

# Comportamiento térmico de un invernadero integrado en azotea en una ciudad mediterránea.

## Resultados preliminares

Nadal, A.<sup>1</sup> | Cuerva, E.<sup>2</sup> | Cerón, I.<sup>3</sup> | Josa, A.<sup>4,5</sup> | Rieradevall, J.<sup>1,6</sup>

### RESUMEN

La agricultura urbana (AU) es considerada una actividad esencial para el desarrollo de las ciudades debido a que promueve la producción local, ayuda a reducir los impactos ambientales del transporte y del embalaje de alimentos y, sobre todo, provee seguridad alimentaria a las poblaciones urbanas y contribuye a la cohesión social. Entre las diversas tipologías en las que se presenta la AU, se encuentran los invernaderos implementados en las azoteas de edificios urbanos (RTG's, Rooftop Greenhouses), utilizando superficies frecuentemente desaprovechadas y entre ellos los invernaderos integrados en las azoteas (i-RTGs, Integrated Rooftop Greenhouses) que reutilizan los flujos residuales de energía, agua y gases del invernadero o del edificio para mejorar las condiciones ambientales en ambos espacios.

Existen numerosos ejemplos de RTG's con un enfoque comercial y social en E.U.A, Canadá y Japón, en este sentido pero con un enfoque académico el invernadero integrado construido en la azotea del edificio ICTA-ICP

- 
- 1 Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona. Edificio Z del Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, España. Ana.Nadal@uab.cat
  - 2 Departamento de Ingeniería de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Avenida Diagonal 647, 08028 Barcelona, España. eva.cuerva@upc.edu
  - 3 Inèdit. Ecoinnovación e Investigación Ambiental. TECNIA, Parque tecnológico y de innovación km 15.5 carretera. Mérida-Progreso, Mérida, Yucatán, México. ileana@ineditinnova.mx
  - 4 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P., Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Campus Nord, C/Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, España. alejandro.josa@upc.edu
  - 5 Instituto de Sostenibilidad (IS.UPC), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Campus Nord, C/Jordi Girona 31, 08034 Barcelona, España.
  - 6 Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Barcelona, Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, España. Joan.Rieradevall@uab.cat

(UAB, Barcelona, España, ICTA i-RTG), analiza desde un punto de vista de la sostenibilidad el sistema de producción agrícola en zonas urbanas del Mediterráneo a través de su interconexión con el resto del edificio. El ICTA i-RTG reutiliza el calor residual del edificio, las concentraciones de CO<sup>2</sup> y el agua pluvial para reducir sus impactos ambientales.

En el marco del proyecto Fertilecity, esta contribución expone los resultados preliminares del comportamiento térmico-energético del ICTA i-RTG durante el año del 2015 en el clima mediterráneo. Para la caracterización del comportamiento energético, las condiciones interiores y exteriores son monitoreadas en términos de temperatura, humedad, radiación solar y otras variables climáticas, mediante diversas sondas e instrumentos uniformemente distribuidos dentro y fuera del edificio.

Los resultados preliminares indican que durante el invierno el calor residual del edificio ayuda a mantener las condiciones ideales de temperatura para la productividad del sistema de horticultura, presentando una diferencia promedio de 10 °C en comparación con las temperaturas registradas fuera del edificio y en invernaderos convencionales. Durante la primavera y el otoño se presentan las condiciones más estables para el cultivo y el verano representa un reto debido a las altas temperaturas exteriores que influyen en el edificio y el invernadero. Estos resultados indican que existe una mejora térmica en relación a los invernaderos convencionales principalmente en invierno y se espera en un futuro cuantificar la minimización del consumo de energía no renovable directa en el ICTA-iRTG.

*Palabras clave: i-RTG , Agricultura urbana vertical, Energía, Temperatura, Sustentabilidad urbana.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Históricamente la Agricultura Urbana (AU) ha condicionado el desarrollo y conformación de la sociedad mundial actual; desde las grandes civilizaciones por medio de jardines frutales y de especies dentro de los límites de las ciudades para el consumo de la población <sup>[1]</sup>, por medio de huertos urbanos colectivos en los periodos de guerras para la sobrevivencia de la población <sup>[2]</sup>, <sup>[3]</sup>, hasta la tendencia actual de reinserción de la AU en proyectos de edificios o infraestructuras con cero emisiones <sup>[4]</sup>.

Es así como hoy en día la AU se enfrenta al reto de la falta de espacio dentro de la ciudad para su desarrollo y al problema con el sistema actual de alimentos que radica en la enorme cantidad de suministros o materia prima que se necesita para su cultivo y la necesidad de recorrer grandes distancias desde la zona rural en la que se cultivan hasta el punto urbano final de consumo, con los impactos, en particular de emisiones de CO<sup>2</sup>, que esto genera.

Este problema se acentúa debido al rápido y constante aumento de la población en muchas ciudades, lo que conlleva una demanda cada vez mayor de alimentos. Por mencionar algunos ejemplos, actualmente más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas <sup>[5]</sup>, en Europa, se estima que alrededor del 75% de la población vive en las ciudades y se prevé que aumente a un 80% en el 2020 <sup>[6]</sup>; mientras que en América Latina y el Caribe la población actual en las ciudades es del 79% <sup>[7]</sup> y se estima aumente considerablemente.

Ante esto, la AU en cubierta e incorporada en edificios constituye una oportunidad real y confiable en ciudades compactas para satisfacer las necesidades nutricionales básicas que los pobladores requieren diariamente, además de generar considerables beneficios ambientales, sociales y económicos; ya que promueve la producción local, ayuda a reducir los impactos ambientales del transporte y del embalaje de alimentos y, sobre todo, provee seguridad alimentaria a las poblaciones urbanas contribuyendo a la cohesión social.

### **1.1. Agricultura urbana en las azoteas**

Se estima que cerca de 800 millones de personas practican actualmente la AU <sup>[8]</sup>, <sup>[9]</sup>, especialmente en países desarrollados como respuesta a una creciente conciencia del alto impacto ambiental que generan los sistemas alimentarios vigentes <sup>[10]</sup>, <sup>[11]</sup>, <sup>[12]</sup>.

La AU presenta diversas tipologías que permiten hacer agricultura en contextos construidos desde una gran variedad de enfoques, modelos, escalas y orientaciones: jardines comunitarios para el desarrollo social de una comunidad, huertos privados para autoconsumo o grandes superficies cultivables para el comercio a mediana o gran escala <sup>[14]</sup>. Actualmente la UA posee un enfoque que la lleva a establecerse sobre, dentro o en las superficies de los edificios a través de formas relacionadas con el diseño y construcción de los mismos; estas formas de AU se han definido por varios autores como Skyfarming <sup>[15]</sup>, Vertical Farming <sup>[16]</sup>, Zero-Acreage Farming <sup>[17]</sup>, o Building-Integrated Agriculture <sup>[18]</sup>, entre otras.

Específicamente entre estas formas de integración, se encuentran los invernaderos implementados en las azoteas de edificios urbanos (Rooftop Grenhouse, RTG) que promueven la producción local de alimentos, por lo general, mediante el uso de sistemas de cultivo hidropónico para la producción hortícola <sup>[19]</sup>, <sup>[20]</sup>. Entre ellos, varias empresas de comercio local de alimentos en Canadá y Estados Unidos de América: Lufa Farms (Montreal) que venden diferentes variedades de verduras producidas en un invernadero de 2.900 m<sup>2</sup> o Gotham Greens (Brooklyn, New York) con 1.400 m<sup>2</sup>.

Cuando un RTG puede mantener una conexión directa con el edificio por medio de la cual se realiza un intercambio de los flujos residuales de energía (principalmente intercambio de temperatura y humedad), gases (CO<sup>2</sup>) y agua (ya sea pluvial o reutilizada) se le puede denominar iRTG (Integrated Rooftop Greenhouse) o invernadero integrado en la azotea. Este sofisticado modelo de tipología de la agricultura urbana se centra en el principio de "simbiosis con el edificio"; se aprovecha el calor o frío residual del edificio o del invernadero para mejorar las condiciones de confort climático de ambos espacios; la concentración de CO<sup>2</sup> en el edificio se

emplea como fertilizante natural para el cultivo; y el agua pluvial se puede recolectar y reutilizar en áreas específicas tanto del edificio como para el cultivo.

Es así como en 2014 el ICTA- iRTG en la Universidad Autónoma de Barcelona inició sus labores con el fin de demostrar la viabilidad de este concepto en zonas mediterráneas, además de promover a la AU como una de las herramientas con mayor potencial y de acción directa para apoyar la cohesión social en las ciudades y para garantizar la seguridad alimentaria.

### **1.3. Objetivo**

La presente contribución tiene como objetivo exponer los resultados preliminares de la caracterización del comportamiento térmico en las diferentes estaciones del año del ICTA-iRTG en relación a la simbiosis con el edificio ICTA-ICP y el aprovechamiento del mismo para mantener las condiciones ideales para el cultivo.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Descripción del área de estudio: ICTA i-RTG**

El ICTA i-RTG se encuentra ubicado en el campus universitario de Bellaterra, Barcelona, España. El edificio fue diseñado y construido en 2014 bajo los aspectos de un volumen compacto, multi-funcional, con eficiencia energética y principalmente empleando los conceptos de la agricultura integrada en edificios; es por eso que le fue otorgada la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) GOLD por el USBGC (US Green Building Council).

El edificio posee una superficie de 7.200 m<sup>2</sup> distribuidos en 6 plantas conformadas por despachos, laboratorios, espacios comunes, estacionamiento y almacenes. Así mismo el edificio dispone de dos espacios de alrededor de 125 m<sup>2</sup> que se integran en la azotea del edificio y conforman el ICTA-iRTG (Imagen 1), los cuales tienen como objetivo cultivar hortalizas que integran la dieta tradicional mediterránea empleando tecnología de cultivo hidropónico y que además promueve una simbiosis entre el invernadero en dos direcciones edificio-invernadero e invernadero-edificio que permiten mantener las condiciones ideales para el cultivo (de 14°C a 26°C para el cultivo de hortalizas) señaladas por la FAO para la zona mediterránea<sup>[21]</sup>. Por el momento únicamente se encuentra operativo uno de los dos invernaderos. El segundo iniciará operaciones a mediados de febrero del 2016 y como el anterior sólo se encuentra habilitado para el intercambio de flujos residuales en el sentido edificio-invernadero.

Se han producido con éxito tres cultivos de lechuga (a modo de pruebas de arranque y de cultivos intermedios) y dos de tomate Corazón de buey con una productividad, en este último caso, de 15 kg por m<sup>2</sup>.

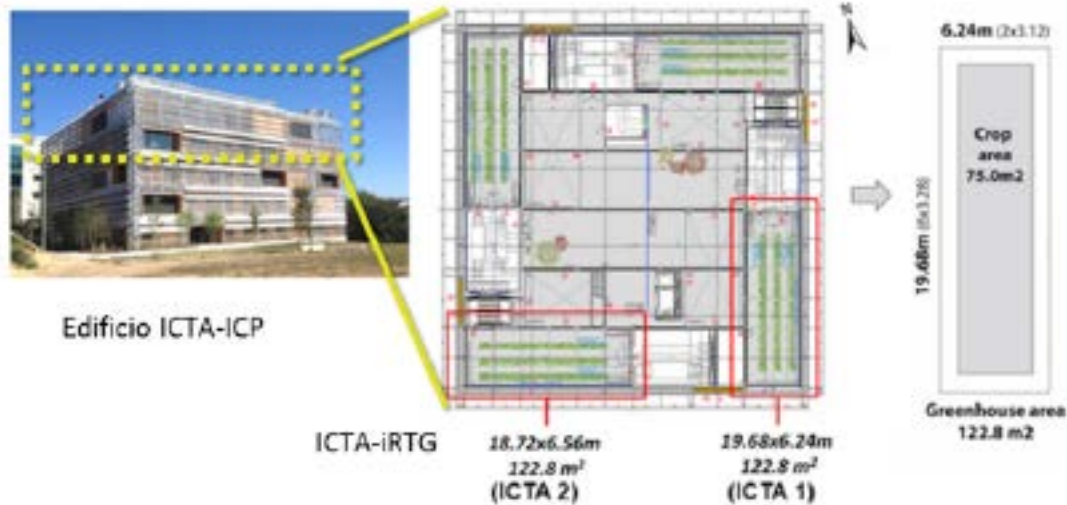


Imagen 1. ICTA-iRTG, ubicación, dimensiones e intercambio de flujos residuales de energía (E), agua (A) y gases (G; CO<sup>2</sup>).

El edificio ICTA cuenta con un forjado reticular de hormigón, con revestimientos interiores de madera reciclada, cubierta y segunda piel de fachada de policarbonato que permiten el paso de la radiación solar para el crecimiento del cultivo y la iluminación natural en los espacios interiores. El sistema de calefacción/ refrigeración es del tipo suelo radiante pero únicamente se encuentra dentro de los espacios internos de trabajo y en los laboratorios. Las áreas de circulación y el invernadero no cuentan con este sistema, por lo que la ventilación o calefacción del ICTA-iRTG se da por medio de la apertura o cierre de las ventanas de las fachadas y cubierta, la incidencia de la radiación solar directa o no (malla de sombreo horizontal), por la reutilización del flujo residual de aire de los laboratorios (ventana de aire residual con control de temperatura) y por la comunicación o no con el resto del edificio (cortina de separación invernadero-atrio edificio).

Las investigaciones en el ICTA-iRTG se desarrollan como parte del proyecto Fertility que analiza desde la visión de la sostenibilidad tecnológica, un nuevo sistema de producción agrícola

en las zonas urbanas del Mediterráneo a través de invernaderos integrados en edificios (i-RTG) que mejoran su metabolismo mediante el intercambio directo de flujos de energía, agua y CO<sup>2</sup>.

## 2.2. Descripción de los instrumentos

El ICTA-iRTG cuenta con dos sistemas independientes y complementarios de instrumentos para el monitoreo: Software Siemens de control del ICTA-iRTG y Sistema Campbell de sensores de adquisición continua de datos.

El software Siemens de control del ICTA-iRTG (Imagen 2) permite a los investigadores una gestión adecuada de las condiciones térmicas del invernadero con base en los requisitos del cultivo mediante la apertura o cierre de las ventanas y cubierta dependiendo de las condiciones del ICTA-iRTG, del edificio y del exterior.

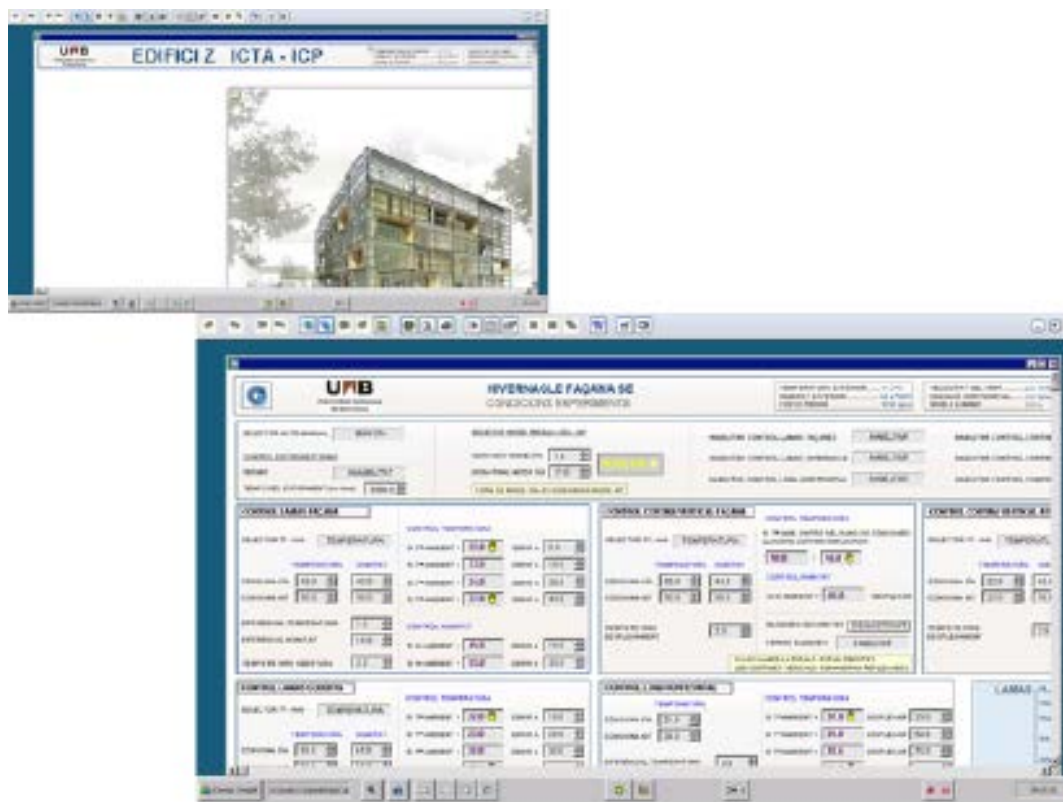


Imagen 2. Software Siemens de control del ICTA-iRTG.

Este sistema de gestión mejora continuamente mediante la incorporación de datos a tiempo real para la toma de decisiones automáticas según los requerimientos ideales para el desarrollo de las actividades de los usuarios. Para la adquisición de datos el edificio cuenta con diferentes sensores y sondas de temperatura, humedad, calidad del aire, radiación solar, velocidad del aire, entre otros, distribuidos dentro y fuera del edificio. Todos los sensores son previamente calibrados por la empresa Siemens.

El segundo sistema de adquisición de datos es el Sistema Campbell de sensores de adquisición continua de datos (Imagen 3), conformado por: un adquisidor de datos, 12 sondas de temperatura, 3 sondas de temperatura y humedad, 2 piranómetros y 2 sondas de temperatura superficial.

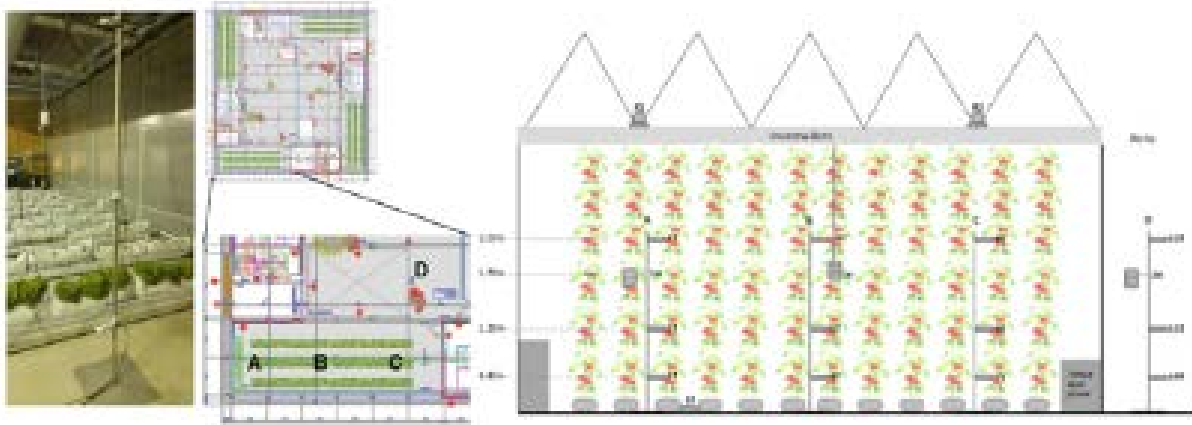


Imagen 3. Ubicación del Sistema Campbell de sensores de adquisición continua de datos del ICTA-iRTG.

Estos instrumentos están localizados dentro del ICTA-iRTG y en el atrio superior del edificio ICTA-ICP, distribuidos uniformemente en 4 soportes verticales a las alturas de 0,40 m, 1,20 m, 1,70 m y 2,20 m. Cada soporte vertical posee tres sondas de temperatura y una sonda de temperatura y humedad relativa. Las medidas se toman cada 5 segundos y un promedio se realiza cada 10 minutos y cada hora; los datos exteriores se obtienen a partir de la estación meteorológica del edificio y se corroboran con la estación meteorológica de Sabadell Parque Agrario, a 5 km de distancia. El sistema también cuenta con otras sondas y sensores que monitorean la calidad del aire, pH y conductividad del agua de riego. Todos los sensores son previamente calibrados por la empresa Campbell.

### 2.3. Descripción general del sistema

Los sistemas de adquisición de datos del ICTA-iRTG (Imagen 4) generan datos históricos de las condiciones internas de temperatura, humedad, CO<sup>2</sup>, y de las condiciones meteorológicas externas para la toma de decisiones del control y mantenimiento tanto del edificio como del ICTA-iRTG.

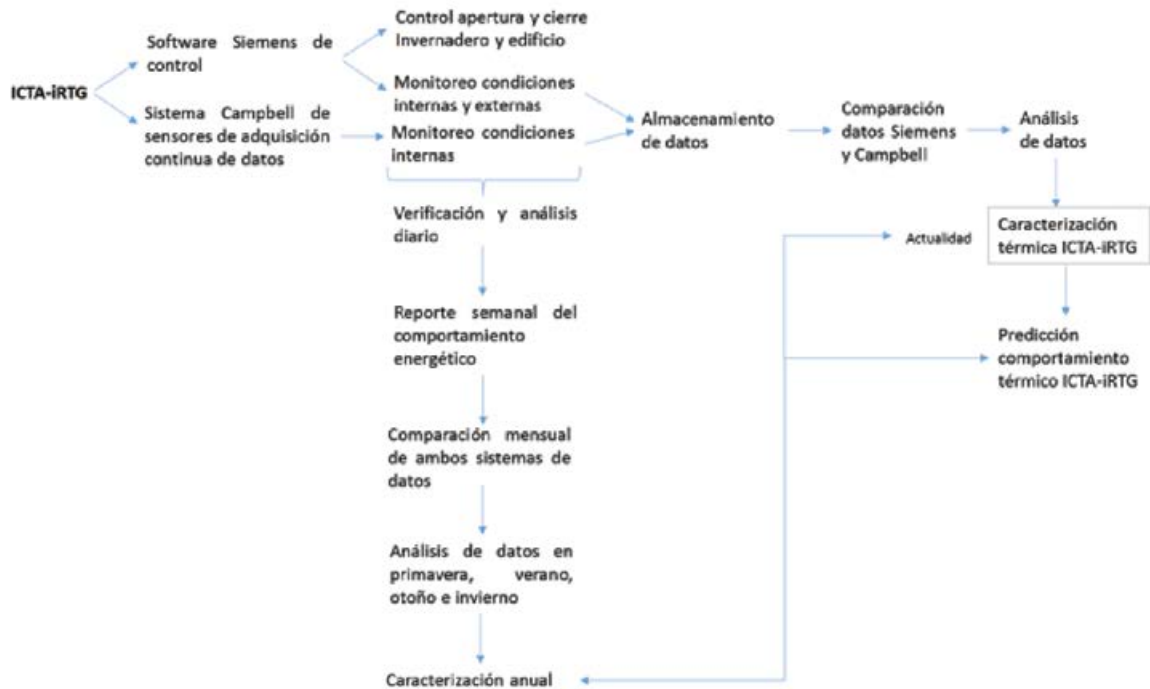


Imagen 4. Esquema general de la adquisición de datos del ICTA-iRTG.  
Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo del objetivo de estudio, los datos se pueden mantener archivados dentro de los sistemas Siemens y Campbell; cada semana se realiza un breve reporte de las condiciones presentadas; cada mes se hace una comparación de ambos sistemas; en cada cambio de estación se analizan a fondo; y finalmente cada año se verifica el comportamiento general para poder realizar una predicción o modificación en las consignas de control y protocolos para su optimización y correcto funcionamiento para el año siguiente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Condiciones térmicas del ICTA-iRTG

El año 2015 ha sido el primer año de funcionamiento del ICTA-iRTG, y sus temperaturas promedio resultan mayormente favorables en las 4 estaciones ya que en su mayoría se encuentran dentro del rango de 26-14°C considerado como ideal por la FAO para los cultivos de hortalizas en la zona mediterránea de Barcelona. Los resultados de las temperaturas máximas, mínimas y promedio a lo largo de las 4 estaciones de 2015 se exponen en la Tabla 1. En ella se puede observar que la temperatura más cálida es de 30.8°C (en verano), sobrepasando la temperatura máxima ideal de 26°C, y la temperatura mínima fue de 13.3°C (en invierno), estando por debajo de la mínima ideal de 14°C; sin embargo resulta interesante el hecho que la temperatura mínima de 13.3°C sea cercana a la ideal.



Tabla 1. Temperaturas anuales extremas y promedio en las diferentes estaciones del 2015 del ICTA-iRTG.

	<b>Invierno</b> 21 dic 2014-19 mar 2015	<b>Primavera</b> 20 mar -20 jun 2015	<b>Verano</b> 21 jun-22 sep 2015	<b>Otoño</b> 23 sep-20dic 2015
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	25.93	28.94	30.81	28.09
<b>Temperatura mínima (°C)</b>	13.28	17.96	20.81	16.07
<b>Temperatura promedio (°C)</b>	18.71	21.96	25.79	20.27

En cuanto a las temperaturas promedio se tiene una máxima en verano de 25.8°C, dentro del rango ideal para el cultivo, y una mínima promedio de 18.7°C en invierno, igual dentro del rango ideal. Sin embargo las temperaturas cálidas superiores a 26°C representan el 16 % del total anual del 2015, lo que no representa un riesgo para el cultivo.

Para ilustrar el comportamiento térmico del ICTA-iRTG, la Imagen 5 señala los diferentes perfiles térmicos de un día promedio de invierno, primavera, verano y otoño de 2015, presentando una diferencia aproximada de 10°C entre las temperaturas de verano y de invierno, mientras que durante la primavera y el otoño los perfiles térmicos suelen presentar hasta cierto punto un perfil similar, pero con la diferencia de que durante la primavera las temperaturas cercanas al medio día suelen ser más elevadas que en otoño. En cuanto a la diferencia entre las temperaturas entre el invierno y la primavera varían en un rango de 5 a 7.5°C y en relación al otoño presenta una diferencia de 2.5 a 3 °C.

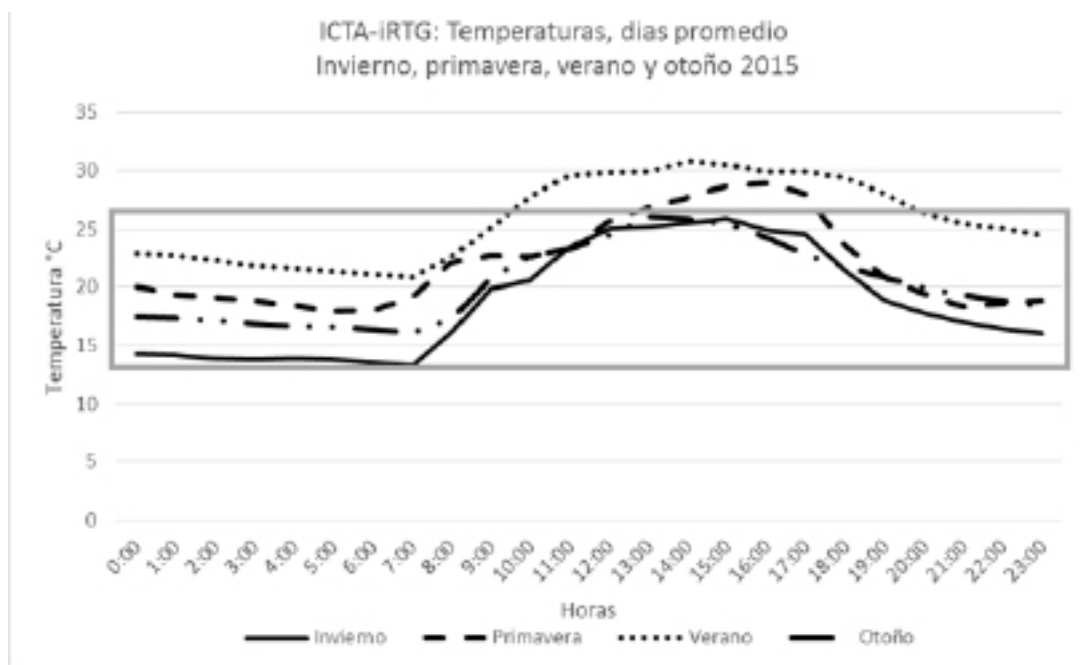


Imagen 5. Comparación de las temperaturas del ICTA-iRTG durante el invierno, primavera, verano y otoño 2015.

### 3.2. Comportamiento térmico anual (4 estaciones, 2015)

Al comparar las temperaturas promedio características de un día de cada una de las estaciones anuales registradas en el ICTA-iRTG con las temperaturas del exterior y las registradas en las zonas internas del edificio en contacto directo con el invernadero (atrio superior del edificio ICTA) (Imagen 6) se puede observar que durante el invierno (21 dic 2014-19 mar 2015) el ICTA-iRTG presentó una diferencia en relación a la exterior de hasta unos 10°C tanto en la noche como en el día, siempre por encima de la temperatura exterior y dentro del rango óptimo o ideal para el cultivo, lo cual resulta favorecedor ya que éste nunca llega a sufrir por bajas temperaturas y se garantiza su crecimiento. Contrario al comportamiento que se presenta dentro del ICTA-iRTG, en un invernadero convencional las temperaturas nocturnas suelen ser iguales o más bajas que las registradas en el exterior (inclusive llegándose a presentar temperaturas bajo cero); es por ello que la mayoría de invernaderos, al no contar con sistemas de calefacción, optan por no cultivar en invierno.

Las temperaturas nocturnas del ICTA-iRTG durante el invierno se pueden atribuir a la inercia térmica que presenta el suelo de hormigón, al aire residual cálido del atrio y de los laboratorios del edificio ICTA-ICP y a las paredes de madera que durante el día captan calor y durante la noche lo liberan, produciendo que la temperatura nocturna del invernadero se mantenga por encima de 10°C respecto al exterior.

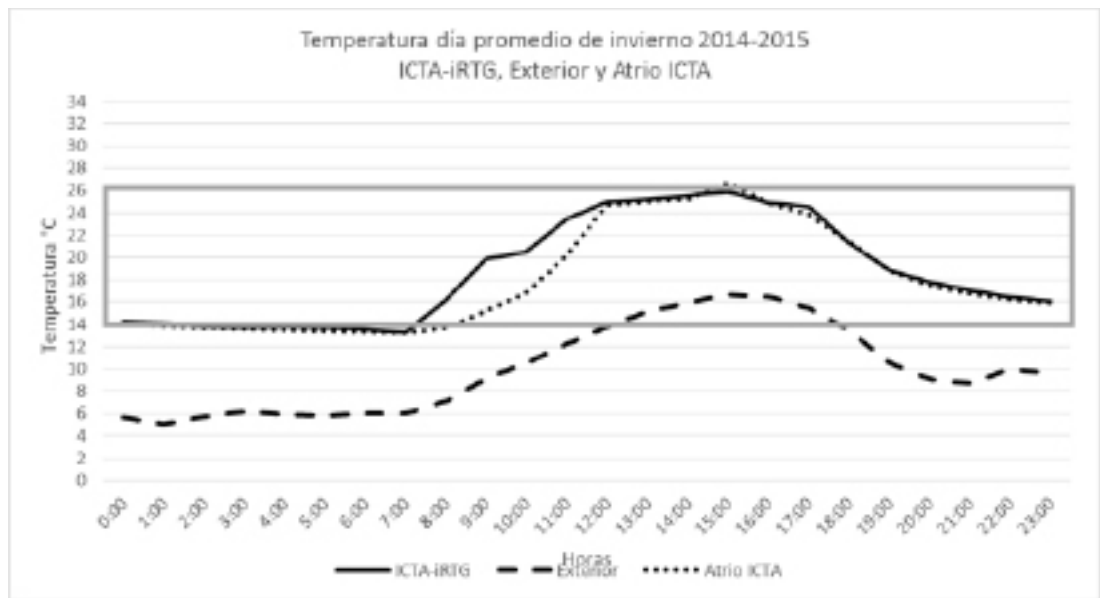


Imagen 6. Comparación de las temperaturas de un día promedio de invierno, ICTA-iRTG, Exterior y Atrio ICTA. LA TEMPERATURA SIGUE LA DEL ATRIO

Durante la primavera (Imagen 7) el comportamiento térmico del ICTA-iRTG excede la temperatura máxima del rango ideal de 26°C, ya que presenta temperaturas ligeramente más elevadas de 28°C. Sin embargo las temperaturas registradas durante la noche son apropiadas y prácticamente ideales. El atrio presenta un fenómeno de “meseta térmica” durante las horas cercanas

al medio día debido a temperaturas más uniformes, fenómeno que no ocurre en el ICTA-iRTG. La relación térmica ICTA-iRTG en primavera con el exterior está caracterizada por presentar siempre temperaturas más elevadas que las exteriores, con una diferencia de aproximadamente 7.5°C en promedio durante la noche y 2°C al medio día.

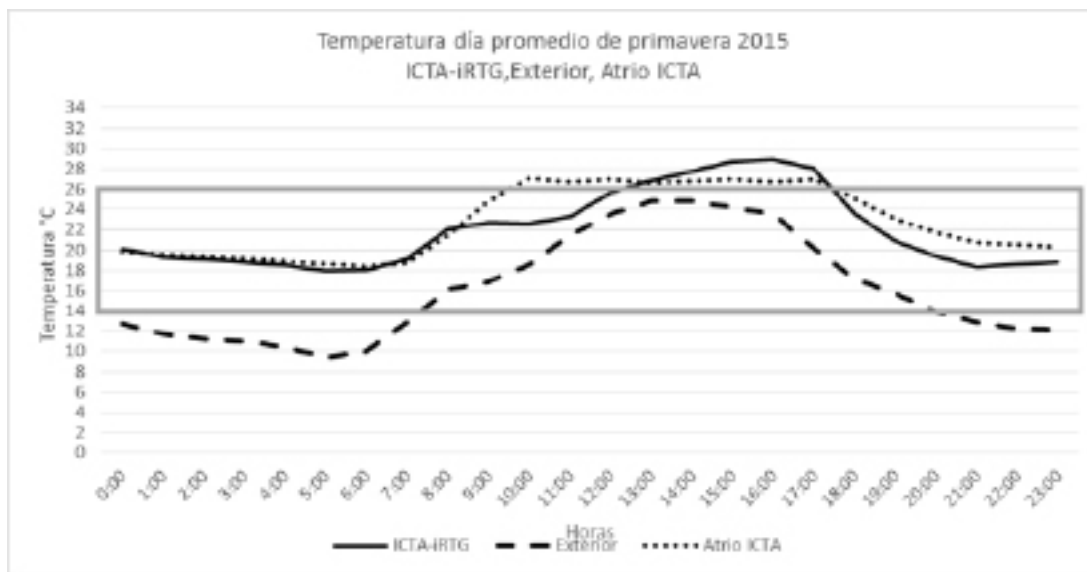


Imagen 7. Comparación de las temperaturas de un día promedio de primavera, ICTA-iRTG, Exterior y Atrio ICTA.

El verano resulta ser la estación de más riesgo para el cultivo del ICTA-iRTG ya que como se ilustra en le Imagen 8, las temperaturas registradas durante el medio día superan en casi 5°C la temperatura máxima ideal de 26°C y con una duración de casi 7 horas. El atrio es el espacio más caliente en relación al exterior y el ICTA-iRTG, presentando mínimas de 22°C; de forma general tanto el ICTA-iRTG, el exterior y el atrio del ICTA-ICP presentan temperaturas elevadas y con un rango variable entre ellos. El sobrecalentamiento que presenta el ICTA-iRTG se puede atribuir al efecto invernadero que se genera dentro del espacio, fenómeno favorable en invierno pero perjudicial en verano. Debido a este fenómeno de sobrecalentamiento se realizaron pruebas de sombreado de dichas superficies pero se concluyó que la mejor forma para disipar las altas temperaturas del ICTA-iRTG es la ventilación, pero al no contar con un sistema activo de ventilación depende totalmente de la ventilación natural que se presente en la zona geográfica donde se ubica el ICTA-ICP, lo cual abre las puertas para la investigación de un sistema de ventilación de alta eficiencia energética.

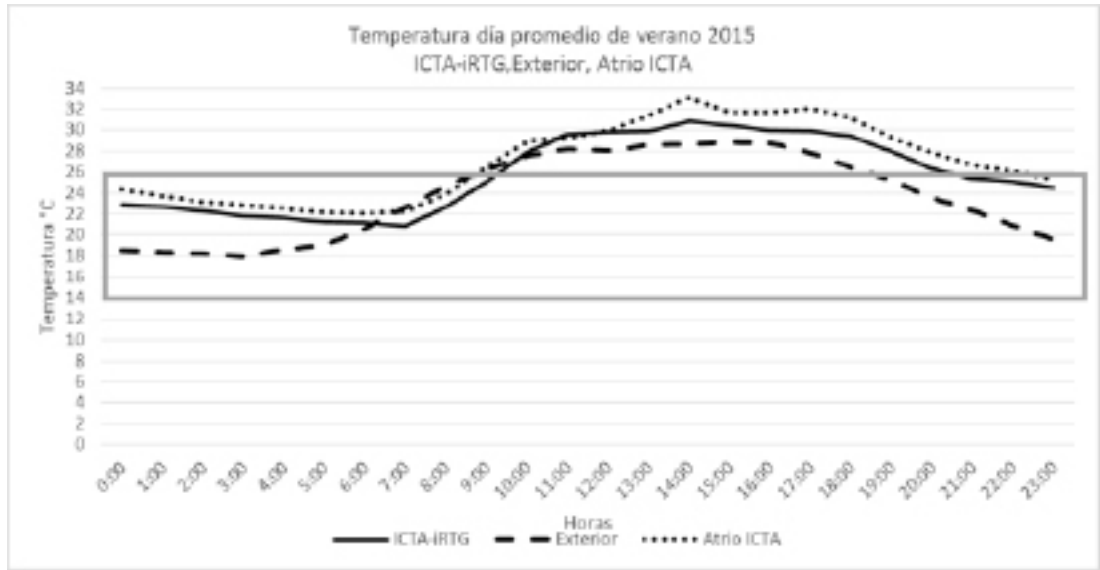


Imagen 8. Comparación de las temperaturas de un día promedio de verano, ICTA-iRTG, Exterior y Atrio ICTA.

Al igual que en la primavera, el otoño (Imagen 9), siendo un periodo intermedio, el comportamiento térmico del ICTA-iRTG no representa un riesgo para el cultivo; por el contrario presenta temperaturas muy favorables para el mismo y dentro del rango ideal para su desarrollo. El atrio del ICTA-ICP sigue presentando temperaturas más elevadas que el ICTA-iRTG y el exterior. Por otro lado el rango de diferencia térmica entre el ICTA-iRTG y el exterior es similar al de invierno pero únicamente alcanza una diferencia de 7.5°C.

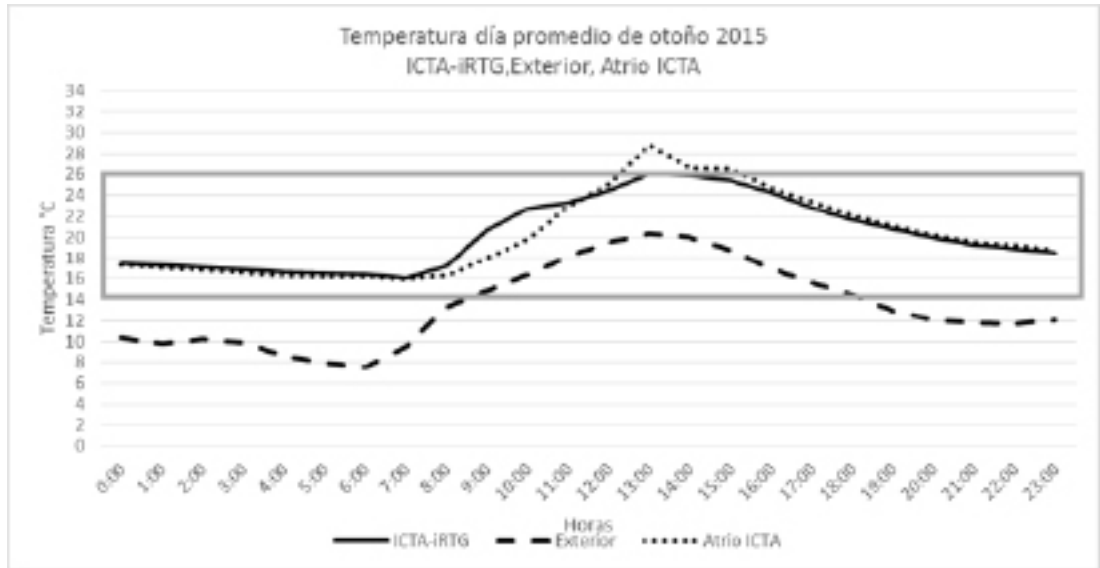


Imagen 9. Comparación de las temperaturas de un día promedio de otoño, ICTA-iRTG, Exterior y atrio ICTA.

### 3.3. Evolución térmica anual del ICTA-iRTG

Al unir las diferentes temperaturas promedio que el ICTA-iRTG presento en las 4 estaciones de 2015 y compararlas con las temperaturas promedio exteriores y del atrio del edificio ICTA, se obtiene la Imagen 10, en la cual se observan los siguientes aspectos:

- El comportamiento térmico del ICTA-iRTG presenta una tendencia similar a la temperatura del atrio del edificio ICTA-ICP, pero a otra escala.
- El rango de diferencia térmica entre el ICTA-iRTG y el exterior es mayor en invierno y otoño. Durante el verano, el ICTA-iRTG, el atrio del ICTA-ICP y el exterior presentan temperaturas similares durante las primeras horas del día.
- El atrio suele presentar temperaturas más elevadas que el exterior durante primavera, verano y otoño, pero relativamente cercanas a las registradas en el ICTA-iRTG.

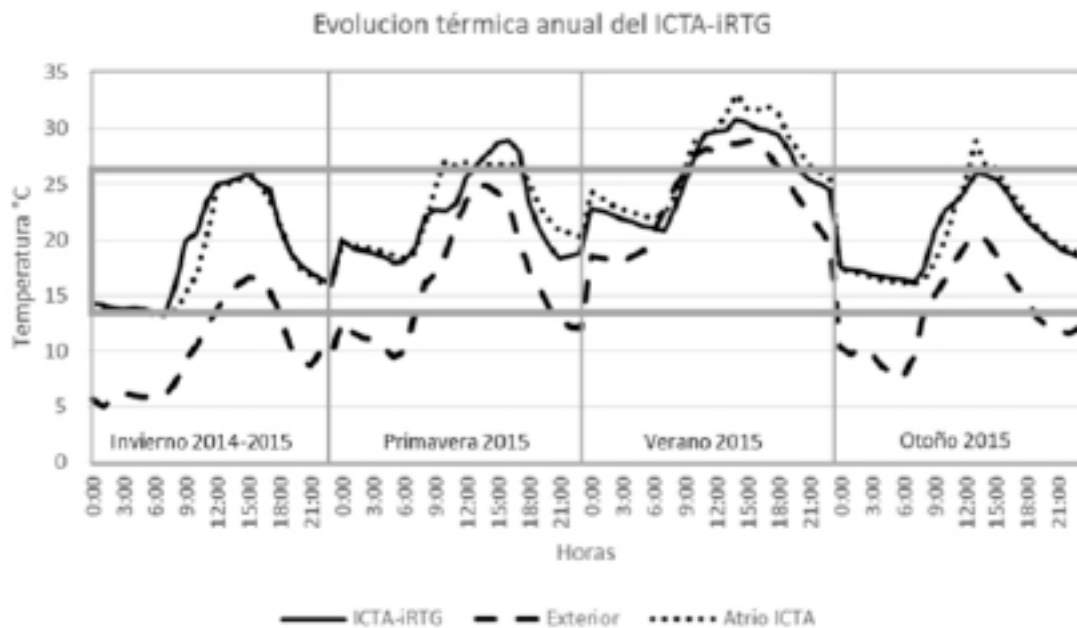


Imagen 10. Comparación de las temperaturas de un día promedio de otoño, ICTA-iRTG, Exterior y Atrio ICTA.

## 4. CONCLUSIONES

El ICTA-iRTG permite el cultivo de hortalizas en la zona mediterránea en las estaciones de mayor riesgo para el mismo (invierno), sentando un precedente para motivar el uso de invernaderos integrados en azoteas de edificios como una alternativa real y que permite tener un impacto ambiental positivo directo a nivel energético, ya que evita el uso de calefacción e indirecta al evitar las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el transporte.

El ICTA-iRTG presenta durante el otoño y el invierno las temperaturas correctas para el cultivo, seguidas por la primavera; el verano, por su parte, resulta ser la estación más difícil para el desarrollo adecuado del cultivo. Es así que con una temperatura máxima de 26.1°C, una mínima de 16.1°C y una temperatura promedio de 20.3°C, el otoño resulta ser la estación ideal para el mayor rendimiento del cultivo, debido a que las temperaturas cumplen perfectamente el rango ideal para su desarrollo. Durante el invierno, el comportamiento del ICTA-iRTG cumple de manera satisfactoria el rango ideal de temperaturas para el cultivo de hortalizas en la zona del Mediterráneo, abriendo una gran oportunidad para los productores agrícolas urbanos; pero es necesario tener un monitoreo constante de las temperaturas mínimas registradas ya que se encuentran en el límite del rango ideal.

El atrio del ICTA-ICP presenta un sobrecalentamiento desde primavera hasta verano, lo que implica un riesgo para las temperaturas del ICTA-iRTG; pero en otoño e invierno resulta benéfico para conseguir las temperaturas ideales del cultivo.

El sobrecalentamiento que presenta el ICTA-iRTG en gran medida se debe al efecto invernadero que se produce en el espacio, fenómeno que resulta beneficioso en invierno.

La ventilación es el medio más efectivo para contrarrestar o evitar el sobrecalentamiento del ICTA-iRTG.

Para la segunda mitad de la primavera y el verano se recomienda cultivar especies resistentes a más altas temperaturas como las lechugas, y durante el otoño, invierno y primera mitad de la primavera cultivar tomates u hortalizas con un rango de resistencia térmica menor.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO) el apoyo financiero para el proyecto de investigación «Sostenibilidad agrourbana mediante invernaderos en cubierta. Ecoinnovación en flujos residuales de energía, agua y CO<sup>2</sup> para la producción de alimentos» (CTM2013-47067-C2-1-R) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología de Estado de Yucatán (CONCIYTEY) por la beca para los estudios doctorales de Ana Nadal.

## **6. REFERENCIAS**

1. Janick, J. (2002). Ancient Egyptian Agriculture and the Origins of Horticulture.
2. Morán, A; Aja, A. (2011). Historia de los huertos urbanos. I Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana.
3. Spudić, S., (2007). The new victory garden. Royal Horticultural Society Dissertation. Wisley. Diploma in Practical Horticulture

4. Arredondo Garrido, David (2013). *Agricultura en la Ciudad: de la Utopía a la Conciencia de Lugar*. Granada: Universidad de Granada.
5. Naciones Unidas (2014) *La situación demográfica en el mundo, 2014 Informe conciso*. División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas. Nueva York (Estados Unidos de América).
6. European Commission (2010). *Making our cities attractive and sustainable - How the EU contributes to improving the urban environment*. Publications Office of the European Union, Luxemburg.
7. P. da Cunha, J; Rodríguez Vignoli, J. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Rev. Latinoame. Pobl.*, 3, 4-5, e-d, pp. 27-64.
8. Cumbre Mundial sobre la Alimentación(1996). Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación, párr. 32 g). Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria Mundial y Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación; Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 13-17 de noviembre de 1996, Roma (Italia). Roma, FAO. 43 p.
9. FAO (1999). *Issues in urban agriculture*. Studies suggest that up to two-thirds of city and peri-urban households are involved in farming.
10. Howe J, Wheeler P (1999). Urban food growing: The experience of two UK cities. *Sustain Dev* 7:13–24.
11. Cohen N, Reynolds K, Sanghvi R (2012). Five Borough Farm: Seeding the Future of Urban Agriculture in New York City. 169.
12. Mok H-F, Williamson VG, Grove JR, et al. (2013). Strawberry fields forever? Urban agriculture in developed countries: a review. *Agron Sustain Dev* 24:21–43.
13. FAO (1999). *Cuestiones de la agricultura urbana*. Enfoques: agricultura urbana, enero de 1999. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.htm>
14. Nadal Fuentes, Ana. (2015). Agricultura urbana en el marco de un urbanismo sostenible. *Temas de disseny [en línea]*, Núm. 31, p. 92-103.
15. Germer J, Sauerborn J, Asch F, et al. (2011). Skyfarming an ecological innovation to enhance global food security. *J für Verbraucherschutz und Leb* 6:237–251.
16. Despommier D (2010). *The vertical farm: Feeding the world in the 21st Century*. Thomas Dunne Books., New York.

17. Specht K, Siebert R, Hartmann I, et al. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agric Human Values* 31:33–51.
18. Caplow T (2009). Building Integrated Agriculture: Philosophy and practice. *Urban Futur. 2030 Urban Dev. Urban Lifestyles Futur.* Heinrich-Böll-Stiftung, pp 48 – 51.
19. Cerón-Palma I, Sanyé-Mengual E, Oliver-Solà J, et al. (2012). Barriers and Opportunities Regarding the Implementation of Rooftop Eco.Greenhouses (RTEG) in Mediterranean Cities of Europe. *J Urban Technol* 19:87–103.
20. Sanyé-Mengual E, Cerón-Palma I, Oliver-Solà J, et al. (2013). Environmental analysis of the logistics of agricultural products from roof top greenhouses in Mediterranean urban areas. *J Sci Food Agric* 93:100–109.
21. FAO, (2002). *El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo*. Editorial de la Fao, Roma, Italia, 318 pp.