



## ANÁLISIS DE ECO-EFICIENCIA DEL MUNICIPIO DE BARCELONA

Zheng, Qianhui <sup>1\*</sup>

**Remisión inicial:** 2019-05-31; **Remisión definitiva:** 2019-10-11; **Publicación:** 2019-12-21

**Citación:** Zheng, Qianhui. (2019). Análisis de eco-eficiencia del Municipio de Barcelona. En *XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city"*: UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8488. E-ISSN 2604-6512. DOI <http://dx.doi.org/10.5821/ctv.8488>

### Resumen

La evaluación de la Ecoeficiencia es medir los beneficios generados por el consumo unitario del sistema. Al definir varios consumos ecológicos y los beneficios correspondientes que produce, se puede obtener una relación para comparar y analizar la eficiencia de cada objeto del sistema para comprender el nivel general de Ecoeficiencia del área a través de una evaluación integral, comparación horizontal y vertical, comparación intra-regional e interregional, y encontrar diferencias entre ellos y tendencias de desarrollo. En este trabajo, se analiza la Ecoeficiencia en el nivel de distrito en Barcelona y se escoge el distrito Sant Martí como ejemplo para estudiar la Ecoeficiencia en el nivel de barrio. De acuerdo con la definición de Ecoeficiencia, se define la Ecoeficiencia como la relación entre la entropía informativa (la información total que produce) y la entropía física (el valor de consumo ecológico), y se obtiene la ecoeficiencia con la fórmula Shannon. Para obtener la entropía informativa, se crea un modelo con los datos de actividades económicas de las plantas bajas locales y se realiza un mapa visual de la complejidad urbana. Para la entropía física, se identifican los indicadores del consumo ecológico como variables que se dividen en 3 categorías: el consumo del recurso, la contaminación ambiental y la inversión social. Se obtienen la base de datos general en Ayuntamiento de Barcelona y se estiman los datos más detallados de distritos y barrios. Para integrar los indicadores, se crea una matriz de los datos y se utilizan el método de ponderación de entropía y la función de pertenencia, con lo que se obtiene la entropía física de distritos y barrios. Después, se calcula la ecoeficiencia y se analiza la relación de ecoeficiencia en dos niveles. Por último, comparamos la Ecoeficiencia entre los distritos y los barrios, tomando Sant Martí como referencia, que indica que, aunque los objetos de evaluación están en diferentes niveles, hay cierta comparabilidad.

### Abstract

The evaluation of Eco-efficiency is to measure the benefits generated by the unit consumption of the system. By defining several ecological consumptions and the corresponding benefits that they produce, a relationship can be obtained to compare and analyze the efficiency of each object of the system to understand the general level of Eco-efficiency of the area through an integral evaluation, horizontal and vertical comparison, comparison intra-regional and inter-regional, and find differences between them and development trends. In this work, Eco-efficiency is analyzed at the district level in Barcelona and the Sant Martí district is chosen as an example to study Eco-efficiency at the neighborhood level. According to the definition of Eco-efficiency, Eco-efficiency is defined as the relationship between informative entropy (the total information it produces) and physical entropy (the value of ecological consumption), and eco-efficiency is obtained with the Shannon formula. To obtain informative entropy, a model is created with the economic activity data of the local ground floors and a visual map of urban complexity is made. For physical entropy, indicators of ecological consumption are identified as variables that fall into 3 categories: resource consumption, environmental pollution and social investment. The general database in Barcelona City Council is obtained and the most detailed data of districts and neighborhoods are estimated. To integrate the indicators, a matrix of the data is created and the entropy weighting method and the membership function are used, thereby obtaining the physical entropy of districts and neighborhoods. Then, eco-efficiency is calculated and the eco-efficiency ratio is analyzed at two levels. Finally, we compare Eco-efficiency between districts and neighborhoods, taking Sant Martí as a reference, which indicates that, although the evaluation objects are at different levels, there is some comparability.

**Palabras Clave:** eco-eficiencia; información; entropía; medio ambiente

**Key words:** eco-efficiency; information; entropy; environment

---

<sup>1</sup> Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV), Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). <https://orcid.org/0000-0003-1497-3033>. \* Correo de contacto: [qianhuizheng0712@gmail.com](mailto:qianhuizheng0712@gmail.com)

## 1. Introducción

La evaluación de la Ecoeficiencia es medir los beneficios generados por el consumo unitario del sistema. Al definir varios consumos ecológicos y los beneficios correspondientes que produce, se puede obtener una relación para comparar y analizar la eficiencia de cada objeto del sistema.

### 1.1 Área de estudio

En este trabajo, se analiza la Ecoeficiencia en el nivel de distrito en el municipio Barcelona (10,216 ha, 1,609 miles habitantes) y se escoge el distrito Sant Martí (1,052 ha, 234 miles habitantes) como ejemplo para estudiar la Ecoeficiencia en el nivel de barrio.

Figura 1. Barcelona



Figura 2. Sant Martí



Fuente: Elaboración propia

## 2. Fuente de datos

Los datos de oferta provienen principalmente del Ayuntamiento de Barcelona (<http://www.bcn.cat/estadistica/catala/index.htm>). Para la entropía informativa, se obtienen los datos de actividades económica de 2016 en Opendata de Barcelona. Para la entropía física, suelen identificarse los indicadores del consumo ecológico como variables para evaluar el valor del consumo ecológico.

En cuanto a la identificación de variables, estas se dividen en su mayoría en 3 categorías: el consumo del recurso, la contaminación ambiental y la inversión social.

Tabla 1. Indicadores ecológicos

	Indicador	Unidad
Consumo de recursos	Consumo de energía	MWh
	Consumo de agua	M3
Contaminación ambiental	Emisión del gas de efecto invernadero	tCO2eq
	Residuos	t
Inversión social	Superficie catadtral destinada a actividad	M2
	Trabajador	Persona

Fuente: Elaboración propia

- Consumo de energía y emisión del gas de efecto invernadero (GEH)

Sabemos el consumo de energía y la emisión de GEH per cápita de cada distrito en 2014 (Balanz de l'Energía, 2014), a través del crecimiento del consumo de energía y la emisión de GEH de 2014 a 2016 (Ajuntament de Barcelona), se estima el consumo de energía y la emisión de GEH per cápita de cada distrito en 2016.

- Consumo de agua

Se obtienen los datos del consumo del agua doméstica, de comercio e industria, y de servicios ayuntamiento en Barcelona, la población y el uso del suelo en 2016 (Ajuntament de Barcelona).

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Agua\_DIS}} &= \text{Consumo}_{\text{Agua doméstica\_DIS}} + \text{Consumo}_{\text{Agua de comercio e industria\_DIS}} \\ &+ \text{Consumo}_{\text{Agua de servicios ayuntamiento\_DIS}} \end{aligned}$$

Calcular el consumo del agua doméstica de cada distrito (barrio) por la población que tiene y el consumo de comercio e industria por su superficie del suelo de comercio e industria.

$$\text{Consumo}_{\text{Agua doméstica\_DIS}} = \frac{\text{Población}_{\text{DIS}} \times \text{Consumo}_{\text{Agua doméstica\_BCN}}}{\text{Población}_{\text{BCN}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Agua de comercio e industria\_DIS}} &= \frac{\text{Superficie}_{\text{Comercio e industria\_DIS}} \times \text{Consumo}_{\text{Agua de comercio e industria\_BCN}}}{\text{Superficie}_{\text{Comercio e industria\_BCN}}} \end{aligned}$$

Y el consumo del agua de servicios ayuntamiento se compone principalmente del agua de riego de parques y jardines, de la limpieza viaria y de equipamientos, por lo que, se estima el consumo del agua de servicios ayuntamiento de cada distrito por su superficie del suelo del espacio verde, vial y de equipamientos.

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Agua de servicios ayuntamiento\_DIS}} &= \frac{\text{Superficie}_{\text{verde,vía y equipamientos\_DIS}} \times \text{Consumo}_{\text{Agua de servicios ayuntamiento\_BCN}}}{\text{Superficie}_{\text{verde,vía y equipamientos\_BCN}}} \end{aligned}$$

- Residuos

Se obtienen los datos de residuos en 2016 y se estima el volumen de residuos de cada distrito (barrio) por los contenedores que tiene (Ajuntament de Barcelona).

$$\text{Residuos}_{\text{DIS}} = \frac{\text{Número}_{\text{contenedor\_DIS}} \times \text{Residuos}_{\text{BCN}}}{\text{Número}_{\text{contenedor\_BCN}}}$$

- Superficie catastral destinada a actividad y el número de trabajador de cada distrito (barrio) en 2016: Ajuntament de Barcelona.

### 3. Metodología

En este trabajo, se define la Ecoeficiencia como la relación entre la entropía informativa (la información total que produce) y la entropía física (el valor de consumo ecológico). Se calcula por la fórmula siguiente:

$$\text{Ecoeficiencia } (X) = \frac{H}{S} \quad (3.1)$$

$H$  es la entropía informativa y  $S$  es la entropía física.

### 3.1 Entropía informativa

El valor de  $H$  es la medida de la información contenida en un mensaje y se calcula con la fórmula de *Shannon* procedente de la Teoría de la Información:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i \quad (3.2)$$

$H$  es la diversidad y su unidad es el bit de información por individuo.  $P_i$  es la probabilidad de ocurrencia e indica el número de miembros que cumplen una peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad. La máxima  $H$  se obtiene con la diferenciación máxima de los portadores de información y la máxima equifrecuencia de cada uno de ellos. Se trata de saber el número de portadores de información, con capacidad de contacto, en cantidad y diversidad en un mismo espacio. Los portadores de información del sistema urbano son las actividades económicas clasificadas por CNAE.

Para calcular la entropía informativa, se realiza los pasos siguientes:

- Obtener los datos de actividades económicas
- Para los distritos, crear un grid de 200×200m, 100×100m para el análisis de barrios.
- Para cada cuadrícula del grid, calcular la complejidad de cada cuadrícula ( $E_x$ ).

$$E_x = - \sum_{y=1}^n P_y \cdot \log_2 P_y \quad (3.3)$$

$x$  es el número de serie de cuadrículas, y  $y$  es el número de serie de actividades.

Para que  $P_y \neq 1$ ,

$$P_y = \frac{N_{xy}}{N_{x,Total} + 0.1} \quad (3.4)$$

$N_{xy}$  es el número de la actividad  $y$  en la cuadrícula  $x$ ,  $N_{x,Total}$  es el número total de actividades en la cuadrícula  $x$ .

- Identificar la información de cada local. En este trabajo, se considera que los locales que están en el área más compleja tienden a tener más información, por lo que, para comparar convenientemente, se calcula por la fórmula:

$$h_z = E_x \quad (3.5)$$

$h_z$  es la información del local  $z$ , y  $E_x$  es la complejidad de la cuadrícula en la que el local  $z$  se encuentra.

- Calcular la entropía informativa ( $H$ ) del distrito (barrio)  $i$ :

$$H_i = \sum_{z=1}^n h_z \quad (3.6)$$

$z$  es el número de serie del local ( $y = 1, 2, \dots, n$ ).

### 3.2 Entropía física

Haya  $n$  distritos (barrios) e  $m$  indicadores del consumo ecológico. Y  $i$  es el número de serie del distrito (barrio),  $j$  es el número de serie del indicador. Entonces,  $r_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ ) es el dato del indicador del consumo ecológico  $j$  en el distrito (barrio)  $i$ , por lo tanto, se construye el modelo de la evaluación de la entropía física en el siguiente:

- Crear una matriz de los datos de indicadores del consumo ecológico:

$$r = (r_{ij})_{n \times m} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}_{n \times m}$$

- Determinar el peso de cada indicador del consumo ecológico.

Consideramos que los indicadores varios tienen el impacto diferente en el sistema. Cuando un indicador tenga mayor entropía, tendrá mayor efecto y mayor ponderación en el sistema, y viceversa. Con el método de ponderación de entropía, se puede calcular la ponderación de cada indicador del consumo ecológico para obtener el peso de cada indicador objetivamente en el modelo.

Primero, calcular la probabilidad  $P_{ij}$  del indicador  $j$  en el distrito (barrio)  $i$ .

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (3.7)$$

Después, calcular la entropía  $e_j$  del indicador  $j$ :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot \log_2 P_{ij}, k = \frac{1}{\log_2 n} \quad (3.8)$$

Finalmente, calcular la ponderación de entropía del indicador  $j$ :

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (3.9)$$

- Calcular el grado de función de pertenencia de los datos de indicadores del consumo ecológico.

Debido a que los datos de indicadores tienen diferentes dimensiones, no se pueden comparar directamente. Para facilitar la comparación de los indicadores, se estandarizan los datos de indicadores con la función de pertenencia para eliminar su unidad.

Sabemos que los indicadores están correlacionados positivamente con la entropía física ( $S$ ), por lo que calculamos el grado de función de pertenencia con la fórmula siguiente:

$$r'_{ij} = \begin{cases} 0, & r_{ij} \leq r_{min} \\ \frac{r_{ij} - r_{min}}{r_{max} - r_{min}}, & r_{min} \leq r_{ij} \leq r_{max} \\ 1, & r_{ij} \geq r_{max} \end{cases} \quad (3.10)$$

$r'_{ij}$  es el grado de función de pertenencia del indicador  $j$  en el distrito (barrio)  $i$ ,  $0 \leq r'_{ij} \leq 1$ .



- Calcular la entropía física ( $S$ ) del distrito (barrio)  $i$ :

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot r'_{ij} \quad (3.11)$$

$j$  es el número de serie de indicadores del consumo ecológico ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).

## 4. Resultado

### 4.1 Nivel de distrito

#### (1) Entropía informativa

En Barcelona hay 60331 puntos de actividades económicas que incluyen 64 actividades diversas. La mayor densidad y diversidad de actividades económicas se localiza en el centro urbano del distrito Eixample. En relación a la tipología de actividades, cerca del 38% del total, corresponde a actividades comerciales al por mayor y al por menor.

Figura 3. Densidad de actividades (BCN)

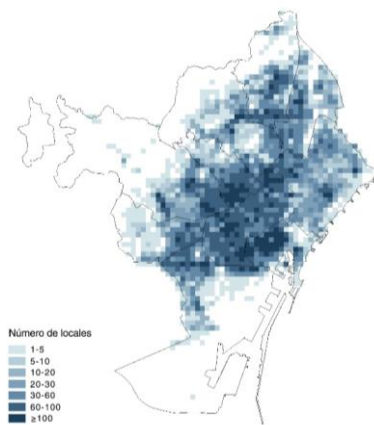
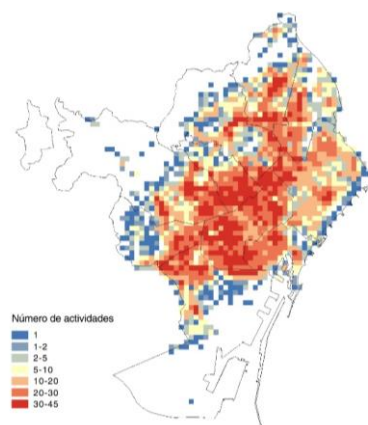


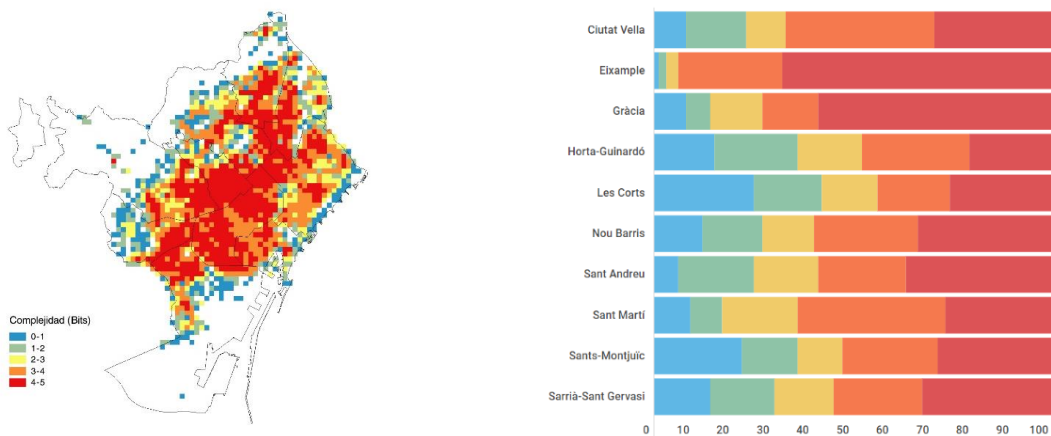
Figura 4. Diversidad de actividades (BCN)



Fuente: Elaboración propia

- Calculamos la complejidad de cada cuadrícula ( $E_x$ ) con la fórmula *Shannon*:

Figura 5. Complejidad (BCN)



Fuente: Elaboración propia

Como lo vemos en la figura 3, Eixample muestra la mayor complejidad en la que más de 90% del área tiene más de 3 bits de información, que indica su alto grado de madurez y centralidad en Barcelona. En seguida, Gràcia llega a 70%. En contrario, Les Corts tiene la menor complejidad en Barcelona.

- Después, identificamos la información de cada local por su geolocalización y calculamos la entropía informativa total de cada distrito según la fórmula (3.6) y se obtiene la Tabla 2:

Tabla 2. Entropía informativa

Nombre	Hi	Nombre	Hi/ha
<b>Barcelona</b>	<b>245,286</b>	Eixample	80.88
Eixample	60,466	Gràcia	57.25
Sant Martí	27,224	Ciutat Vella	55.45
Ciutat Vella	24,227	Sant Martí	25.87
Gràcia	23,966	Sant Andreu	25.54
Sarrià-Sant Gervasi	23,762	<b>Barcelona</b>	<b>24.01</b>
Sants-Montjuïc	22,618	Nou Barris	22.39
Nou Barris	18,004	Les Corts	18.68
Horta-Guinardó	17,004	Horta-Guinardó	14.23
Sant Andreu	16,770	Sarrià-Sant Gervasi	11.83
Les Corts	11,244	Sants-Montjuïc	9.86

Fuente: Elaboración propia

Para la entropía informativa total, Eixample todavía mantiene su gran ventaja en Barcelona. Posteriormente, Sant Martí y Ciutat Vella exceden a Gràcia y llegan al segundo y el tercero. Y Les Corts aún está en el último lugar como su distribución de complejidad. Y para la entropía informativa per hectárea, Eixample tiene la mayor entropía informativa per hectárea, seguido de Gràcia y Ciutat Vella. Y Sants-Montjuïc tiene la menor entropía informativa per hectárea en Barcelona.

## (2) Entropía física

Según la fuente de datos y la metodología, se obtiene la base de datos en la Tabla siguiente:

Tabla 3. Base de datos de distritos en BCN

Nombre	Consumo de recursos				Contaminación ambiental				Inversión social	
	Energía (MWh)		Agua (M3)		GEH (tCO2eq)		Residuos (t)		Sup. catastral destinada a actividad (M²)	Trabajador
	Total	Per capita	Total	Per capita	Total	Per capita	Total	Per capita		
Ciutat Vella	878,936	8.75	6,323,022	63.19	111,721	1.11	86,668	2.37	3,341,581	64,212
Eixample	2,381,917	9.01	14,701,603	55.62	309,779	1.17	170,779	1.77	7,265,310	151,338
Gràcia	715,199	5.92	5,946,568	49.18	98,771	0.82	54,475	1.23	1,783,816	70,536
H-Guinardó	773,522	4.62	8,358,653	49.97	108,854	0.65	53,561	0.87	2,101,474	92,307
Les Corts	765,601	9.37	5,301,189	64.93	101,330	1.24	45,797	1.53	3,052,337	43,224
Nou Barris	604,021	3.66	7,820,888	47.43	84,433	0.51	49,194	0.82	1,427,046	88,858
Sant Andreu	880,803	6.00	8,182,892	55.77	122,735	0.84	56,603	1.05	2,596,330	82,973
Sant Martí	1,863,245	7.95	13,425,094	57.39	267,496	1.14	92,920	1.09	5,041,976	130,266
Sants-Montj.	1,458,551	8.05	16,985,415	93.85	199,704	1.10	69,517	1.05	6,037,268	107,102
Sarrià-S. Ger.	1,175,445	7.93	8,360,199	56.48	160,421	1.08	82,562	1.52	3,517,848	77,318
<b>Barcelona</b>	<b>11,497,240</b>	<b>7.14</b>	<b>95,405,523</b>	<b>59.30</b>	<b>1,565,243</b>	<b>0.97</b>	<b>762,077</b>	<b>1.29</b>	<b>36,164,986</b>	<b>908,135</b>

Fuente: Elaboración propia

- Calcular la ponderación de indicadores según la fórmula (3.7, 3.8, 3.9), como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 4. Ponderación de indicadores

	Indicador	Ponderación
Consumo de recursos	Consumo de energía	0.20
	Consumo de agua	0.10
Contaminación ambiental	Emisión del gas de efecto invernadero	0.19
	Residuos	0.17
Inversión social	Superficie catadtral destinada a actividad	0.23
	Trabajador	0.10

Fuente: Elaboración propia

- Calcular el grado de función de pertenencia y la entropía física según la fórmula (3.10, 3.11), como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 5. Entropía física

Nombre	Si	Consumo de recursos				Contaminación ambiental				Inversión social			
		Energía (MWh)		Agua (M3)		GEH (tCO2eq)		Residuos (t)		Superficie catastral destinada a actividad (M2)		Trabajador	
		sij	r'ij	sij	r'ij	sij	r'ij	sij	r'ij	sij	r'ij	sij	r'ij
Barcelona	3.41	0.61	3.07	0.45	4.34	0.62	3.20	0.42	2.43	0.86	3.75	0.46	4.40
Eixample	1.00	0.20	1.00	0.10	1.00	0.19	1.00	0.17	1.00	0.23	1.00	0.10	1.00
Sant Martí	0.67	0.14	0.71	0.09	0.83	0.16	0.81	0.06	0.38	0.14	0.62	0.08	0.81
Sants-Montjuïc	0.53	0.09	0.48	0.06	0.54	0.10	0.51	0.03	0.19	0.18	0.79	0.06	0.59
Sarrià-S. Gerv.	0.33	0.06	0.32	0.04	0.36	0.07	0.34	0.05	0.29	0.08	0.36	0.03	0.32
Ciutat Vella	0.22	0.03	0.15	0.01	0.10	0.02	0.12	0.06	0.33	0.08	0.33	0.02	0.19
Sant Andreu	0.20	0.03	0.16	0.04	0.36	0.03	0.17	0.01	0.09	0.05	0.20	0.04	0.37
Horta-Guinardó	0.17	0.02	0.10	0.05	0.47	0.02	0.11	0.01	0.06	0.03	0.12	0.05	0.45
Gràcia	0.10	0.01	0.06	0.02	0.22	0.01	0.06	0.01	0.07	0.01	0.06	0.03	0.25
Les Corts	0.10	0.02	0.09	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00	0.06	0.28	0.00	0.00
Nou Barris	0.10	0.00	0.00	0.05	0.46	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.42

Fuente: Elaboración propia

Se encuentra en la Tabla 5 que Eixample tiene la mayor entropía física y Nou Barris tiene la menor entropía física.

Tabla 6. Entropía física per unidad del área

Nombre	Si/ha*100000
Eixample	133.76
Sant Martí	64.04
Ciutat Vella	49.48
<b>Barcelona</b>	<b>33.39</b>
Sant Andreu	30.41
Gràcia	23.68
Sants-Montjuïc	22.92
Sarrià-Sant Gervasi	16.52
Les Corts	16.04
Horta-Guinardó	14.46
Nou Barris	11.90

Fuente: Elaboración propia

Para la entropía física per unidad del área, Eixample, Sant Martí y Ciutat Vella gastan más per unidad del área en Barcelona.



### (3) Ecoeficiencia

Con la fórmula (3.1) calculamos la Ecoeficiencia de cada distrito, se consigue el resultado siguiente:

Tabla 7. Ecoeficiencia de distritos

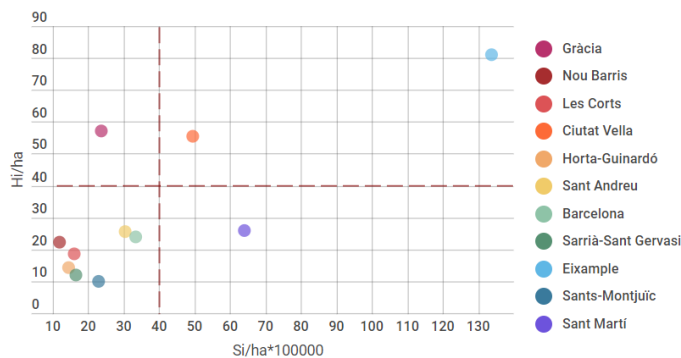
Nombre	Hi	Si	Hi/ha	Si/ha*100000	Ecoeficiencia (Xi)	
Gràcia	23,966	0.0991	57.25	23.68	241,752	100.00%
Nou Barris	18,004	0.0957	22.39	11.90	188,098	77.81%
Les Corts	11,244	0.0965	18.68	16.04	116,521	48.20%
Ciutat Vella	24,227	0.2162	55.45	49.48	112,066	46.36%
Horta-Guinardó	17,004	0.1727	14.23	14.46	98,443	40.72%
Sant Andreu	16,770	0.1996	25.54	30.41	84,015	34.75%
<b>Barcelona</b>	<b>245,286</b>	<b>3.4116</b>	<b>24.01</b>	<b>33.39</b>	<b>71,898</b>	<b>29.74%</b>
Sarrià-Sant Gervasi	23,762	0.3320	11.83	16.52	71,580	29.61%
Eixample	60,466	1.0000	80.88	133.76	60,466	25.01%
Sants-Montjuïc	22,618	0.5257	9.86	22.92	43,022	17.80%
Sant Martí	27,224	0.6740	25.87	64.04	40,391	16.71%

Fuente: Elaboración propia

Se considera que el valor más eficiente es 100%, y se obtiene el valor de Ecoeficiencia en forma de porcentaje de cada distrito como lo vemos en la Tabla 6.

Gràcia se destaca como el distrito más eficiente en Barcelona. Después, Nou Barris gana el segundo con 77,81%. Y para los restos, ningún de ellos llega a 50%.

Figura 6. Ecoeficiencia de distritos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la distribución de los puntos de Hi/ha-Si/ha\*100000, podemos dividirlos aproximadamente en cuatro clases. Eixample y Ciutat Vella pertenecen a la clase de Alto Consumo-Alto producción, Sant Martí pertenece a la clase de Alto consumo-Baja producción, Gràcia pertenece a la clase de Bajo consumo-Alto producción, y la mayoría de los barrios pertenece a la clase de Bajo consumo-Baja producción.

#### 4.2 Nivel de barrio

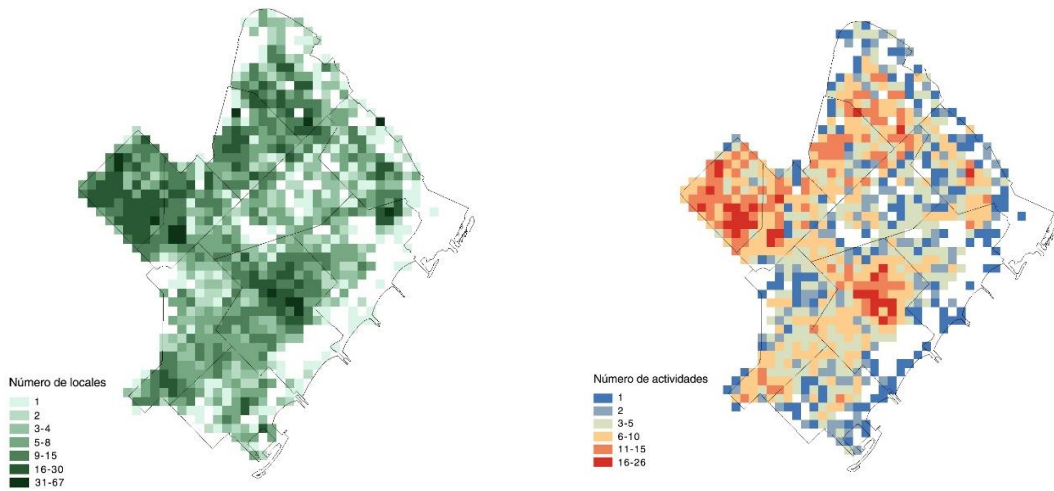
Con los mismos pasos, se escoge el distrito Sant Martí como ejemplo para estudiar la Ecoeficiencia en el nivel de barrio.

Para la entropía informativa:

Así como el área del distrito Sant Martí es varias veces más pequeña que Barcelona, se crea un grid de 100x100m para el análisis más detallado.

Figura 7. Densidad de actividades (Sant Martí)

Figura 8. Diversidad de actividades (Sant Martí)

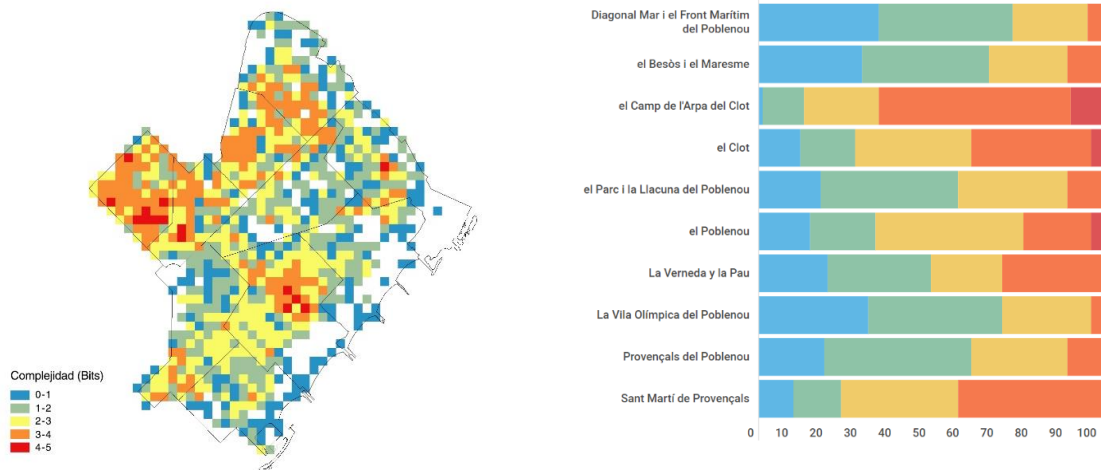


Fuente: Elaboración propia

En comparación con Barcelona, la distribución de actividades de Sant Martí es más dispersa, sin embargo, aún podemos ver que muestra su centralidad en el Camp de l'Arpa del Clot y el Poblenou.

Calculamos la complejidad de cada cuadrícula ( $E_x$ ) de Sant Martí, se consigue la figura siguiente:

Figura 9. Complejidad (Sant Martí)



Fuente: Elaboración propia

Como lo vemos en la Figura 6, el Camp de l'Arpa del Clot tiene la mayor complejidad, seguido del Clot y La Verneda, el Poblenou y la Pau. Y Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou y La Vila Olímpica del Poblenou tienen la menor complejidad.

Tabla 8. Entropía informativa

Nombre	Hi	Nombre	Hi/ha
<b>Sant Martí</b>	<b>20,337</b>	el Camp de l'Arpa del Clot	58.72
el Camp de l'Arpa del Clot	4,357	el Clot	35.17
el Poblenou	4,010	Sant Martí de Provençals	26.94
el Clot	2,448	el Poblenou	25.95
La Verneda y la Pau	2,040	<b>Sant Martí</b>	<b>19.32</b>
Sant Martí de Provençals	2,007	La Verneda y la Pau	18.16
el Parc i la Llacuna del Poblenou	1,532	el Parc i la Llacuna del Poblenou	13.75
Provençals del Poblenou	1,153	Provençals del Poblenou	10.43
el Besòs i el Maresme	1,140	el Besòs i el Maresme	8.95
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	875	La Vila Olímpica del Poblenou	8.22
La Vila Olímpica del Poblenou	775	Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	7.08

Fuente: Elaboración propia

Para la entropía informativa total, el Camp de l'Arpa del Clot y el Poblenou tienen la mayor entropía informativa que casi es el doble que los demás, cuando Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou y La Vila Olímpica del Poblenou tienen la menor entropía informativa que no llega a 1000.

Y para la entropía informativa por hectárea, el Camp de l'Arpa del Clot todavía está en primer lugar. Para la entropía física. Del mismo modo, obtenemos la base de datos, la ponderación de indicadores y calculamos la entropía física de cada barrio, se muestran los resultados en la tabla siguiente:

Tabla 9. Base de datos de barrios en Sant Martí

Nombre	Consumo de recursos		Contaminación ambiental		Inversión social	
	Energía (MWh)	Agua (M3)	GEH (tCO2eq)	Residuos (t)	Superficie catastral destinada a actividad (M2)	Trabajador
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	106,841	1,005,901	15,339	5,336	572,735	7,481
el Besòs i el Maresme	179,530	1,309,842	25,774	8,967	415,308	12,571
el Camp de l'Arpa del Clot	303,746	1,714,120	43,607	15,171	330,115	21,269
el Clot	213,826	1,241,948	30,698	10,680	241,594	14,973
el Parc i la Llacuna del Poblenou	118,006	1,457,894	16,941	5,894	1,210,692	8,263
el Poblenou	266,893	1,910,284	38,316	13,331	656,224	18,688
La Verneda y la Paz	227,682	1,482,076	32,687	11,372	395,865	15,943
La Vila Olímpica del Poblenou	74,213	749,086	10,654	3,707	441,339	5,197
Provençals del Poblenou	162,910	1,328,407	23,388	8,137	515,221	11,407
Sant Martí de Provençals	206,703	1,225,537	29,675	10,324	262,883	14,474
<b>Sant Martí</b>	<b>1,863,245</b>	<b>13,425,094</b>	<b>267,496</b>	<b>92,920</b>	<b>5,041,976</b>	<b>130,266</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Ponderación de indicadores

	Indicador	Ponderación
Consumo de recursos	Consumo de energía	0.17
	Consumo de agua	0.06
Contaminación ambiental	Emisión del gas de efecto invernadero	0.17
	Residuos	0.16
Inversión social	Superficie catastral destinada a actividad	0.27
	Trabajador	0.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Entropía física

Nombre	Si	Consumo de recursos		Contaminación ambiental		Inversión social	
		Energía (MWh)	Agua (M3)	GEH (tCO2eq)	Residuos (t)	Superficie catastral destinada a actividad (M2)	Trabajador
		sij	sij	sij	sij	sij	sij
<b>Sant Martí</b>	<b>4.30</b>	<b>0.82</b>	<b>0.33</b>	<b>0.82</b>	<b>0.80</b>	<b>0.73</b>	<b>0.80</b>
el Camp de l'Arpa del Clot	0.74	0.17	0.05	0.17	0.16	0.02	0.16
el Poblenou	0.74	0.14	0.06	0.14	0.14	0.12	0.14
La Verneda y la Pau	0.53	0.11	0.04	0.11	0.11	0.04	0.11
el Parc i la Llacuna del Poblenou	0.44	0.03	0.04	0.03	0.03	0.27	0.03
el Clot	0.43	0.10	0.03	0.10	0.10	0.00	0.10
Sant Martí de Provençals	0.42	0.10	0.03	0.10	0.09	0.01	0.09
el Besòs i el Maresme	0.39	0.08	0.03	0.08	0.08	0.05	0.08
Provençals del Poblenou	0.37	0.07	0.03	0.07	0.06	0.08	0.06
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	0.20	0.02	0.01	0.02	0.02	0.09	0.02
La Vila Olímpica del Poblenou	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Entropía física per unidad del área

Nombre	Si/ha*100000
el Camp de l'Arpa del Clot	1,003.00
el Clot	621.39
Sant Martí de Provençals	559.50
el Poblenou	478.21
La Verneda y la Pau	470.98
<b>Sant Martí</b>	<b>409.01</b>
el Parc i la Llacuna del Poblenou	391.28
Provençals del Poblenou	330.87
el Besòs i el Maresme	302.22
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	162.50
La Vila Olímpica del Poblenou	58.91

Fuente: Elaboración propia

Se encuentran:

- En el nivel de barrios, las ponderaciones de los indicadores de la categoría de consumo de recursos y de contaminación ambiental reducen, cuando la ponderación de inversión social aumenta. Pienso que, en el área pequeña, debido a la eficiencia energética y la intensidad de contaminación similares, sus diferencias en la entropía física se ven más afectadas por la categoría de inversión social, es decir, la superficie catastral destinada a actividad y el número de trabajador.
- Para la entropía física total, el Camp de l'Arpa del Clot y el Poblenou tienen la mayor entropía física, y La Vila Olímpica del Poblenou tiene una entropía física muy pequeña.
- Para la entropía física per unidad del área, se indica que la Verneda y la Pau tiene la mayor entropía física per unidad del área que es el doble del promedio de Sant Martí.

Al final, se calcula la Ecoeficiencia de cada barrio en Sant Martí:

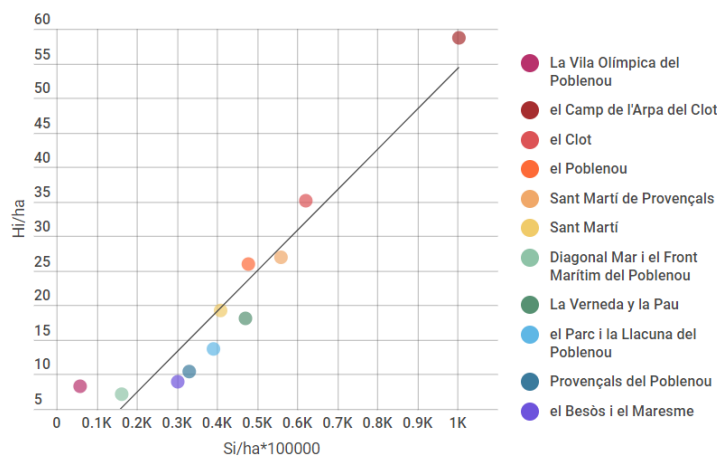
Tabla 13. Ecoeficiencia de barrios en Sant Martí

Nombre	Hi	Si	Hi/ha	Si/ha*100000	Ecoeficiencia (Xi)	
La Vila Olímpica del Poblenou	775	0.0556	8.22	58.91	13,949	100.00%
el Camp de l'Arpa del Clot	4,357	0.7442	58.72	1,003.00	5,855	41.97%
el Clot	2,448	0.4325	35.17	621.39	5,661	40.58%
el Poblenou	4,010	0.7388	25.95	478.21	5,427	38.91%
Sant Martí de Provençals	2,007	0.4168	26.94	559.50	4,816	34.52%
<b>Sant Martí</b>	<b>20,337</b>	<b>4.3044</b>	<b>19.32</b>	<b>409.01</b>	<b>4,725</b>	<b>33.87%</b>
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	875	0.2010	7.08	162.50	4,354	31.21%
La Verneda y la Pau	2,040	0.5289	18.16	470.98	3,856	27.64%
el Parc i la Llacuna del Poblenou	1,532	0.4359	13.75	391.28	3,515	25.20%
Provençals del Poblenou	1,153	0.3656	10.43	330.87	3,153	22.60%
el Besòs i el Maresme	1,140	0.3850	8.95	302.22	2,961	21.23%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13, se encuentra que en Sant Martí La Vila Olímpica del Poblenou es el barrio más eficiente, mientras que los restos no alcanzan el 50%, por lo tanto, La Vila Olímpica del Poblenou tiene una ventaja obvia de la Ecoeficiencia.

Figura 10. Ecoeficiencia de barrios en Sant Martí



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10, podemos ver que existe una relación línea entre los puntos de Hi/ha-Si/ha\*100000, que indica que el distrito es suficientemente pequeño, por lo tanto, sus barrios tienen la Ecoeficiencia similar.

### 4.3 Comparación

Hasta aquí, ya hemos obtenido la Ecoeficiencia de los distritos en Barcelona y de los barrios en Sant Martí. Tomando Sant Martí como referencia, podemos obtener una lista de Ecoeficiencia de todos los distritos y barrios.



Tabla 13. Comparación de Ecoeficiencia

ID	Nombre	Si/ha*100000
1	<b>Gràcia</b>	<b>100.00%</b>
2	<b>Nou Barris</b>	<b>77.81%</b>
3	La Vila Olímpica del Poblenou	49.33%
4	<b>Les Corts</b>	<b>48.20%</b>
5	<b>Ciutat Vella</b>	<b>46.36%</b>
6	<b>Horta-Guinardó</b>	<b>40.72%</b>
7	<b>Sant Andreu</b>	<b>34.75%</b>
8	<b>Barcelona</b>	<b>29.74%</b>
9	<b>Sarrià-Sant Gervasi</b>	<b>29.61%</b>
10	<b>Eixample</b>	<b>25.01%</b>
11	el Camp de l'Arpa del Clot	20.70%
12	el Clot	20.02%
13	el Poblenou	19.19%
14	<b>Sants-Montjuïc</b>	<b>17.80%</b>
15	Sant Martí de Provençals	17.03%
16	<b>Sant Martí</b>	<b>16.71%</b>
17	Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	15.40%
18	La Verneda y la Pau	13.64%
19	el Parc i la Llacuna del Poblenou	12.43%
20	Provençals del Poblenou	11.15%
21	el Besòs i el Maresme	10.47%

Fuente: Elaboración propia

Ya sabemos que Sant Martí es el distrito menos eficiente en Barcelona, por lo que no es difícil encontrar que los barrios de Sant Martí estén en una posición más baja, incluso el barrio más eficiente La Vila Olímpica del Poblenou no ha alcanzado el 50%.

## 5. Conclusiones

El objetivo de la evaluación de la Ecoeficiencia es comprender el nivel general de Ecoeficiencia del área a través de una evaluación integral, comparación horizontal y vertical, comparación intrarregional e interregional, y encontrar diferencias entre ellos y tendencias de desarrollo.

De acuerdo con la definición de Ecoeficiencia, se seleccionan los indicadores ecológicos de los aspectos de consumo y producción del sistema urbano para establecer un modelo para obtener la entropía informativa y la entropía física de cada objeto. Después, se calcula la Ecoeficiencia de cada objeto. Los resultados muestran que:

- En el nivel de distritos, los distritos tienen la diferencia obvia de la Ecoeficiencia, entre los cuales Gràcia es el distrito más eficiente, seguida de Nou Barris. Y Sant Martí tiene la Ecoeficiencia más baja. Al mismo tiempo, los distritos se pueden dividir aproximadamente en cuatro clases, la mayoría de los cuales se encuentran en la clase de Bajo consumo-Baja producción.
- En el nivel de barrios, en Sant Martí La Vila Olímpica del Poblenou es el barrio más eficiente y tiene una ventaja obvia, mientras que el Besòs i el Maresme tiene la Ecoeficiencia más baja de 21,23%. Además, se encuentran que existe una relación línea entre ellos, que indica que la Ecoeficiencia de los barrios de Sant Martí es similar.

Por último, comparamos la Ecoeficiencia entre los distritos y los barrios, tomando Sant Martí como referencia, que indica que, aunque los objetos de evaluación están en diferentes niveles, hay cierta comparabilidad.



## Bibliografía

Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2006). *Estudio del espacio público VITORIA-GASTEIZ* (pp. 69-84). Recuperado de <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/39/19/23919.pdf>

Ajuntament de Barcelona. (2014). *Balanç de l'energia*. Recuperado de <http://energia.barcelona>

Ajuntament de Barcelona. (2016). *Indicadors de Sostenibilitat de Barcelona*. Recuperado de <https://media-edg.barcelona.cat/wp-content/uploads/2018/05/17095539/Indicadors-de-Sostenibilitat-de-Barcelona.-Informe-2016.pdf>

CAT-MED. (2012). *Modelos urbanos sostenibles Metodología de trabajo y resultados*. Recuperado de [http://www.catmed.eu/archivos/desc7\\_CatMed%20Esp-Eng.pdf](http://www.catmed.eu/archivos/desc7_CatMed%20Esp-Eng.pdf)

Medi Ambient i Serveis Urbans-Ecologia Urban. (2016). *El consum d'aigua a Barcelona*. Recuperado de [http://ajuntament.barcelona.cat/lafabricadelsol/sites/default/files/informe\\_consum\\_aigua\\_2016\\_70282.pdf](http://ajuntament.barcelona.cat/lafabricadelsol/sites/default/files/informe_consum_aigua_2016_70282.pdf)

Pan XX. (2014). *Study on Evaluation, Influencing Factors and Convergence of Regional Eco-efficiency of China*. (Master thesis). Nanchang University, Nanchang, China.