la curva, la *lagunaridad* tiende a 0 a medida que el tamaño de la ventana se aproxima al de la imagen ( $r = M$ ); entonces  $\ln\Lambda = 0$  debido a que la varianza es igual a 0.

Las configuraciones espaciales cuyos vacíos se distribuyen aleatoriamente producen curvas de *lagunaridad* cóncavas. En cambio, las curvas convexas reflejan texturas compuestas por vacíos agrupados y de tamaños diversos, y suelen tener altos valores de *lagunaridad*. Una línea recta representa una distribución totalmente regular (invarianza traslacional), pues la proporción de los vacíos es constante en cualquier localización y para cada tamaño de la ventana móvil.

En la [figura 3](#) hemos representado algunos modelos simples de distribuciones espaciales y sus correspondientes diagramas de *lagunaridad*. El modelo "central" presenta índices más elevados, puesto que los valores más altos se agrupan de forma compacta en el centro y dejan en su entorno un anillo de valores más bajos. En el modelo "sectorial" los valores más altos también se localizan juntos, pero en disposición axial, lo que da lugar a que su envolvente tenga mayor longitud que en

el caso anterior. El modelo "periférico" y el "radial" producen un perfil similar al de una distribución aleatoria.

## 5. 2. Las variaciones de la lagunaridad en relación con el tamaño de las unidades de análisis

Los índices de lagunaridad calculados para cada clase de ocupación en cada uno de los tres niveles administrativos se han representado en los gráficos de la [figura 4](#). Como era de esperar, cada tipo de ocupación traza una signatura gráfica diferente, que refleja texturas espaciales distintas. Los rasgos fundamentales de los datos obtenidos se pueden sistematizar en las siguientes consideraciones.

1. Todas las categorías de ocupación muestran curvas de lagunaridad propias de distribuciones espaciales no aleatorias, ya que su forma es convexa o rectilínea, pero no cóncava. Estos perfiles traducen la existencia de vacíos de tamaño heterogéneo e irregularmente localizados; o a la inversa: los valores presentan concentraciones de extensión y grado variables, que forman patrones espaciales diversos.
2. Las curvas netamente convexas corresponden a la ocupación "profesionales", que a su vez arroja los valores más altos de lagunaridad a todas las escalas. En efecto, la textura espacial de esta distribución es la más alejada de una configuración aleatoria, y los valores y vacíos forman jerarquías y agrupaciones espaciales. Distinto es el caso de los "técnicos", cuyo perfil de lagunaridad asciende ligeramente con la escala, hasta registrar el valor más elevado en la transformación con una ventana de unos 3.200 metros de lado (32 píxeles de lado); por debajo de este tamaño los vacíos y los valores presentan una distribución espacial bastante homogénea y forman núcleos de tamaño muy similar. Los índices de lagunaridad de los "no cualificados" se disponen siguiendo aproximadamente una recta, perfil típico de patrones espaciales dispersos y muy regulares, similares en todas las escalas.
3. Las diferencias de los índices de lagunaridad de cada una de las zonificaciones son mayores en las distribuciones cuya lagunaridad es baja en todas las escalas. Como se muestra en los gráficos, las curvas de lagunaridad de los "profesionales" están más próximas entre sí que las correspondientes a los "técnicos" y a los ocupados "no cualificados". A partir de los datos elaborados en este artículo parece que la lagunaridad es más sensible a los cambios de tamaño de las unidades de análisis cuando las distribuciones tienen valores de lagunaridad bajos.
4. Tal vez la aseveración más importante que cabe realizar respecto a los resultados es que las curvas de lagunaridad son consistentes aunque cambie el tamaño de las unidades de análisis. En efecto, la variación del tamaño -zonas, distritos, comunas- de las unidades de análisis produce valores de lagunaridad distintos, pero no altera la estructura de los mismos. En todos los casos las curvas son paralelas y reflejan texturas espaciales similares, excepto en la trayectoria de los ocupados "profesionales" medidos por comunas. Esta última línea asciende a medida que crece el tamaño de la ventana, y además se cruza con las otras dos. La intersección ocurre cuando la ventana alcanza el valor de 1.600 metros de lado, lo que indica que la

*lagunaridad* es más elevada cuando se mide a partir de las comunas, y sólo por encima de este tamaño de ventana en la que encaja muy bien el sector nororiental de máxima concentración de valores. Este hecho tiene especial interés, y es incluso sorprendente, pues refleja muy bien el conocido y persistente modelo de segregación socioespacial a pequeña escala (de la ciudad en conjunto), al que me he referido al inicio de este apartado. Sin embargo, si se comparan los valores de *lagunaridad* de las comunas con los de las zonas y los distritos, parece que el uso de las comunas sobreestima la segregación, ya que incrementan, de forma "artificial", la concentración de los valores más altos del sector nororiental ([figuras 1](#) y [figura 2](#)).

5. Como se ha apuntado, los valores de *lagunaridad* varían con el tamaño de las unidades espaciales de análisis. En las categorías de ocupación "técnicos" y "no cualificados" las unidades más pequeñas y numerosas (las zonas) arrojan índices de *lagunaridad* más elevados en todas las escalas. Sin embargo, en el caso de los "profesionales" la *lagunaridad* más alta corresponde a los distritos, hasta el tamaño de ventana de 1.600 metros de lado; a partir de esta escala son las comunas las que ocupan ese lugar. Conviene recordar que los "profesionales" tienen índices de *lagunaridad* más elevados, pues se inician en torno a  $\ln\Lambda(1) = 0,6$ , frente a los valores de los "técnicos" y "no cualificados" que lo hacen alrededor de  $\ln\Lambda(1) = 0,2$ . Seguramente, estas variaciones de la *lagunaridad* son menores que las que registran la mayoría de los índices habitualmente utilizados para medir la segregación, a lo que habría que añadir la coherencia multiescala que mantienen los datos de la *lagunaridad*, cualquiera que sea el tamaño de las unidades de análisis.
6. Una forma simple de resumir y sistematizar las principales variaciones de la estructura de la *lagunaridad* es la siguiente:

	Incremento del tamaño de las unidades de análisis	Incremento del tamaño de la ventana de cálculo (r)
Concentración espacial mediana o alta ( <i>profesionales</i> )	<i>Lagunaridad: valores asistemáticos</i>	<i>Lagunaridad: decrece</i> (excepto cuando las unidades son las comunas)
Concentración espacial mediana o baja ( <i>no cualificados, técnicos</i> )	<i>Lagunaridad: decrece</i>	<i>Lagunaridad: crece</i>

Estos resultados describen bien las configuraciones espaciales de los mapas de la [figura 1](#). Como se aprecia en los mismos, la concentración espacial de los "profesionales" es mayor en todas las escalas, seguida de la de los ocupados "no cualificados". Los "técnicos" presentan una concentración baja y una distribución espacial netamente radial en las *zonas*, que se desvanece con el incremento de la resolución (distritos, comunas) al tiempo que se incrementa la concentración; en este caso las unidades espaciales de análisis sí que cambian significativamente el grado de concentración y los patrones espaciales de la variable, lo que es reflejado perfectamente por las curvas de *lagunaridad*.

7. Por supuesto, para verificar la hipótesis de Sabatini *et al.* (2001) son necesarios datos y medidas temporales de las mismas variables registradas, estrictamente, en las mismas unidades espaciales. Ello no obstante, conocidos los rasgos fundamentales de la segregación residencial en Santiago, los índices de *lagunaridad* confirman la persistencia de valores de segregación muy elevados a pequeña escala (unidades de análisis grandes), es decir, utilizando las comunas como unidades de análisis no se podría aceptar tal hipótesis para las variables estudiadas. Sin embargo, a otras escalas, en especial a mesoescala, en especial cuando se usan los distritos como unidades de análisis, las curvas de *lagunaridad* son consistentes con dicha hipótesis en el caso de los "profesionales" y, en menor grado, con los ocupados "no cualificados", o sea, con las actividades que presentan valores de segregación más elevados.

## 6. Conclusiones

La gran trascendencia general que en los procesos sociales adquieren los patrones espaciales en que se manifiestan, corre pareja con las dificultades para caracterizarlos y medirlos. Sin duda se necesitan métodos analíticos capaces de describir la heterogeneidad de la textura de los paisajes urbanos a todas las escalas. La *lagunaridad* puede sumarse a la panoplia de técnicas disponibles para esta finalidad. Por otro lado, su cálculo es relativamente fácil con las funciones disponibles en los SIG y otros programas de análisis de información espacial, lo que no es nada desdeñable.

De los datos aquí analizados se desprende que la *lagunaridad* capta muy bien los patrones espaciales, independientemente de la densidad media. Además es una medida muy resistente a los cambios del tamaño de las unidades de análisis: cuando cambian éstas, también lo hacen los valores de *lagunaridad*, pero la estructura es muy estable. De aquí se desprende que para comparar índices de *lagunaridad*, sincrónicos o diacrónicos, se han de utilizar idénticas unidades de análisis; en cambio, es posible comparar las formas generales de curvas de *lagunaridad* producidas por unidades de análisis diferentes, aunque es aconsejable que no sean muy dispares.

Una de las ventajas principales de la *lagunaridad* se encuentra en su capacidad para medir patrones espaciales a todas las escalas, desde la resolución original hasta el tamaño completo del área de estudio. En este sentido, un solo valor de *lagunaridad*, lo mismo que los índices únicos, es insuficiente para caracterizar la heterogeneidad de las texturas espaciales a todas las escalas (Plotnick *et al.*, 1993: 208). De manera análoga, para medir y evaluar el grado y significación de la segregación socioespacial, me parece conveniente construir curvas de *lagunaridad* con diferentes zonificaciones.

En el caso de Santiago, los valores y la estructura de los índices de *lagunaridad* permiten medir la forma, intensidad y, con los datos espacio-temporales apropiados, la evolución de la segregación residencial, de manera más precisa y sólida que otras técnicas y, lo que es fundamental, a varias escalas.

Por supuesto, que la complejidad de la textura de los paisajes urbanos, físicos y sociales, no puede ser descrita exclusivamente en términos de vacíos y agrupaciones. Sin embargo, las medidas de *lagunaridad* cuantifican características fundamentales de dichas texturas y, por tanto, pueden servir para explorar las relaciones que mantienen las configuraciones espaciales y los procesos sociales. En el caso de la segregación residencial socioeconómica, las facilidades para encontrar trabajo, disponer de servicios y equipamientos, o la probabilidad de relacionarse con personas de otros grupos y estamentos sociales, dependen, a veces en gran medida, de los patrones espaciales y de la escala que adquiera la segregación.

## Bibliografía

- Allain, C. y Cloitre, M. (1991): "Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets", *Physical Review*, 44, 3552-3558.
- Alves, S. y Barros, M. (2005): *Enhancing urban analysis through lacunarity multiscale measurement*, Working Paper, n° 97, Centre for Advanced Spatial Analysis, CASA, UCL, ISSN: 1457-1298. Disponible en URL: [http://www.casa.ucl.ac.uk/working\\_papers/paper97.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper97.pdf)
- Arriagada, C. y Rodríguez, J. (2003): *Segregación residencial en áreas metropolitanas de América Latina: magnitud, características, evolución e implicaciones de política*, Santiago de Chile, CELADE-División de Población, UNFPA.
- Bähr, J. y Mertins, G. (1993): "La ciudad en América Latina", *Población y Sociedad*, 1, 5-14.
- Barros, M. y Sobreira, F. (2005): *Assessing Texture Pattern in Slum Across Scales An Unsupervised Approach*, Working Paper, n° 87, Centre for Advanced Spatial Analysis, CASA, UCL. Disponible en URL: <http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingPaperDetail.asp?ID=87>
- Benenson, I. y Omer, I. (2002): "Measuring Individual Segregation in Space, A Formal Approach and Case Study", en Schnell, I, y Ostendorf, W, (eds.): *Studies in Segregation and Desegregation*, Adershot, Ashgate, pp. 11-38.
- Borsdorf, A. (2003): "Como modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana", *Eure*, v, 29, (86), 37-49.
- Borsdorf, A. e Hidalgo, R. (2004): "Formas tempranas de exclusión residencial y el modelo de la ciudad cerrada en América Latina, El caso de Santiago", *Norte Grande*, 32, 21-37.
- Checa, J. L., (2006): *La diferenciación residencial, Concepto y modelos empíricos para su comprensión*, Granada, Comaes.
- Dale, M. R. T. (2000): "Lacunarity analysis of spatial Pattern: A comparison", *Landscape Ecology* 15, 467-478.
- Dong, P. (2000): "Test of a new lacunarity estimation method for image texture analysis", *International Journal of Remote Sensing*, 21 (17), 3369-3373.
- Duncan, O. D. y Duncan, B. (1955): "A methodological analysis of segregation indices", *American Sociological Review*, 20, 210-217.
- Ford, L. (1996): "A new and improved model of Latin American city structure", *Geographical Review*, 86 (3), 437 – 440.
- Gaschet, F. y Le Gallo, J. (2005): "The Spatial dimension of Segregation, A Case Study of Four French Urban Areas, 1990-1999", en *45<sup>th</sup> Congress of the European Regional Science Association*, The Netherlands, University of Amsterdam.
- Gefen, Y., Meir, Y. y Aharony, A. (1983): "Geometric implementations of hipercubic lattices with noninteger dimensionality by use of low lacunarity lattices", *Physical Review Letters*, 50, 145-148.

Escolano Utrilla, S. (2007): "La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad", *GeoFocus (Artículos)*, n° 7, p. 216-234. ISSN: 1578-5157

---

- Gormsen, E. (1981): "Die Städte in Spanisch-Amerika, Ein zeit-räumliches Entwicklungsmodell der letzten hundert Jahre", *Erkunde*, 35, (4), 290-303.
- Greenhill, D., Ripke, L. T., Hitchman, A. P., Jones, G. A. y Wilkinson, G. G. (2003): "Use of lacunarity index to characterize suburban areas for land use planning using IKONOS-2 imagery", *Proc, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society/International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN 2003), 22-23 May, IEEE, 294-298.
- Henebry, G. M. y Kux, H. J. H. (1995): "Lacunarity as a texture measure for SAR imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 16, 565-571.
- Jargowsky, P. A. y Kim, J. (2004): *A Measure of Spatial Segregation, The generalized Neighborhood Sorting Index*, Political Economy Working Paper 10/04, School of Social Sciences, Dallas, University of Texas.
- Lin, B. y Yang, Z. R. (1986): "A suggested lacunarity expression for Sierpinski carpets", *Journal Physics A*, 19, L49-L52,
- Losa, G. A., Merlini, D., Nonnenmacher, Th. y Weibel, E. R. (eds) (2005): "Fractals in Biology and Medicine", vol IV (Mathematics and biosciences in Interaction), Basilea, V. Birkhäuser.
- Machado, E. (2001): "Urban spatial Segregation and Social Differentiation: Foundation for a Typological Analysis", *International Seminar on Segregation in the City*, CP01A03.
- Mandelbrot, B. B. (1982): *The Fractal Geometry of Nature*, Nueva York, N. H. Freeman.
- Massey, D. S. y Denton, N. A. (1998): "The dimensions of residential segregation", *Social Forces*, 67, 281-315.
- Ortiz, J. y Schiapacasse, C. (1997): "Las migraciones intraurbanas y su impacto en la diferenciación del espacio social del Gran Santiago", *Revista Geográfica Terra Australis*, 42, 121-138.
- Ortiz, J. y Aravena, A. E. (2002): "Migraciones intraurbanas y nuevas periferias en Santiago de Chile: Efectos en la sociogeografía de la ciudad", *GeoFocus (Artículos)*, 2, 49-60.
- Peralta, P. y Mather, P. (2000): "An analysis of deforestation patterns in the extractive reserves of Acre, Amazonia from satellite imagery: a landscape ecological approach", *International Journal of Remote Sensing*, 21, (13-14), 2555-2570.
- Peters, P. A. (2005): "Fragmentation of Urban Space in Latin America: A GIS approach to the analysis of segregation in Lima", en Garcia, R., Abarca, K., López, I. y Biere, R. (eds.) *Libro de Ponencias: 2do Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual*, Concepción, Chile, Ediciones Universidad Bio Bio, pp. 92-96.
- Plotnick, R. E., Gardner, R. H. y O'Neill, R. V. (1993): "Lacunarity indices as measure of landscape texture", *Landscape Ecology*, 8 (3), 201-211.  
Disponible en URL: <http://forestlandscape.wisc.edu/LandscapeEcology/v08i03.htm>
- Plotnick, R., Garner, R. H., Hargrove, W., Prestegard, K. y Perlmutter, M. (1996): "Lacunarity analysis: a general technique for the analysis of spatial patterns", *Physical Review E*, 53, 5461-5468.
- Preteceille, E. y Queiroz, L. C. (1999): "Tendencias da segregação social em metrópoles globais e desiguais: Paris e Rio de Janeiro nos anos 80", *Eure*, 25, (76), 79-102.
- Reardon, S. F. y O'Sullivan, D. (2004): "Measures of spatial segregation", *Sociological Methodology*, 34, 121-162.
- Reardon, S. F., Matthews, S. A., O'Sullivan, D., Firebaugh, G. y Farrel, C. R. (2006): *The Segregation Profile: Investigating How Metropolitan Racial Segregation Varies by Spatial Scale*, Working paper 06-01, Population Research Institute, The Pennsylvania State University. Disponible en URL: [http://www.pop.psu.edu/general/pubs/working\\_papers/psu-pri/wp0601.pdf](http://www.pop.psu.edu/general/pubs/working_papers/psu-pri/wp0601.pdf)

Escolano Utrilla, S. (2007): "La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad", *GeoFocus (Artículos)*, n° 7, p. 216-234. ISSN: 1578-5157

---

Rubalcava, R. M. y Schteingart, M. (2000): "Segregación socioespacial", en Gustavo Garza (coordinador), *La Ciudad de México en el fin del segundo milenio*, D.F., Gobierno del Distrito Federal y El Colegio de México, México, pp. 287-296.

Sabatini, F., Cáceres, G. y Cerdá, J. (2001): "Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: Tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción", *EURE*, 27, (82), 21-42.

Saunders, S., Chen, J., Drummer, T., Gustafson, E. y Brosfke, D. (2005): "Identifying scales of pattern in ecological data: a comparison of lacunarity, spectral and wavelet analyses", *Ecological Complexity*, 2, (91), 87-105.

Schnell, I. y Ostendorf, W. (eds.) (2002): *Studies in Segregation and Desegregation*, Aldershot, Ashgate,

Sui, D. y Zeng, H. (2000): "Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen", *Landscape and Urban Planning*, 758, 1-16.

Tolle, C. R., McJunkin, T. R., Rohrbaugh, D. T. y LaViolette, R. A. (2003): "Lacunarity definition for ramified data sets based on optimal cover", *Physica D*, 179, 129-152

Torres, H. A. (2001): "Cambios socioterritoriales en Buenos Aires durante la década de 1990", *Eure*, 27, (80), 33-56.

Villaça, F. (1998): *Espaço intra-urbano no Brasil*, Sao Paulo, Studio Nobel, FAPESP, ULP.

Wong, D. W. S. (1993): "Spatial Decomposition of Segregation Indices: A Framework toward Measuring Segregation at Multiple Levels", *Geographical Analysis*, 35 (3), 179-194.

Wong, D. W. S. (1997): "Spatial Dependency of Segregation Indices", *The Canadian Geographer*, 41 (2), 128-136.

Wu, X. B. y Sui, D. Z. (2001): "An initial exploration of lacunarity-based segregation measures", *Environmental and Planning B*, 28 (3), 433-446.

Wu, X. B. y Sui, D. Z. (s/f, posterior a 2001): "GIS-based Lacunarity Analysis for Assessing Urban Residential Segregation". Disponible en URL:

<http://gis.esri.com/library/userconf/proc02/pap0667/p0667.htm>

## TABLAS

**Tabla 1. Parámetros más importantes de las variables y unidades de investigación**

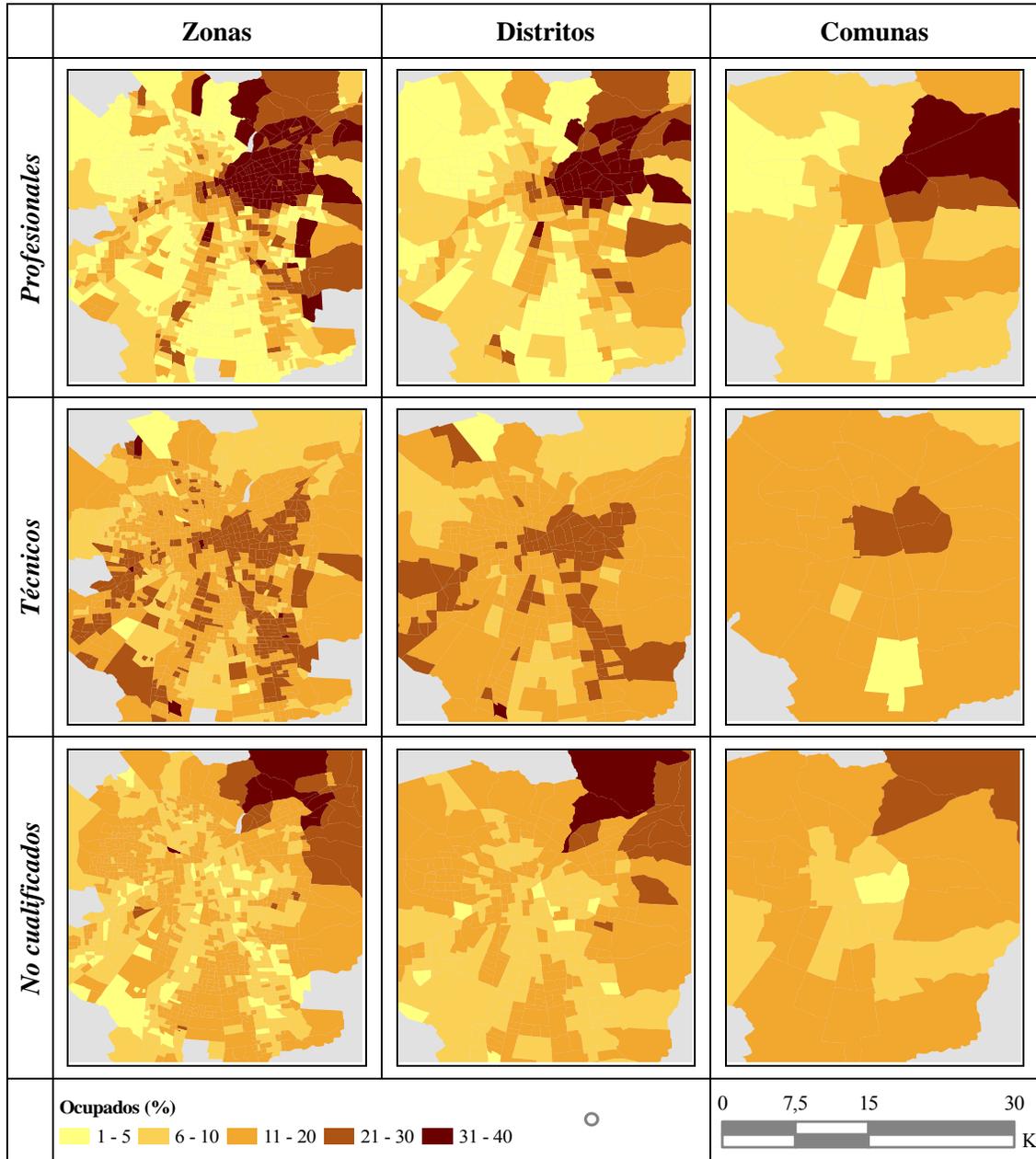
Unidades espaciales de análisis				
<i>Delimitaciones administrativas</i>	<i>Número</i>	<i>Superficie (ha)</i>		
		<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>	<i>Media</i>
<i>Zonas</i>	1.105	25.731,1	9,1	133,2
<i>Distritos</i>	343	62.530,0	38,7	662,6
<i>Comunas</i>	34	102.448,7	626,1	6.684,7
Variables				
<i>Delimitaciones administrativas</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Profesionales</i>	<i>Técnicos</i>	<i>No cualificados</i>
<i>Zonas</i>	Mínimo	0,4	0,7	1,0
	Máximo	41,8	31,9	41,3
	Media	10,3	15,5	11,0
<i>Distritos</i>	Mínimo	0,8	4,9	1,8
	Máximo	40,1	30,4	35,7
	Media	11,0	15,7	11,0
<i>Comunas</i>	Mínimo	1,7	7,5	6,1
	Máximo	37,2	23,0	26,7
	Media	10,6	14,9	11,8

Fuente: INE (2002) *Censo de Población*

Escolano Utrilla, S. (2007): "La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad", *GeoFocus (Artículos)*, n° 7, p. 216-234. ISSN: 1578-5157

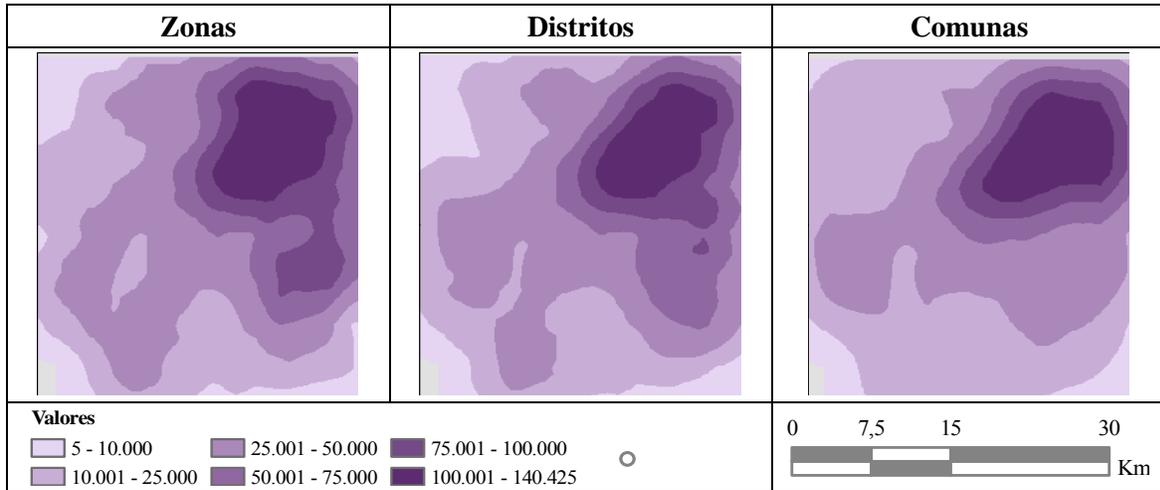
### FIGURAS

**Figura 1. Distribución espacial de los ocupados *profesionales, técnicos y no cualificados* en las zonas, distritos y comunas de Santiago (Chile) en 2002. (%)**

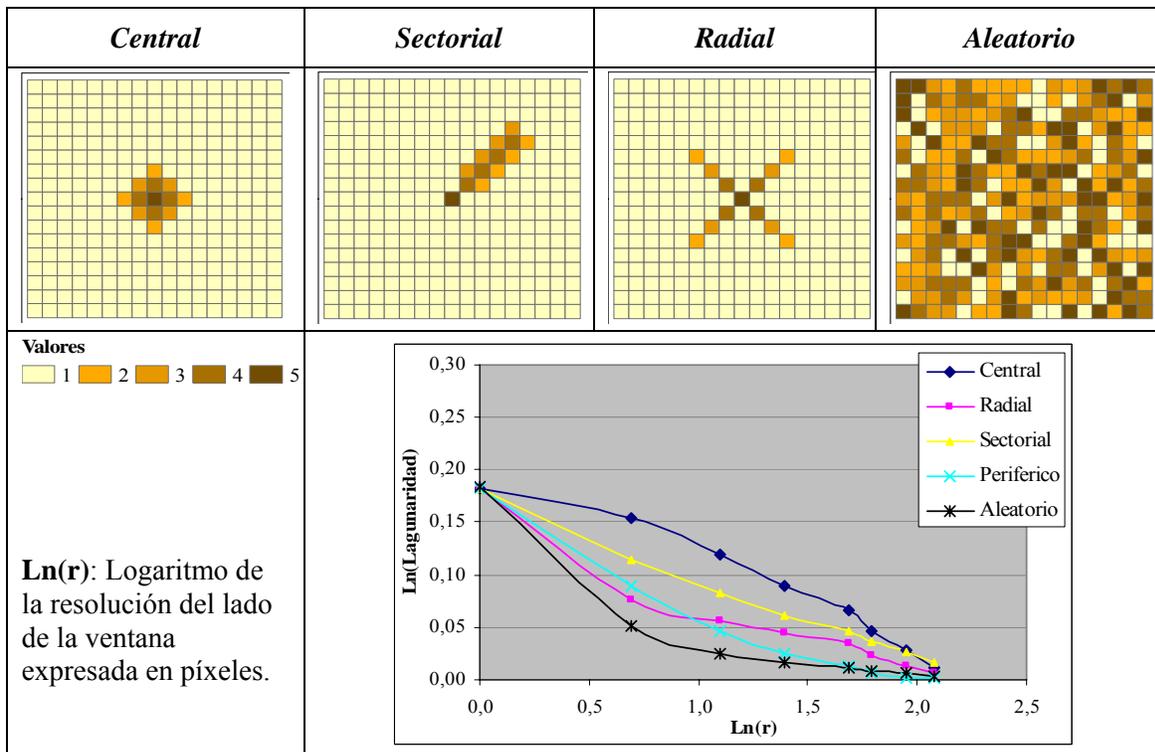


Escolano Utrilla, S. (2007): "La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad", *GeoFocus (Artículos)*, n° 7, p. 216-234. ISSN: 1578-5157

**Figura 2. Suavizado con ventana móvil de 64 píxeles de lado (6.400 m) de la variable profesionales en las zonas, distritos y comunas**

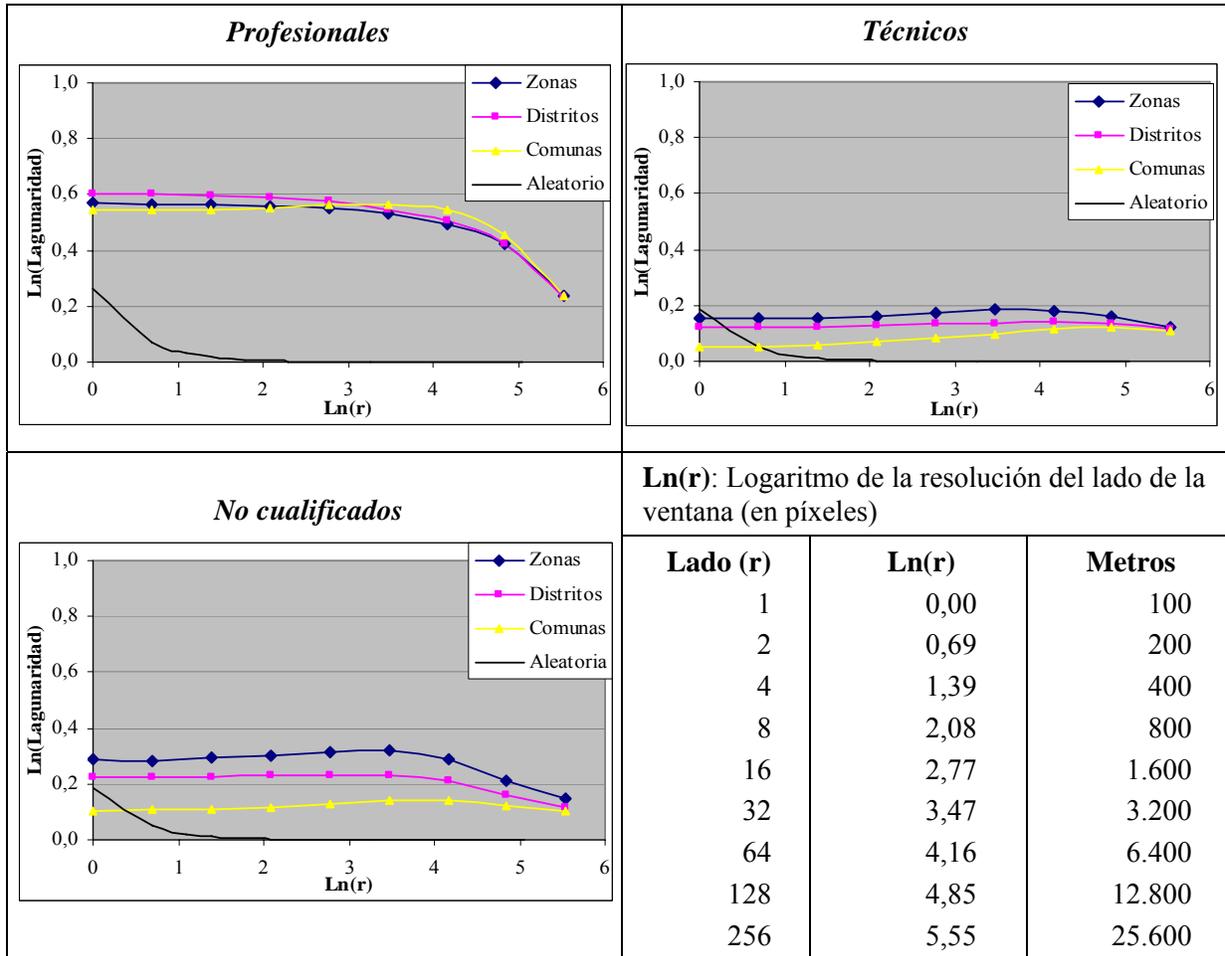


**Figura 3. Medidas de lagunaridad de algunos modelos de distribución espacial: central, sectorial, radial y aleatorio.**



Escolano Utrilla, S. (2007): "La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad", *GeoFocus (Artículos)*, n° 7, p. 216-234. ISSN: 1578-5157

**Figura 4. Curvas de lagunaridad de los "profesionales", "técnicos" y "no cualificados", medidas en las zonas, distritos y comunas de Santiago (Chile).**



<sup>i</sup> He traducido, de forma directa y rupestre, el término inglés "lacunarity" por el vocablo *lagunaridad*, que no existe en español. He preferido hacerlo así puesto que el resultado guarda gran parecido en su grafía y sonido con el inglés, que ya tiene carta de naturaleza en la bibliografía científica. En su lugar, tal vez se podrían utilizar sustantivos como *discontinuidad* o *porosidad*, aunque este último no parece adecuado para describir los vacíos de los objetos dispuestos en una línea.