

La medida y modelización de la sostenibilidad: Caso de estudio “La huella ecológica y los escenarios de futuro de la ciudad de Terrassa”

Es fa evident la necessitat de millorar el coneixement dels sistemes (característiques, propietats emergents, relacions, causes i impactes) per optimitzar la presa de decisions polítiques i de gestió, per tal d'arribar al desenvolupament sostenible del binomi humanitat-medi ambient. En el present article s'exposa un cas d'estudi concret on s'apliquen diverses metodologies i eines sistèmiques amb l'objectiu de millorar el coneixement d'un sistema tan complex com és una ciutat. L'aplicació d'un conjunt de mètodes, metodologies i eines es realitza amb el fi d'analitzar l'evolució de la petjada ecològica de la ciutat de Terrassa (Barcelona, Espanya), en funció d'una sèrie d'escenaris socioeconòmics. L'objectiu és poder confeccionar polítiques i/o accions per a la millora de la sostenibilitat de la ciutat. Primer es calcula un índex d'impacte ambiental (la petjada ecològica del municipi) i després es modelitza, mitjançant “Dinàmica de Sistemes”, la petjada ecològica conjuntament amb factors socioeconòmics, amb el fi d'estudiar l'evolució del sistema “Terrassa” i poder veure i analitzar el millor camí cap a la sostenibilitat. Com valor afegit es comparen i analitzen els resultats d'aquest estudi amb la realitat actual de la ciutat i es comprova la validesa dels seus resultats.

Es evidente la necesidad de mejorar el conocimiento de los sistemas (características, propiedades emergentes, relaciones, causas e impactos) para optimizar la toma de decisiones políticas y de gestión en pos del desarrollo sostenible del binomio humanidad-medio ambiente. En el presente artículo se expone un caso de estudio concreto en el que se aplican diversas metodologías y herramientas sistémicas con el objeto de mejorar el conocimiento de un sistema tan complejo como es una ciudad. La aplicación de un conjunto de métodos, metodologías y herramientas se realiza con el fin de analizar la evolución de la huella ecológica de la ciudad de Terrassa (Barcelona, España), en función de una serie de escenarios socioeconómicos. El objetivo es poder confeccionar políticas y/o acciones en pos de la mejora de la sostenibilidad de la ciudad. Primero se calcula un índice de impacto ambiental (la huella ecológica del municipio) y después se modeliza, mediante “Dinámica de Sistemas”, la huella ecológica conjuntamente con factores socioeconómicos, con el fin de estudiar la evolución del sistema “Terrassa” y poder vislumbrar y analizar el mejor camino para la sostenibilidad. Como valor añadido se comparan y analizan los resultados de este estudio con la realidad actual de la ciudad, y se comprueba la validez de sus resultados.

There is a clear need to improve the knowledge of systems (features, emergent properties, relationships, causes and impacts) with a view to optimizing policy and management decision-making to ensure the sustainable development of the humanity-environment binomial. This article presents a specific case study in which several systemic tools and methods are applied to shed light on a system as complex as that of a city and to analyse the evolution of the ecological footprint of the city of Terrassa (Barcelona, Spain) in various socio-economic scenarios, with a view to designing policies and/or actions to enhance the sustainability of the city. First, an environmental impact index—the ecological footprint of the municipality—is calculated; the ecological footprint and socioeconomic factors are then modeled using system dynamics to study the evolution of the Terrassa system and to envision and analyse the best way to attain sustainability. As an added value, the results of this study are analysed and compared with the current reality of the city, and the validity of the results are verified.

La medida y modelización de la sostenibilidad: Caso de estudio “La huella ecológica y los escenarios de futuro de la ciudad de Terrassa”

José Juan de Felipe i Bàrbara Sureda
Professors de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

Introducción

Los problemas actuales, contemplados desde cualquier ámbito, se tienen que resolver desde el punto de vista de la sostenibilidad. Eso implica tener en cuenta los impactos, causas, relaciones, etc. entre las tradicionales dimensiones de la sostenibilidad: social, económica, ambiental e institucional (NU, 1992).

Estas dimensiones conforman un sistema complejo (humanidad - medioambiente). Como todo sistema complejo posee unas características y propiedades emergentes, y específicamente en el sistema humanidad – medioambiente podemos destacar las siguientes características:

- Fuertes interrelaciones entre las diferentes dimensiones, que provocan dificultades de comprensión del propio sistema.
- Dificultad de valorar el punto óptimo del sistema.
- La aplicación del concepto de sostenibilidad, desde el punto de vista de los sistemas, es equivalente a la supervivencia del sistema en el tiempo (propiedad emergente de los sistemas abiertos)

Estas características provocan serias dificultades a la hora de tomar decisiones y de aplicar políticas con un determinado objetivo, las cuales muchas veces son frustradas por consecuencias no previstas a medio y largo plazo en otros elementos del sistema.

Así, tenemos múltiples ejemplos, como el problema de la saturación de las infraestructuras viarias terrestres, ya que cuando éstas se saturan, las medidas tomadas habitualmente son la construcción de nuevas infraestructuras y la ampliación de las existentes, lo cual produce un nuevo llamamiento a la movilidad, y a la larga, acaba con una nueva saturación. Otro ejemplo, serían las políticas contra la desocupación de finales de los 90 (mayor flexibilidad laboral, etc.) que hicieron bajar el desempleo, pero, a la vez, también provocaron una disminución de la productividad y de los índices de formación.

Estas situaciones provocan la necesidad de encontrar métodos, metodologías y herramientas que describan de una manera sencilla las múltiples interrelaciones existentes entre los diferentes factores y elementos que conforman el sistema, con el objeto de mejorar la comprensión sobre los procesos, relaciones e interrelaciones de los elementos del sistema para facilitar la toma de decisiones.

Ante esta situación, es necesario realizar un esfuerzo para la representación del conjunto de procesos que componen estas dinámicas. Las metodologías que mejor se adaptan a la representación de estos fenómenos son las metodologías sistémicas.

La metodología sistémica, junto con los conceptos básicos de sistemas y la visión inter/trans/multidisciplinar, da lugar a un nuevo enfoque que permite el estudio de estos fenómenos. Los tres interactúan formando una metodología que permite el estudio de las dinámicas y procesos de los sistemas.

El estudio y análisis de los sistemas, utilizando metodologías de tipo sistémico, se basa en la llamada medida y modelización de los sistemas. De esta manera se pueden realizar aproximaciones conceptuales (simplificadas) de la realidad posibilitando el estudio del comportamiento del sistema.

En el presente artículo presentaremos un caso de estudio concreto, en el cual se aplican un conjunto de métodos, metodologías y herramientas con el fin de analizar la evolución de la huella ecológica de la ciudad de Terrassa, en función de una serie de escenarios socioeconómicos con el fin de poder confeccionar políticas y/o acciones en pos de la mejora de la sostenibilidad de la ciudad. Este trabajo se desarrolló en el año 2006, en el marco de un convenio con el Ayuntamiento del municipio de Terrassa.

Este es un caso en el cual se aplica la “medida y modelización de la sostenibilidad”, primero calculando un índice de impacto ambiental, y después modelizándolo conjuntamente con factores socioeconómicos con el fin de estudiar la evolución del sistema “Terrassa” y poder vislumbrar y analizar el mejor camino para la sostenibilidad.

Como valor añadido se comparan y analizan los resultados de este estudio con la realidad actual de la ciudad 4 años después, y se comprueba la validez de sus resultados.

La huella ecológica de la ciudad de Terrassa

El índice huella ecológica se utiliza como medida del capital natural que utilizamos los humanos. Así, intenta medir según la disponibilidad de datos, el capital natural, el cual puede definirse como todo aquel material del planeta que sea útil y utilizado por la humanidad, menos el valor que la humanidad añade a este material.

Por lo tanto, es indudable el interés de este cálculo tanto en el ámbito mundial como en los ámbitos nacional, regional y local, para determinar la situación de la sostenibilidad medioambiental. Este interés se encuentra apoyado por la aplicación de la Agenda 21 (Programa 21, 1992) que determina tanto el cálculo, como la monitorización de la huella ecológica, para conocer la presión que ejerce una población determinada sobre su medio ambiente y además hacer el seguimiento de esta presión en el tiempo.

La metodología de cálculo se basa en la determinación de la superficie necesaria para satisfacer los consumos asociados tanto a la alimentación (cultivos, pastos, mar), como a los productos forestales (madera y derivados), además del gasto energético (el consumo directo de la población y el asociado a la producción de bienes de consumo) y de la ocupación del terreno (construido, tanto residencial como de infraestructuras). Estas superficies se expresan en hectáreas globales per cápita (gha/capita), es decir, en hectáreas de superficie biológicamente productiva con una productividad igual a la media mundial. Este hecho permite la estandarización y la comparación del índice huella ecológica entre países, regiones, ciudades, etc. Asimismo, también nos permite hacer la comparación con el territorio ecológicamente productivo disponible para cada uno de los habitantes del planeta, la denominada biocapacidad disponible media del planeta, y de esta manera comprobar si existe un superávit o un déficit de biocapacidad de una región o población determinada.

El cálculo de la huella ecológica de Terrassa se basó en los datos de producción, exportación e importación de los productos asociados a la alimentación, a los productos forestales, a los productos energéticos y a los datos de ocupación del suelo; y mediante el producto y/o división de los factores que reflejan tanto la productividad en el ámbito mundial como la productividad local se traducen estos datos de consumo en superficie necesaria global o local para producirlos (Warkernagel et al., 2005).

En el caso particular del cálculo de la huella ecológica del municipio de Terrassa, a causa de la imposibilidad de encontrar algunos de estos datos, exceptuando los de algunos sectores, como las infraestructuras, la movilidad y datos de consumo energético, se tuvo que extrapolar de la huella de Cataluña, tal como se ha realizado en el cálculo de la huella ecológica de otras ciudades, como por ejemplo Barcelona (España) (Relea, 1998).

Para poder visualizar su evolución temporal se calculó la huella ecológica para tres años diferentes, el año 1996, 2000 y 2004.

En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de la huella ecológica de la ciudad de Terrassa para dicho período.

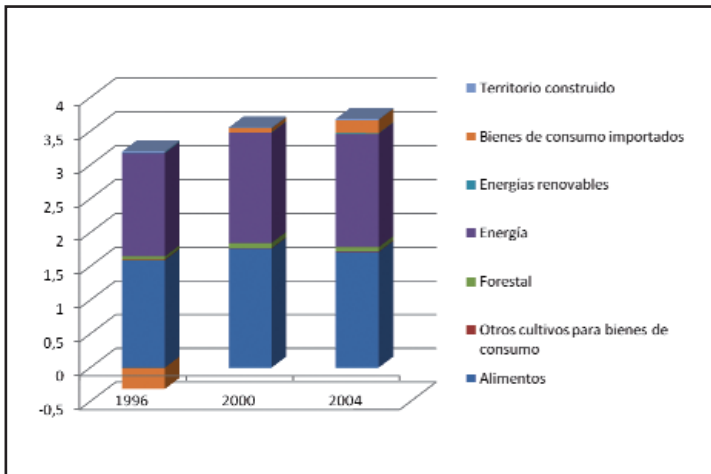


Gráfico 1. Evolución de la huella ecológica de Terrassa, por tipo de consumo (años 1996, 2000, 2004)

La evolución de la huella es creciente en los años estudiados, pero con una desaceleración en su crecimiento en el último periodo. Especialmente significativo es el cambio de tendencia en los bienes de consumo importados, que pasa de un valor negativo, es decir, las exportaciones superan las importaciones, a un valor positivo, que indica que las importaciones superan a las exportaciones. Por otra parte, se puede apreciar un aumento gradual en el consumo de energía. La disminución de la huella ecológica de los alimentos del año 2004 con respecto al año 2000 puede resultar engañosa. Esta disminución puede significar que hay una disminución en el consumo de

productos primarios sin transformar, pero quizás un aumento en el consumo de productos secundarios de importación. No se han contabilizado los productos primarios necesarios para la elaboración de productos transformados, a causa de la falta de datos.

En los siguientes gráficos se puede ver tanto la composición de la huella ecológica de la ciudad de Terrassa como la evolución de las hectáreas totales consumidas por los diferentes conceptos que incluye la misma en tres años diferentes (años 1996, 2000 y 2004).

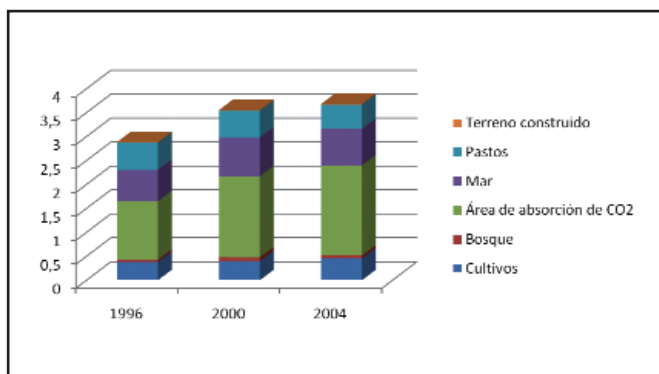


Gráfico 2. Evolución de la huella ecológica en Terrassa por componentes

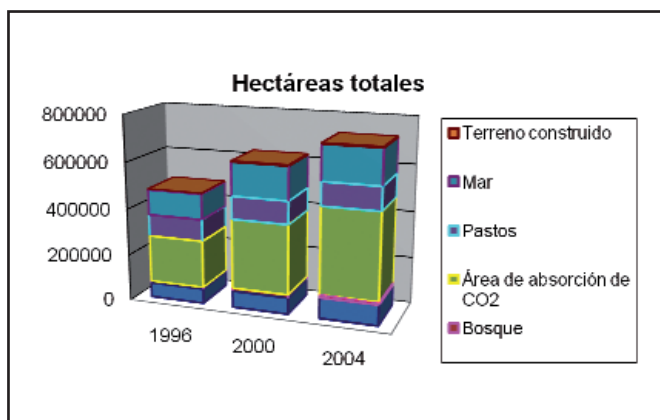


Gráfico 3. Evolución de las hectáreas totales de la huella ecológica de Terrassa

El cálculo de la huella ecológica de Terrassa y las hectáreas totales consumidas por los diferentes conceptos que incluye la misma en tres años diferentes (años 1996, 2000 y 2004) permitió buscar correlaciones con variables socioeconómicas para estos mismos años.

Las variables estudiadas fueron las siguientes:

Año	Huella ecológica (ha/cápita)	PIB Terrassa millones	Población	Hectáreas totales (ha)
1995		1.796,04	165.604	
1996	2,886	1.944,10	165.908	478.480,15
1997		1.929,34	167.781	
1998		1.914,69	169.987	
1999		1.993,51	172.807	
2000	3,556	2.075,58	175.649	624.597,52
2001		2.161,03	179.967	
2002		2.250,00	185636	
2003		2.116,00	190.828	
2004	3,681	2.203,11	196.053	721.670,40

Tabla I. Variables principales seleccionadas para realizar la comparación

La mejor correlación encontrada es la que hay entre la extensión total (hectáreas totales) y el PIB municipal de la ciudad de Terrassa. Hay una acusada linealidad entre estas variables, tal como se puede ver en el siguiente gráfico.

A partir de esta relación se implementó un submodelo de cálculo de la huella ecológica en Dinámica de sistemas, tal como se puede observar en la figura 1.

En el submodelo existen dos entradas, el PIB municipal y la población del municipio. Mediante el primero y a través de la correlación de primer orden se calcula el flujo de nuevas hectáreas consumidas, con ello se calculan las hectáreas totales, y a partir de este dato y la población se calcula la huella ecológica.

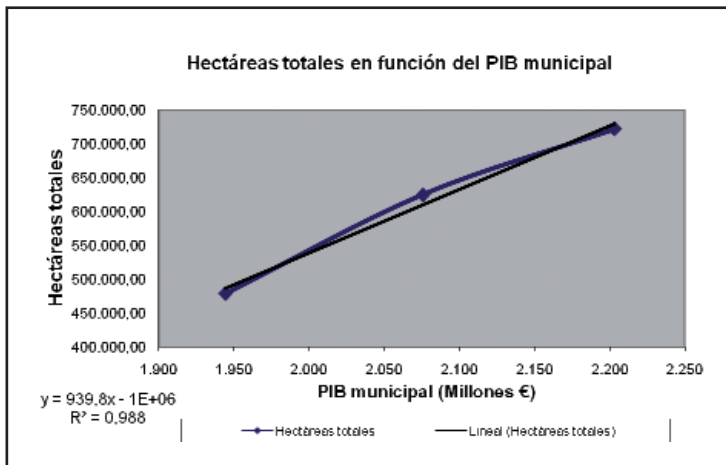


Gráfico 4. Relación entre las hectáreas totales y el PIB municipal

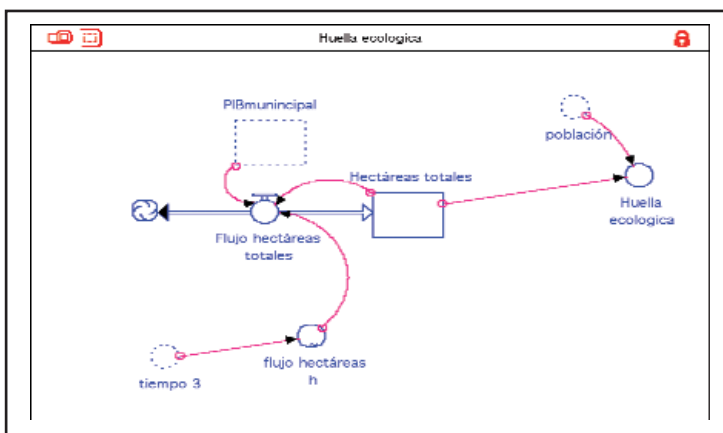


Figura 1. Submodelo de cálculo de la huella ecológica

El PIB municipal y la población se calcularon a partir de un modelo socio-económico implementado en dinámica de sistemas, realizado específicamente para la ciudad de Terrassa el año 2005 (de Felipe, J.J. et al; 2005).

Con estos modelos se realizaron dos escenarios, uno de alta actividad económica y otro de baja actividad económica. Los resultados más significativos se presentan a continuación.

Huella ecológica y escenario de alta actividad económica

El escenario de futuro de alta actividad económica se creó manteniendo las tendencias históricas de todas las variables y flujos que componen el modelo. Para simular la alta actividad económica se cambió la variable dimensión empresarial de los diferentes sectores económicos. Se mantuvo la tendencia histórica de evolución de esta variable, exceptuando la correspondiente al sector de servicios públicos. Con estas entradas las principales variables de salida del modelo fueron las siguientes:

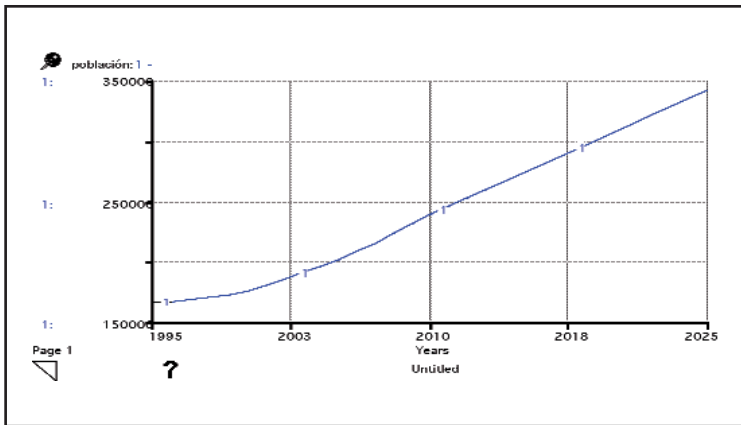


Gráfico 5. Población de Terrassa en el escenario de alta actividad económica

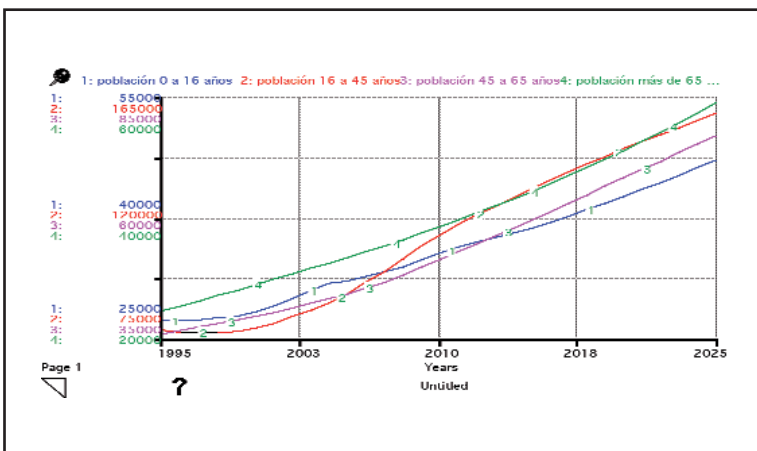


Gráfico 6. Población de Terrassa por cohortes en el escenario de alta actividad económica

En el submodelo población, los resultados más destacados son los siguientes: se puede ver la evolución de la población total y la población por cohortes. La población total de Terrassa llega a los 342.000 habitantes al final del periodo de simulación (año 2025). Este aumento de población se debe al crecimiento económico sostenido. Este factor atrae la inmigración, la oleada migratoria se mantiene hasta el año 2010 y a partir de este momento baja de intensidad, aunque en valores absolutos está en torno a los 12.500 inmigrantes anuales. La cohorte de población que tiene un crecimiento más pronunciado es la de 17 a 45 años. A pesar de esta evolución, la gente mayor (cohorte de más de 65 años) se multiplica por tres en este periodo de simulación.

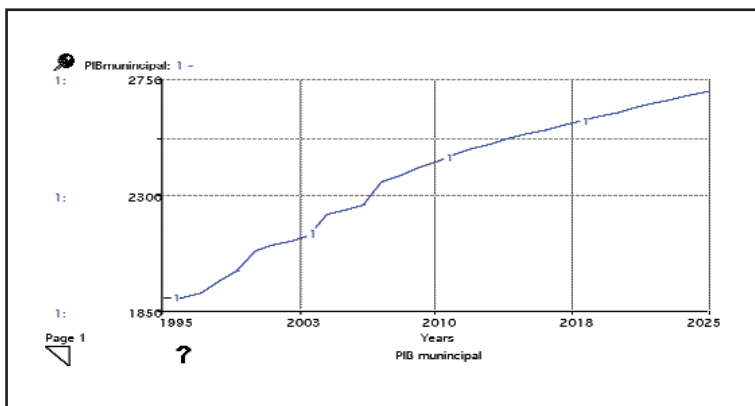


Gráfico 7. PIB municipal en el escenario de alta actividad económica (millones de euros)

En el submodelo económico, los resultados más destacados se presentan en el gráfico 7, en el cual se puede ver la evolución del PIB municipal. Este escenario presenta un aumento del PIB municipal mucho más acentuado que en el escenario de bajo crecimiento económico. Este crecimiento se debe a las altas tasas de ocupación en prácticamente todos los sectores económicos debido a la evolución de la dimensión empresarial.

En el submodelo de cálculo de la huella ecológica, los resultados más destacados son: el valor de la huella ecológica para el año 2025 es de 3,75 ha/cápita y tiene un máximo para el año 2008, con un valor de 4,25 ha/cápita. El valor de las hectáreas totales para el año 2025 es de 1.283.600 h.

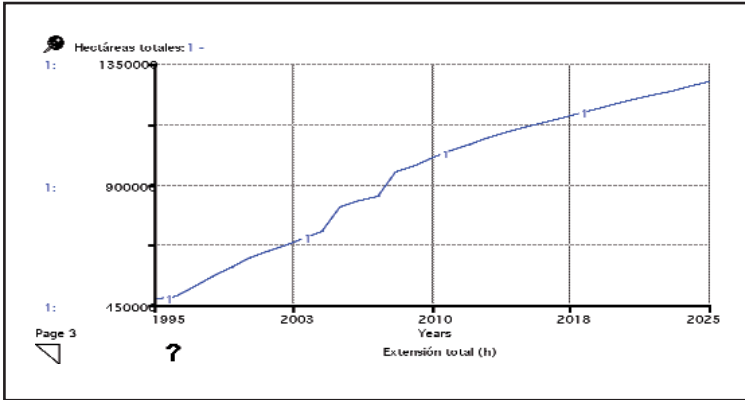


Gráfico 8. Hectáreas totales en el escenario de alta actividad económica

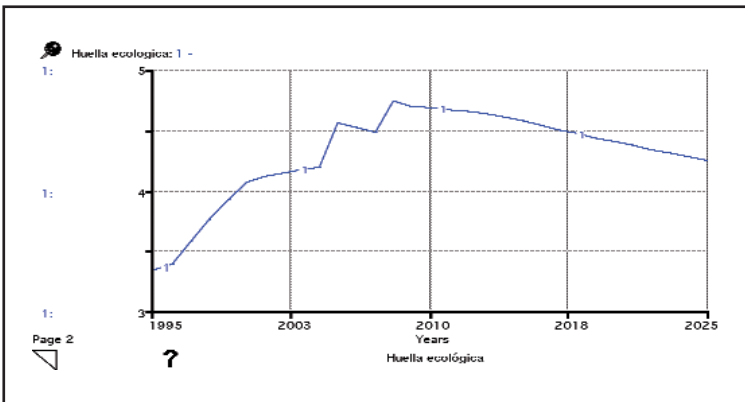


Gráfico 9. Huella ecológica de Terrassa en el escenario de alta actividad económica

Huella ecológica y escenario de baja actividad económica

El escenario de futuro de baja actividad económica se creó manteniendo las tendencias históricas de todas las variables y flujos que componen el modelo. Para simular la baja actividad económica se cambió la variable dimensión empresarial de los diferentes sectores económicos. Se mantuvo constante el valor de esta variable, con el valor del último dato histórico (año 2004).

Con estas entradas las principales variables de salida del modelo fueron las siguientes:

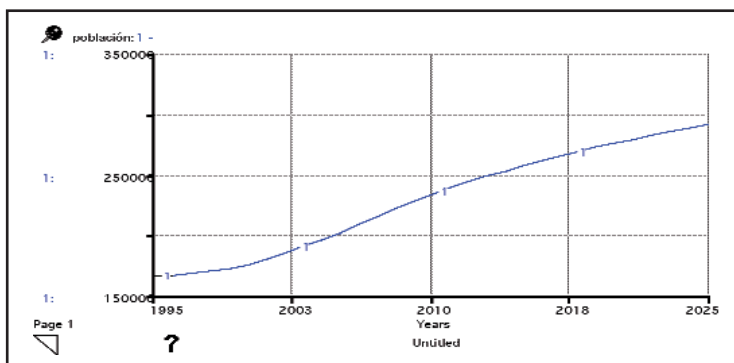


Gráfico 10. Población de Terrassa en el escenario de baja actividad económica

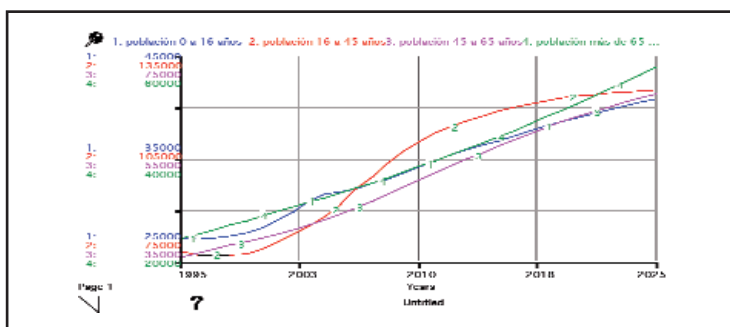


Gráfico 11. Población de Terrassa por cohortes en el escenario de baja actividad económica

En el submodelo de población, los resultados más destacados se presentan en los gráficos 10 y 11, en los cuales se puede ver la evolución de la población total y la población por cohortes. La población total de Terrassa llega a los 291.500 habitantes al final del periodo de simulación, en el año 2025. Este aumento de población se debe sobre todo a la atracción de Terrassa como residencia, si se mantuviesen en el futuro los precios competitivos de sus viviendas con respecto al resto de la zona metropolitana, y la disponibilidad de suelo residencial. Este factor atrae a la inmigración, ésta mantiene la oleada migratoria hasta el año 2010 y a partir de este momento baja de intensidad, pero en valores absolutos está en torno a los 6.500 inmigrantes anuales. La

población que tiene un crecimiento más pronunciado es la cohorte de 17 a 45 años. A pesar de esta evolución, la cohorte de más de 65 años se multiplica por tres en este periodo de simulación, igual que en el escenario de alta actividad económica.

En el submodelo económico, los resultados más destacados se presentan en el gráfico 12, en el que se puede ver la evolución del PIB municipal. Este escenario presenta un estancamiento del PIB municipal en todo el tiempo de proyección.

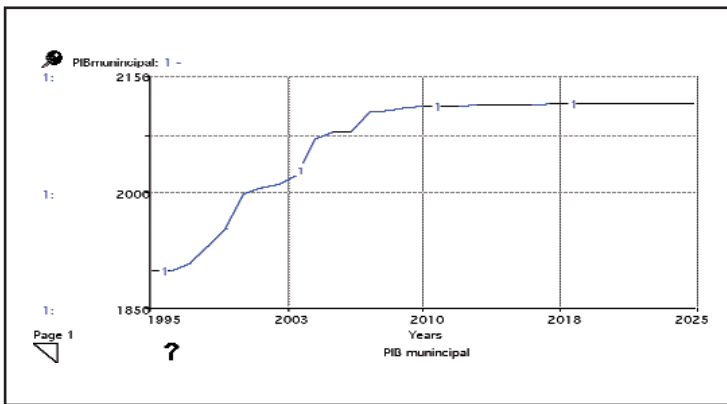


Gráfico 12. PIB municipal de Terrassa en el escenario de baja actividad económica (millones de euros)

En el submodelo de cálculo de la huella ecológica, los resultados más destacados se presentan en los gráficos 13 y 14, en los cuales se pueden ver las hectáreas totales y la huella ecológica en el municipio de Terrassa, para el escenario de baja actividad económica.

El valor de la huella ecológica para el año 2025 es de 2,78 ha/cápita. El valor de las hectáreas totales es de 810.000 ha. Este escenario refleja una ciudad que va creciendo en población pero su PIB está estancado, ya que el sector de más valor añadido (sector industrial) pierde peso económico, y gana peso el sector económico con menos valor añadido (servicios), con un aumento de la ocupación en el municipio muy inferior al aumento de población. Ello comporta una reducción del consumo en materiales para la producción de bienes, y a la vez al haber muchos habitantes que son residentes pero no trabajan en el municipio, parte de su consumo se realiza fuera del municipio, lo cual refleja globalmente una caída de la huella ecológica, menos consumo y más habitantes.

Análisis y conclusiones de los escenarios

La huella ecológica crece, en un primer periodo, a un ritmo igual que el PIB municipal. Eso supone que el aumento en el consumo de recursos medido por la huella se dedica a producir más bienes o servicios, lo cual mide el PIB. Esta hipótesis es corroborada con la correlación prácticamente proporcional entre el valor de la misma huella ecológica y el PIB municipal de Terrassa. En un segundo periodo, se desacopla del PIB municipal y, tanto en el escenario de alta actividad como en el de baja actividad, la huella ecológica disminuye. Esto es

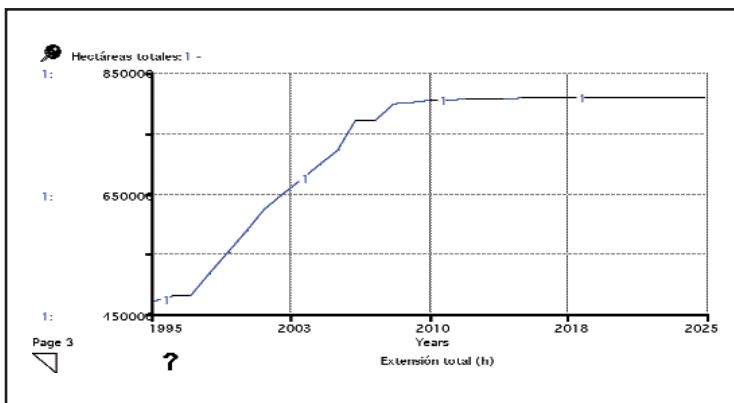


Gráfico 13. Hectáreas totales de Terrassa en el escenario de baja actividad económica

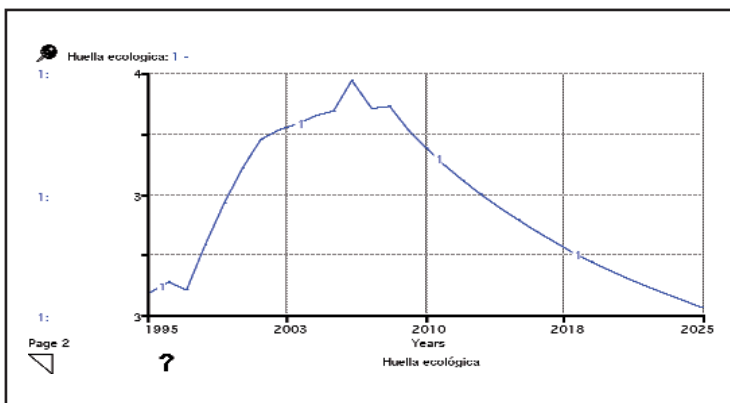


Gráfico 14. Huella ecológica de Terrassa en el escenario de baja actividad económica

debido a dos factores, un primer factor de tipo económico, el cual nos indica que la ciudad, que hasta ahora era eminentemente industrial (un sector que consume mucho recursos), se transforma en una ciudad de servicios, (sector económico que consume menos recursos); y un segundo factor de tipo social, que nos indica que la población del municipio aumenta mucho, con tasas de crecimiento superiores a las de consumo de recursos, lo cual se puede explicar ya que aumenta la población residente que trabaja fuera del municipio y, por lo tanto, una parte del consumo y la huella de los residentes se exporta a otras localidades.

La comparación entre los dos escenarios de futuro de la variable hectáreas totales y del índice huella ecológica, nos indica que los impactos medioambientales se deben, sobre todo, al modelo de consumo de los habitantes de Terrassa. La variación del PIB municipal no afecta, de una manera notable, a la evolución de estas variables.

Por todo ello, se puede deducir que la ciudad de Terrassa está en una etapa de transformación, de una ciudad de tipo industrial clásica a una ciudad con características eminentemente residenciales.

Conclusiones de la metodología empleada

En este caso de aplicación se han utilizado algunas de las herramientas que nos proporcionan las metodologías sistémicas. La compleja realidad socio-económica de una ciudad se ha simplificado a través de un modelo, con el cual se han podido confeccionar dos escenarios opuestos que nos proporcionan la suficiente información como para sopesar cómo podría evolucionar la variable “huella ecológica”.

Aunque son evidentes las limitaciones de la información que contiene el índice huella ecológica para escalas territoriales pequeñas, dado que una disminución en el valor del índice nos puede hacer pensar en la mejora de algunos aspectos relacionados con la sostenibilidad de la unidad territorial, cuando la realidad es diferente (se exportan los impactos ambientales), lo cual sólo se puede entender mediante un análisis holístico que utilice variables de distintas dimensiones.

Si analizamos retrospectivamente la evolución socio económica de la ciudad hasta la actualidad (año 2010), nos encontramos con una ciudad con un fuerte crecimiento económico y demográfico en el periodo 1995 – 2007, unos primeros síntomas de agotamiento de este modelo en el año 2008, y una clara recesión económica en los dos años siguientes, aunque no demográfica (sigue el aumento neto de población gracias a la inmigración).

Si esta evolución histórica la comparásemos con los resultados de los escenarios desarrollados en el año 2006, y los analizamos, podemos comprobar que realmente ha existido un cambio de modelo de ciudad, ésta se ha desindustrializado incluso en el periodo de crecimiento económico, debido a factores como la deslocalización derivada de la globalización económica. Ello ha conllevado un estancamiento y caída del PIB municipal a partir del año 2007, de hecho los únicos sectores económicos que crecieron en este periodo fueron la construcción y los servicios. Ha aumentado el número de residentes alcanzándose los 211.000 habitantes en el año 2009, a pesar de que la crisis económica ha provocado una tasa de desempleo que alcanzó el 19 % de la población activa el mismo año. Este flujo neto de nuevos residentes no está atraído por la actividad económica de la ciudad, sino por sus condiciones residenciales, de servicios y por los precios económicos de la vivienda, en comparación con el resto de la región metropolitana, por tanto, podemos concluir que se está configurando una ciudad eminentemente residencial.

Si todos estos efectos los tradujéramos en cómo evoluciona el índice “huella ecológica de la ciudad”, éste sufriría descensos mucho más significativos que los mostrados en los diferentes escenarios confeccionados con los modelos socio-económicos de la ciudad. Como diría un cineasta la realidad es más cruda que la ficción más dura.

Este caso expuesto nos demuestra la importancia de la utilización de un conjunto de metodologías sistémicas para el análisis de aspectos relacionados con la sostenibilidad de un sistema, ya que con ellas podemos subsanar las deficiencias y malas interpretaciones que se pueden derivar de la aplicación de una sola herramienta. De hecho, la realidad es mucho más compleja de lo que nuestros sentidos pueden observar y de lo que somos capaces de entender.

Referencias y bibliografía

Unitat Nacions.

<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/riodeclaration.htm> (1992).

UN Department of Economic and Social Affairs. Programa 21. Cumbre de la Tierra. Rio de Janeiro. 1992.

Wackernagel, M., Monfreda, Ch., [et al.]. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method, Global Footprint Network. Oakland. 2005.

Relea, F.; Prat, A. Aproximació de la petjada ecològica de Barcelona. Comissió de Medi Ambient i Serveis Urbans de l'Ajuntament de Barcelona. Barcelona, 1998.

de Felipe, J.J.; [et al.]. Escenaris de Sostenibilitat de Terrassa .Informe de Conjuntura de Terrassa 2005. Foment de Terrassa S.A. Terrassa. 2006.