

DATOS DEL PROYECTO Y SUBPROYECTOS

Subproyecto Coordinador (1)

Título: INVERNADEROS INTEGRADOS EN AZOTEAS: SIMBIOSIS DE ENERGIA, AGUA Y EMISIONES DE CO2 CON EL EDIFICIO - HACIA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA URBANA EN UNA ECONOMIA CIRCULAR

Referencia: CTM2016-75772-C3-1-R

Modalidad: B

Investigador Principal 1: Xavier Gabarrell Durany

Investigador Principal 2: Maria Rosa Rovira Val

Subvención concedida (Costes directos): 183.000 €

Fecha inicio: 30/12/2016 Fecha finalización: 30/12/2019

Contrato predoctoral asociado: SI Fecha inicio: 1/07/2018

DATOS DEL PROYECTO Y SUBPROYECTOS

Subproyecto 3

Título: INVERNADEROS INTEGRADOS EN AZOTEAS: SIMBIOSIS DE ENERGIA, AGUA Y EMISIONES DE CO2 CON EL EDIFICIO - HACIA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA URBANA EN UNA ECONOMIA CIRCULAR

Referencia: CTM2016-75772-C3-3-R

Modalidad: B

Investigador Principal 1: Santiago Gassó Domingo

Investigador Principal 2, si procede:

Subvención concedida (Costes directos): 80.000,00€

Fecha inicio: 30/12/2016 Fecha finalización: 30/12/2019

Contrato predoctoral asociado: NO



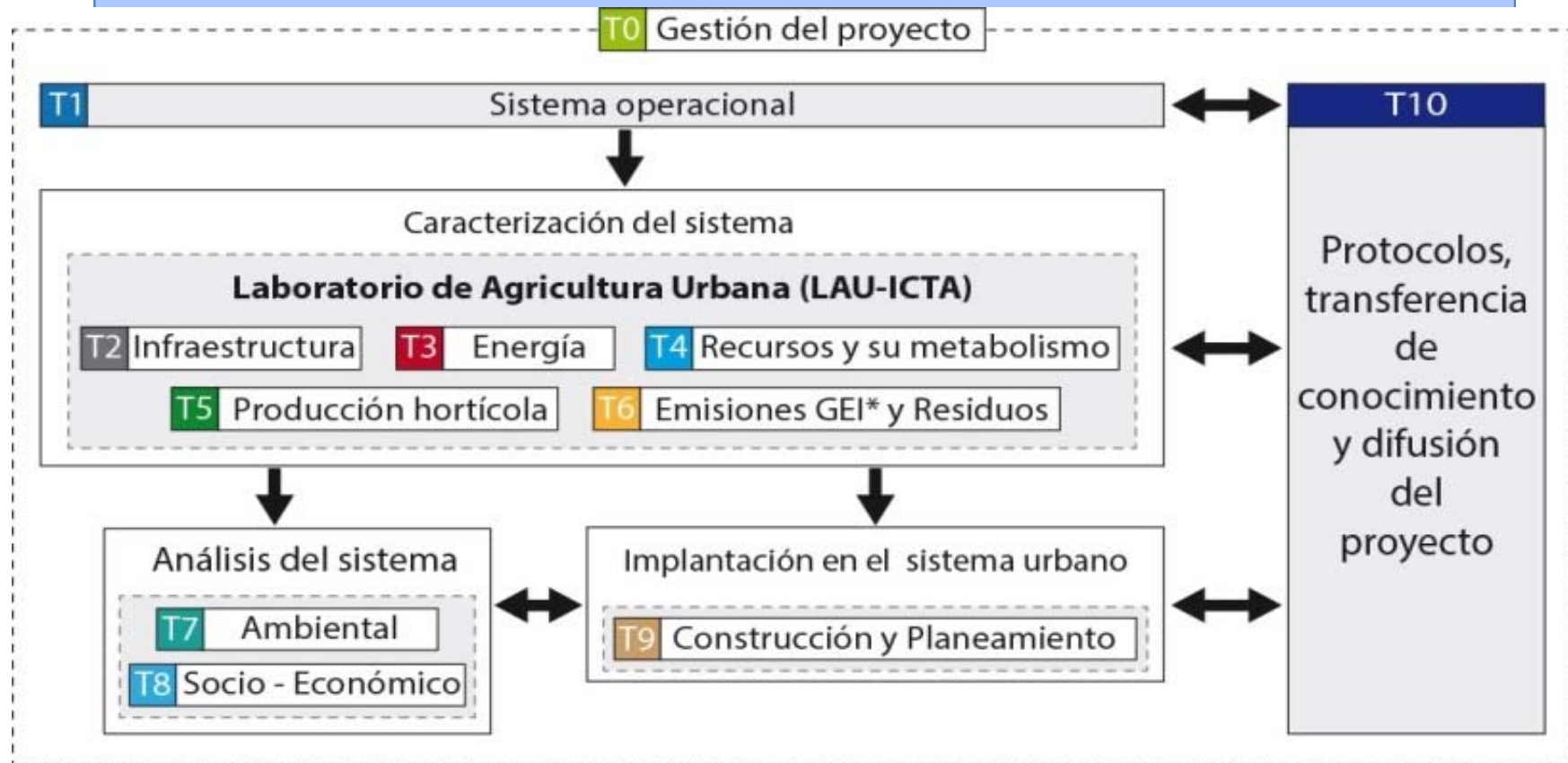
MOTIVACIÓN, Y HIPÓTESIS

- **FertileCity I: “Sostenibilidad agrourbana mediante invernaderos en cubierta. Ecoinnovación en flujos residuales de energía, agua y CO2 para la producción de alimentos” (CTM2013-47067-C2-1-R).**
- **Los estudios previos en 2014 con lechugas y de tomates (2015) en el LAU1 arrojó unos resultados satisfactorios: producción de 15 kg/m2.**
- **Necesidad de proseguir en el estudio y profundizar en el nexo agua-energía-alimentación.**



ESTRATEGIA DEL PROYECTO

- **Conexión bidireccional; recirculación del agua;**
- **Modelización energética del conjunto invernadero-edificio;**
- **Estudio arquitectónico y constructivo edificio y barrio;**
- **Análisis de sostenibilidad (ambiental, económico, social).**



*GEI: Gases de efecto invernadero (contempla CO₂ y N₂O)



OBJETIVOS PROPUESTOS Y ALCANZADOS

Subp	Obj	Titulo	Realizado
1	0	Correcto desarrollo del proyecto	90/100%
1	1	Adaptar el LAU-ICTA	100%
3	2	Análisis arquitectónico del invernadero integrado en cubierta	100%
3	3	Estudio experimental, modelización y análisis del comportamiento térmico	90/100%
1	4	Metabolismo de los flujos de agua de lluvia y nutrientes	90/100%
1	5	Producción agrícola	100%
1	6	Alimentos bajos huella de carbono	100%
1	7	Análisis del ciclo de vida	90/100%
1	8	Aspectos sociales y económicos	75/100%
3	9	Potencial de cubiertas para producción alimentos	100%
1	10	Difundir el proyecto	90/100%



COORDINACIÓN

Reunión de lanzamiento proyecto: 17/2/2017.

**Consejo Ejecutivo (CE): 17/2/2017; 21/9/17; 22/3/18; 5/7/18; 17/9/18;
01/2/19; 7/6/2019; 13/9/2019**

Consejo Asesor (CA): 21/7/2017; 17/9/18, 13/9/2019

Gestionar la baja del subproyecto 2 habida cuenta de la jubilación anticipada del IP del subproyecto2 (octubre 2017).

Responsabilidades del subproyecto 3: T2, T3, T9

Responsabilidades del subproyecto 1: T0, T1, T4, T7, T8, T10

Responsabilidades del subproyecto 2 que pasan al subproyecto 1: T5, T6

Beneficio de la acción coordinada: trabajo coordinado y integrado de los doctorandos y las tareas; capacidad de adaptación frente a la baja del subproyecto2; impacto de las acciones; reuniones del CE.

Subproyecto 3: PARTICIPANTES

Presenta (IP/IP2): Santiago Gassó Domingo
Entidades participantes: UPC

Equipo de investigación: Indicador de género 4/1

Dr. Alejandro Josa García-Tornel (baja 31/01/2019; cambio IP)

Dr. Santiago Gassó Domingo (IP 31/01/2019)

Dr. José Gibergans Báguena (alta 27/11/2017)

Dr. Adrian Muros Alcojor (alta 27/11/2017)

Dra. Carme Hervada Sala (alta 27/11/2017)

Equipo de trabajo: Indicador de género 4/8

Dra. M^a Violeta Vargas Parra; Dra. Eva Cuerva Contreras; Dr. Oriol Pons Valladares; Dra. Carla Planas Rodríguez; Dra. Eva Crespo Sánchez (alta 01/01/2018); Dr. Torsten Masseck (alta 01/01/2018); Dra. Jelena Nikolic (alta 01/01/ 2018); Sr. Joan Muñoz Liesa (alta 01/04/22018); Sr. Natalia Alvarado (alta 01/05/2018); Sr. Nikola Pesic (alta 01/06/2018); Sra. Gabriela Ledesma (alta 01/07/18); Sra. Laila Ferrer El Amrani (01/03/2019).



RESULTADOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Obj. 2: Análisis arquitectónico del invernadero integrado en cubierta.

Actividades Realizadas: Recopilar información sobre materiales para construir i-RTG. Definir y calcular las alternativas factibles de materiales y procesos constructivos. Evaluar la sostenibilidad de las alternativas mediante un Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones de Sostenibilidad (MIVES). Cuantificar intensidad y uniformidad de la luz en los i-RTGs del ICTA. Resultados: Inventario de materiales y procedimientos constructivos de i-RTG rehabilitación y obra nueva). Diseño estructural optimizado y más sostenible (aplicado al i-RTGs del ICTA). Soluciones activas y pasivas para optimizar la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en i-RTGs.

Obj. 3: Estudio experimental, modelización y análisis del comportamiento térmico.

Actividades realizadas: finalizar la instalación y puesta en marcha de la instrumentación completa de los invernaderos del LAU-ICTA y de la conexión de flujo de calor unidireccional y bidireccional. Obtener y tratar los datos experimentales. Implementar el LAU-ICTA y el edificio ICTA en DesingBuilder. Efectuar simulaciones. Resultados: Índice de la calidad del LAU-ICTA; Modelización del LAU-ICTA + edificio (ventilación natural)

RESULTADOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Obj. 9: Potencial de cubiertas de ciudades para la producción de alimentos.

Actividades Realizadas: vuelo con sensores aerotransportados (LIDAR y LWIR), en zonas piloto para la caracterización de cubiertas; ensayos de laboratorio, con esos mismos sensores, para la caracterización de materiales utilizados en cubiertas de edificios (catálogo de huellas espectrales usando también información de vuelos y visitas de campo para confirmación); análisis de radiación recibida por las diferentes cubiertas del barrio; análisis de los usos óptimos para distintos edificios; análisis de las características de los edificios y de sus elementos constructivos.

Resultados: Catálogo de huellas espectrales de las principales tipologías de materiales y estructurales empleadas en cubiertas; criterios de uso de cubiertas para la instalación de invernaderos agrícolas u otras aplicaciones; protocolo de actuación para invernaderos en cubierta (rehabilitación y obra nueva)



SUBPROYECTO 3: FORMACIÓN DE PERSONAL

Tesis doctorales realizadas relacionadas con el proyecto

Anna Petit Boix. *Towards sustainable cities through an environmental, economic and eco-efficiency analysis of urban sanitation and drainage systems* (Inicio: 2014; Def: 2017-06-02; 8 Q1; 10 Cong Int.). **David Sanjuan Delmàs.** *Environmental assessment of water supply: cities and vertical farming buildings* (Inicio: 2014, Def: 2017-07-10; 4 Q1; 6 Cong. Int.; 1 CL Int.). **Ana Lucrecia Nadal Fuentes.** *Urban agriculture in the framework of sustainable urbanism.* (Inicio: 2015. Fecha de defensa: 2018-09-28; 5 Q1; 1 Q2; 5 Cong. Int.; 2 Cong. Nac.; 1 CL Int.).

Actividades de formación de predoctorales y/o personal técnico relacionadas con el proyecto

DOCTORANDOS: Aniol Alabert Aldana (inicio 2016-17). Joan Muñoz Liesa (Inicio: 2017- En curso): Estancia en U. de Newcastle. Finan: "convocatoria de ayudas campus energía de movilidad internacional de estudiantes de doctorado, PDI". UPC y Campus de Energía. TFM's: Sally Bourdon, ICTA-UAB 2018; Natalia Alvarado, UPC 2018; Laila Ferrer, UPC 2019; Esteban Gallo, UPC 2019; Rodrigo Javier Casariego, UPC 2019

Contrato Predoctoral asociado al proyecto

No tiene contrato predoctoral asociado

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL SUBPROYECTO 3

	Núm	Indicios de calidad
Artículos científicos derivados del proyecto en revistas JCR (de ellos cuantos en acceso abierto)	12	11Q1, 1Q2
Revisiones (surveys), editoriales y otros artículos científicos (de ellos cuantos en acceso abierto)		
Libros, capítulos de libros y monografías (nac/internac)	0/2	
Conferencias en congresos (nacionales/internac, indicando cuántas por invitación)	2/17	
Patentes/Registros Software (indicar estado)		



INTERNACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- **Universidad de Newcastle (Reino Unido)**
estudio y modelización energética de invernaderos integrados en cubierta de edificios.
- **Universidades de Toledo y de Utah (EEUU)**
financiación obtenida por las mismas por su gobierno federal (Proyecto IRES; Life Cycle Management and Ecosystem Services Applied to Urban Agriculture). Estancias de profesores y estudiantes, para avanzar en temas de evaluación global de la agricultura urbana vertical.
- **Albert-Ludwigs-Universität Freiburg**
estancia postdoctoral de Anna Petit-Boix; 2017-2019).
- **Ghent University**
estancia postdoctoral de David Sanjuan-Delmàs; 2017-2019).



Resultados y relaciones con el entorno socio económico

- **Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC)**
vuelos con sensores aerotransportados, ensayos de laboratorio con los mismos y estudios de radiación para el análisis de materiales y estructuras de cubiertas de edificios y su soleamiento (energía recibida a lo largo del año) con el objetivo de identificar su idoneidad para albergar invernaderos en los mismos.
- **Ayuntamiento de Barcelona**
análisis de la idoneidad para albergar actividades de agricultura urbana vertical en determinados tipos de edificios.
- **Ayuntamientos de Rubí y Barberà del Vallès**
interpretación de los resultados obtenidos en los vuelos con sensores aerotransportados realizados.
- **Barcelona Regional**
colaboración en un seminario y en los mismos temas indicados en el punto previo con el ayuntamiento de Barcelona.



EJECUCION DEL PRESUPUESTO

Concepto	Ejecutado: Cantidad y (%)	Existen cambios relevantes respecto a solicitud original? (*)
Inventariable	34000 € (219%)	SI
Personal	0	NO
Fungible	4500 € (27%)	SI
Viajes y dietas	3500 € (42%)	NO
Otros gastos	28000 € (71%)	NO

(*) Gastos no contemplados en la solicitud original

- El análisis de la iluminación de los invernaderos en cubierta planteo la conveniencia de estudiar la producción en este tipo de invernaderos incorporando la iluminación artificial tipo Led. Para ello en 2018 se adquirió un sistema de transferencia de energía lumínica a cultivos de invernaderos basado en leds por un valor de 11.948,47 € (Base 9874,77€ + IVA 2073,70 €). Esto supone un incremento del Inventariable respecto al presupuestado.
- Las partidas correspondientes a las licencias de software, SimaPro, Gabi y DesignBuilder se presupuestaron como fungible, al ser nuevas licencias se han contabilizado como inventariable. Implica un incremento de la partida de inventariable y una disminución de la partida de fungible

Subproyecto 1: PARTICIPANTES

Presenta (IP/IP2): Maria Rosa Rovira Val

Entidades participantes: Universitat Autònoma de Barcelona.

Equipo de investigación: 3/3

Dr XAVIER GABARRELL

Dr MARIA ROSA ROVIRA

Dr ISABEL PONT;

Dr JOAN RIERADEVALL (baja 30-9-2017)

Dr MARIO GIAMPIETRO

Dr GARA VILLALBA

Equipo de trabajo: 6/9

Dr Jorge Sierra (alta 10/3/2017); Anna Petit; Ana M. Manriquez (alta 10/3/2017); Perla Zambrano (alta 22/02/2017); Martí Rufí (alta 16/05/2017) ; Susana Toboso (alta 16/05/2017); Veronica Arcas (alta 1/1/2018); Alexandra Peña (alta 06/11/2017); Felipe Parada (alta 18/1/2018); Ramiro González (alta 1/6/2019)

Dr Isabel Ribeiro (1/09/17-30/09/18); Pere Llorach (baja 30/06/17); David Sanjuan (baja 30/06/17); Ana Nadal (baja 30/06/17); Mireia Ercilla (baja 10/04/19);



MINISTERIO DE CIENCIA,
INNOVACIÓN Y
UNIVERSIDADES.



JORNADAS DE SEGUIMIENTO 2019. Subdivisión de Programas Temáticos Científico Técnicos.

RESULTADOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Obj. 1: Adaptar el LAU-ICTA para mayor versatilidad, potencialidad y experimentación

Obj. 4: Metabolismo de los flujos de agua de lluvia y nutrientes.

Ensayo de balances de agua diarios en la producción de tomate de 2017-2019.

Modelo ajustado de evapotranspiración (Hargreaves y Samani, 1985).

$$ET_0 = A * (T_{med}^o + B) * R_a * \sqrt{(T_{Max}^o - T_{Min}^o)}$$

Año	Entradas			Salidas
	Riego (L/m2)	Diferencial (%)	Agua de lluvia (%)	Lixiviados (L/m2)
2017	744		88,5	332,5
2018	922	24,05	100	285
2019	641	-30,45%	100	231

Coef.	Tradicional	Adaptado para iRTG
A	0,0023	0,0015
B	17,78	12,3

Problemas: Degradación no prevista de las láminas de policarbonato de la cubierta de la azotea del edificio.

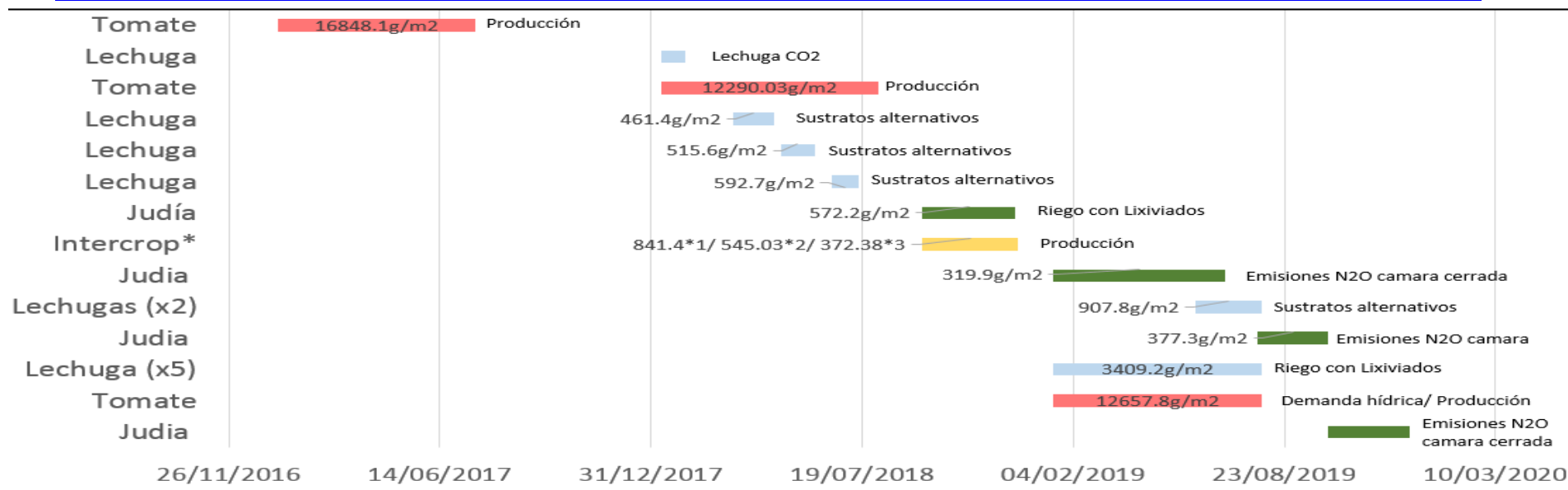
Baja concentración del CO2 procedente del interior del edificio, de sus salas de reuniones.



RESULTADOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Obj. 5: Producción Agrícola.

Obj. 6: Alimentos bajos huella carbono



Sanidad alimentaria: impacto de la contaminación atmosférica de metales pesados

- Análisis de cultivo de lechuga en 4 espacios urbanos.
- Niveles por debajo de los límites establecidos por la EU.

Resiliencia del sistema de cultivo hidropónico urbano:

3 campañas de lechugas en sustratos alternativos: fibra de coco y compost. Estrés hídrico con cortes de riego puntuales. Estos sustratos superaron mejor el estrés hídrico en comparación con la perlita, especialmente la fibra de coco.



RESULTADOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

Obj. 7: Análisis del ciclo de vida

Obj. 8: Análisis socioeconómico

Durante todo el año,
análisis de:

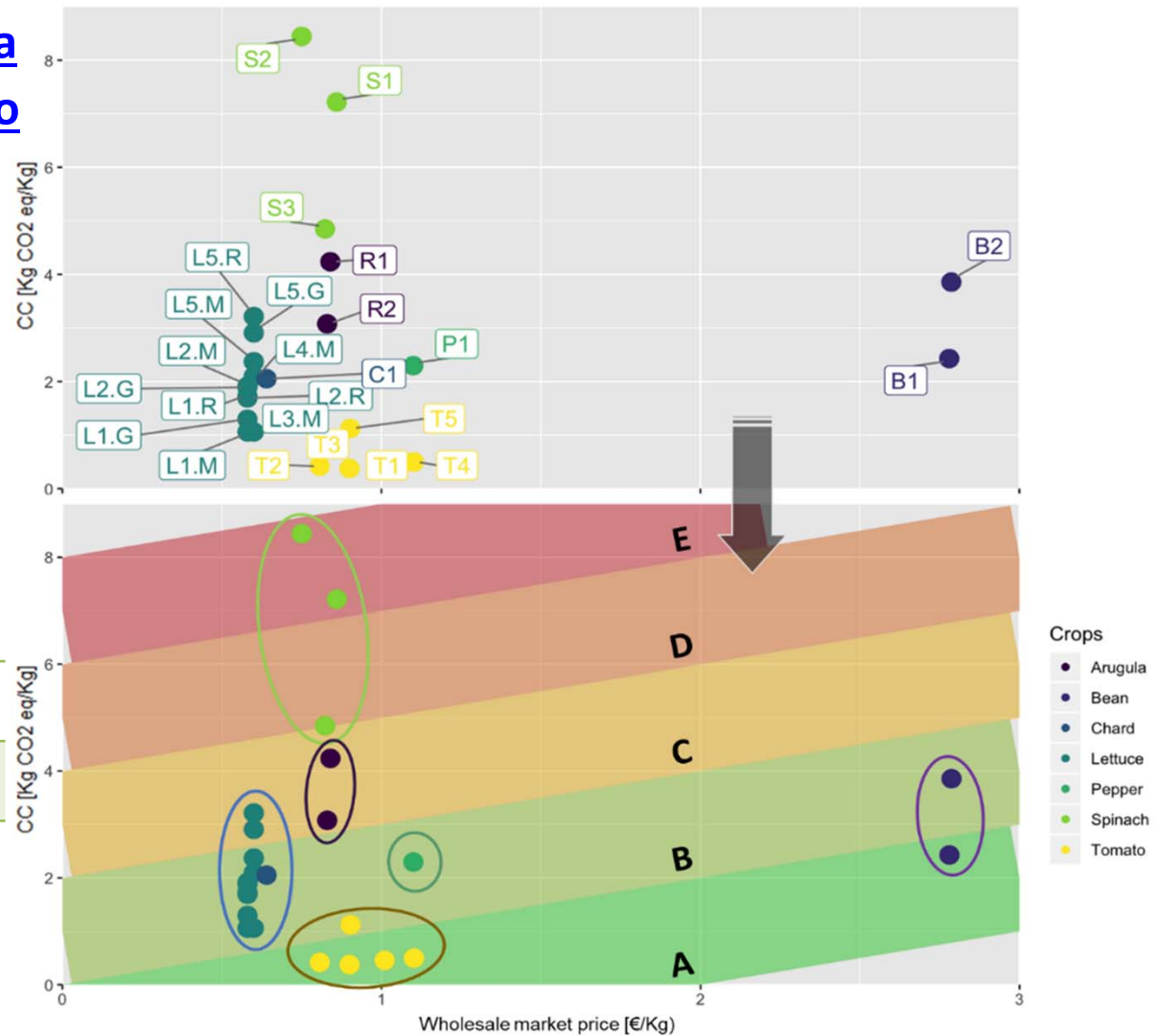
- 25 ciclos
- 7 especies
- 9 variedades

Unid. funcionales & valor
mercado:

Kg Tomate+Tomate

€ Tomate+Judía+Tomate

**Coste tomate 2018: 7.292 €
(62% variable y 38% fijo)
Mano de obra (41 % del
coste total)**



Eco-efficiency of i-RTG crop cycles for climate change (CC) against the price of the crops in the market. T – Tomato; L – Lettuce; .G – Green oak lettuce; .R – Red oak lettuce; .M – Maravilla lettuce; B – Green bean; S – Spinach; C – Chard; R – Arugula; P – green pepper.



MINISTERIO DE CIENCIA,
INNOVACIÓN Y
UNIVERSIDADES.



JORNADAS DE SEC

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL SUBPROYECTO

	Núm	Indicios de calidad
Artículos científicos derivados del proyecto en revistas JCR (de ellos cuantos en acceso abierto)	17 (3)	15 Q1, 2 Q2
Revisiones (<i>surveys</i>), editoriales y otros artículos científicos (de ellos cuantos en acceso abierto)	1	
Libros, capítulos de libros y monografías (nac/internac)	1	
Conferencias en congresos (nacionales/internac, indicando cuántas por invitación)	2/23 intern	
Patentes/Registros Software (indicar estado)		



SUBPROYECTO 1: FORMACIÓN DE PERSONAL

Tesis doctorales relacionadas con el proyecto (periodo, art. Q1, citas, congresos)

Pere Llorach, *Mitigating the environmental impacts of Urban Agriculture: innovative materials, GHG emissions analysis and new by-products*, 13-17, 6Q1,41. **Anna Petit**, *Towards sustainable cities through an environmental, economic and eco-efficiency analysis of urban sanitation and drainage systems*, 14-17, 10Q1,119. **David Sanjuan** *Environmental assessment of water supply: cities and vertical farming buildings* 14-17, 7Q1, 90. **Ana Nadal**, *Urban agriculture in the framework of sustainable urbanism*,15-18, 5Q1, 45. **Mireia Ercilla**, *Air, food and soilless substrate quality assessment in rooftop agriculture* ,16- 19, 6Q1, 41.

Actividades de formación de predoctorales y/o personal técnico relacionadas

DOCTORANDOS: Ana M. Manriquez (2017); Perla Zambrano (2017); Martí Rufí (2017); Susana Toboso (2017, estancia Berlín); Alexandra Peña (2017); Felipe Parada (2018). **Introductory Course of R and R Studio. Statistical Programming with R; Advanced statistical computing using R. Actividades organizadas por la MdM: Gender, conflicts,...**
PERSONAL TÉCNICO: Ramiro González (2019)

Contrato Predoctoral asociado al proyecto

Verónica Arcas Pilz (FPI-MINECO 2018) BES-2017-080251 (10-1-2018).
Curso de aplicación de productos fitosanitarios (2018); Curso de diseño experimental (2018); Curso de iniciación de estadística con R (2018); Curso de estadística con R avanzado (2019)



INTERNACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Universidades de Newcastle (UK); Universidad de Bolonia, Universidad de Florencia y Universidad de Nápoles (Italia); Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia); UNAM ENES MORELIA (México); Pontificia Universidad Católica (Perú).

Universidades de Toledo y Utah en USA, IRES; Life Cycle Management and Ecosystem Services Applied to Urban Agriculture la NSF de USA.

GROOF, Greenhouses to Reduce CO2 on roofs. NWE 474, 09/2017- 12/2021

FoodE. Food Systems in European Cities (CE-SFS-24-2019), 2/2020 – 1/2024

ERC URBAG, Integrated System Analysis of Urban Vegetation and Agriculture URBAG, (2019-2024), Consolidator Grant

Urban Farm Competition 2019, Bolonia. Wageningen Urban Greenhouse Challenge 2020 Sustainable energy transitions laboratory (SENTINEL)

(H2020-LC-SC3-2018-NZE-CC; 6/2019-05/2022)

ClearFarm (SFS-2019-1,2019 –2023

Digital Platform for Circular Economy in Cross-sectorial Sustainable Value Networks2020-2024



EJECUCION DEL PRESUPUESTO

Concepto	Ejecutado: Cantidad y (%) (miles de €)	Existen cambios relevantes respecto a solicitud original? (*)
Inventariable	28 (100%)	NO
Personal	19 (100%)	NO
Fungible	32 (90/100%)	SI
Viajes y dietas	9 (80/100%)	NO
Otros gastos	78 (85/100%)	NO

(*) Gastos no contemplados en la solicitud original

- Gastos de viaje de los miembros del CE.
- Se incorpora gastos procedentes de las tareas del Subp. 2:
 - Otros gastos (plagas, analíticas; open access);
 - Fungible (mantenimiento de los cultivos, plantas, fertilizantes)



RESUMEN DE LOS RESULTADOS GLOBALES DEL PROYECTO

	Núm	conjuntas	Indicios de calidad
Artículos científicos derivados del proyecto en revistas JCR (de ellos cuantos en acceso abierto)	17 (3)	12	15Q1, 2 Q2
Revisiones (<i>surveys</i>), editoriales y otros artículos científicos (de ellos cuantos en acceso abierto)	1		
Libros, capítulos de libros y monografías (nacionales/internacionales)	1		
Conferencias en congresos (nacionales/internacionales, indicando cuántas por invitación)	4/28	2/16	
Patentes/Registros Software (indicar estado)			



Resumen de las distintas acciones del proyecto coordinado (transferencia, y comunicación)

- Web: www.fertilecity.com.
- Conferencias: CCCB febrero18
- Smart City Expo World Congress, 19-20-11-2019.
- Science for Environment Policy (18-4-2019 Issue 524)
- Educación secundaria: Tutorización TR-Programa Argó, *Bojos per la Ciència*
- Colaboraciones con escuelas (todos los niveles de educación).
- Prensa especializada:
 - La Vanguardia, 30/7/2019, El proyecto FertileCity constata que con invernaderos en terrazas se puede abastecer de alimentos sanos a los vecinos incluso en zonas de mucho tráfico
 - El Economista, 6/7/19
- Televisión: TV3, 16/5/19
- Programas de radio (*Vida Verda* Radio 4/ *Vida Verde* REE, *Ecopnomix*)



Resumen de las distintas acciones del proyecto coordinado (transferencia, y comunicación)

-Visitas guiadas a las instalaciones

- **MakerFair - Fira de BCN:**

- 16-17 junio 2018 – 2 distinciones: *blue ribbons*
- Octubre 5-6, 2019 - Ciudad Circular

- Jornadas técnicas en el ICTA-UAB:

- **Implantación de la agricultura urbana en la cubierta de edificios (condicionantes legales), 21-9-2017.**
- **Producción agrícola urbana en cubiertas con invernadero: fresca, sana y sostenible, con degustación de verduras, 28/3/2019.**



PLANTEAMIENTO FUTURO

This new proposal expands the system to the city, including the periurban agriculture in the analysis which offers more opportunities for optimization of resources and reduce environmental impact.

This project establishes:

1. design requirements for any kind of **Urban Food Systems (UFS)**;
2. analyses the potential of cities for the UA implementation according to morphology and density of the city to identify specific case studies;
3. considers new UFS using light-emitting diodes (**LEDs**);
4. periurban agriculture and new fertirrigation systems based on waste as a resource of N and/or P;



PLANTEAMIENTO FUTURO

5. designs a **prototype for a new modular greenhouse building systems**;
6. quantifies possible sources of main Greenhouse Gas (GHG) (N₂O) and Volatile Organic Compounds (VOC) in UFS;
7. **develops indoor air quality models** for indoor UFS with controlled air fluxes and for buildings;
8. integrates the **Life Cycle Thinking (LCT)** aspects in the decision making on the sustainability of UA options;
9. incorporates **the food demand** as a key concept;
10. strengthens the sustainable business models for UA.
11. integrates a new territorial framework which implies more **diversification in climatic areas and urban characters**



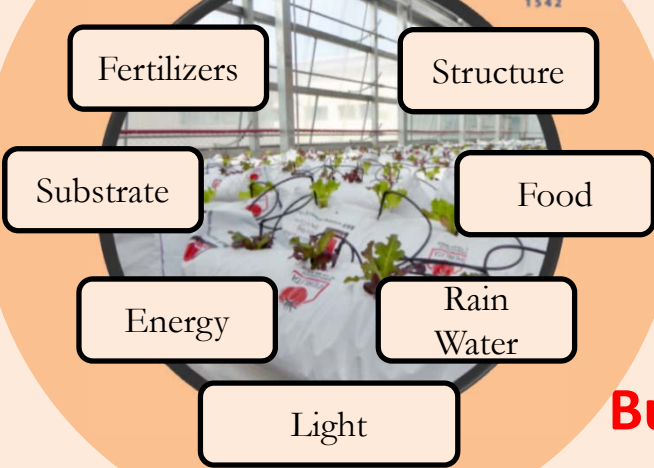
• PLANTEAMIENTO FUTURO

Cities

- Buildings
- Buildings
- Urban Food Systems (UFS)
- Buildings
- Urban Food Systems (UFS)
- Urban Food Systems (UFS)
- Buildings
- Urban morphology
- Business models
- CO2 capture potential of the urban biosphere
- Food demand and social perception

How environmentally sustainable is the System?

Urban Food Systems (UFS)



Do they align with
How circular is the System?

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

UPC
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH

Universidad Zaragoza
1542

Inventory data

Life Cycle Thinking (LCT)

LCA, LCC, S-LCCT

Thermal and indoor air quality models

Buildings



MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES.



JORNADAS DE SEGUIMIENTO 2019. Subdivisión de Programas Temáticos Científico Técnico.