

AGRICULTURA URBANA EN ALTURA

VERTICAL URBAN AGRICULTURE

Julián Briz

Editores/Editors:
Manfred Köhler

Isabel de Felipe



Título:

Agricultura urbana en altura. Vertical urban agriculture

Coordinación y edición:

© Julián Briz, Manfred Köhler, Isabel de Felipe

Edita:

Editorial Agrícola Española S.A.

Diseño y maquetación:

Daniel Fernández-Caro Chico

Editorial Agrícola Española S.A.

Diseño de portada e ilustraciones:

Claudia Sicilia

ISBN: 978-84-92928-82-8

ISBN (Digital): 978-84-92928-85-9

Depósito Legal: M-33941-2017

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar, escanear o hacer copias digitales de algún fragmento de esta obra.

ÍNDICE / INDEX

PREFACE / PRÓLOGO	09
INTRODUCCIÓN / INTRODUCTION	13
PRESENTACIÓN / FOREWORD.....	17
AGRADECIMIENTOS / ACKNOWLEDGMENTS.....	21
PARTE I / PART I.....	25
EL PAPEL DE LAS ÁREAS VERDES EN LA CIUDAD /	
THE ROLE OF GREEN INFRASTRUCTURE IN THE CITY	
CHAPTER 1	27
TECHNICAL SOLUTIONS FOR BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE	
<i>Manfred Köhler, Claire Diebel, Cristian Rares Nistor, Radu Mircea Giurgiu</i>	
CAPÍTULO 2	41
CIUDADES VIVAS, VERDES, SALUDABLES Y SOSTENIBLES	
<i>Julián Briz</i>	
CAPÍTULO 3	55
ANÁLISIS GLOCAL DE NATURACIÓN URBANA:	
CASO DE AGRICULTURA EN ALTURA	
<i>Isabel de Felipe, Teresa Briz</i>	
CAPÍTULO 4.....	65
NORMAS DE CALIDAD EN CUBIERTAS VERDES	
<i>Elisabeth Contreras</i>	
CHAPTER 5.....	73
THE DEVELOPMENT OF RESILIENT URBAN FOOD SYSTEMS IN THE	
CONTEXT OF URBAN AGRICULTURE, WATER-ENERGY-FOOD NEXUS AND	
VERTICAL FARMING	
<i>Ingela Wickman Bois, Sepehr Mousavi</i>	

CHAPTER 6.....83

UPFARMING. THE AIMS OF BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE

Claire Diebel

CHAPTER 7.....97

URBAN AGRICULTURE 2.0 FROM VISION TO PRACTICE

Vera Enzi, Dr. Daniel Podmirseg, Gert Zechner

CHAPTER 8.....109

STADSBRUK: A WAY TO FINANCIALLY LIVE FROM URBAN FARMING

Lena Friblick, Cyrille Gaubert

PARTE II / PART II.....115
TECNOLOGÍA Y DISEÑO /
TECHNOLOGY AND DESIGN

CAPÍTULO 9.....117

FACHADAS VERDES: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Ignacio Solano

CAPÍTULO 10.....123

INVERNADEROS EN AZOTEAS: UNA ALTERNATIVA DE FUTURO PARA LA
PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Valentina Oquendo, Lucía Muñoz Martín, Luis Ruiz García

CAPÍTULO 11.....133

DISEÑO DE EQUIPAMIENTO VERDE URBANO COMO COMPLEMENTO
FUNCIONAL DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDES

Nuria Preciado

CAPÍTULO 12.....139

SUSTRATOS DE CULTIVO EN LA AGRICULTURA EN ALTURA

Alberto Masaguer

CAPÍTULO 13	147
RIEGO DE JARDINES VERTICALES	
<i>Leonor Rodríguez Sinobas, Daniel Alberto Segovia Cardozo, Sergio Zubelzu Minguez</i>	
CAPÍTULO 14	157
PAREDES VERDES CON BAJO COSTE	
<i>Manuel Pasquín Agero</i>	
CAPÍTULO 15	167
UN MODELO DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA AGRICULTURA EN ALTURA EN LA CIUDAD DE LEÓN, ESPAÑA.	
<i>Fernando Barriuso, Fernando González-Andrés, Beatriz Urbano</i>	
CHAPTER 16	177
VEGETABLE ROOFS IN SHANGHAI	
<i>Zhaolong Wang</i>	
CHAPTER 17	181
GREEN DENSITY FACTOR (GDF) & GREEN COOLING FACTOR (GCF): HOW TO CREATE A GREEN URBAN PARADISE	
<i>Dr. Ing F. Betzler</i>	
CAPÍTULO 18	189
INNOVACIÓN EN ÁREAS VERDES URBANAS: RETOS Y OPORTUNIDADES	
<i>Joaquín Sicilia, Julián Briz</i>	
CHAPTER 19	199
MEASURABLE BENEFITS OF GREEN FACADES	
<i>Martin Pauli, Rudi Scheuermann</i>	
CHAPTER 20	211
REGENERATIVE URBAN AGRICULTURE (A WHOLE SYSTEMS APPROACH) INTERFACING MICROBIAL ECOLOGIES WITH VERTICAL GROW-SYSTEMS	
<i>Ross Eyre</i>	

PARTE III / PART III.....225
PAISAJISMO Y MEDIO AMBIENTE /
LANDSCAPE AND ENVIRONMENT

CHAPTER 21..... 227
TOP 10 TRENDS IN VEGETATED FAÇADE DESIGN FROM THE 1990S – 2017
Linda S. Velazquez

CAPÍTULO 22 257
COMO PLANT(E)AR LA CIUDAD
Santiago Beruete

CAPÍTULO 23263
INICIATIVAS DE NATURACIÓN Y AGRICULTURA EN LA CIUDAD.
MITIGACIÓN DIRECTA E INDIRECTA DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO:
EL CASO DEL ITDUPM
Francesca Olivieri, Ivanka Puigdueta-Bartolomé, Ángela Nevado, David Pereira,
Javier Mazorra, Alberto Sanz-Cobeña

CAPÍTULO 24 277
CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS: SERVICIOS AMBIENTALES EN CLIMA
MEDITERRÁNEO
Santiago Moreno

CAPÍTULO 25283
ZONAS VERDES DE PROXIMIDAD EN LA CIUDAD Y EFECTOS SOBRE SUS
HABITANTES
José Antonio Corraliza Rodríguez, José Fariña Tojo

CAPÍTULO 26295
BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA URBANA
Beatriz Sánchez e Inés Jordana

CAPÍTULO 27303
INNOVATION IN BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE:
THE MILAN WORLD EXPO
Claire Diebel

PREFACE

The World Green Infrastructure Network (WGIN) celebrated its 10th anniversary at the 2017 Berlin World Green Infrastructure Congress (WGIC). **The topics of green infrastructure (GI) and nature based solutions (NBS)** have experienced a stunning development within these past years. 800 WGIC participants engaged in learning about federal programs in Germany which are incorporating GI into future city concepts. The White Book of the Federal Ministry was presented as a guideline for further NBS planning in Germany. Green buildings are an integral tool in this national environmental strategy. On the European level, GI and NBS are focal subjects of the 2020 Horizon research program. Globally, the UN Sustainable Development Goals (SDGs) count green buildings as a fundamental direction of future development.

Our first book, *“Green Cities in the World”*, was published in 2014 with a second edition released in 2015, and a Spanish translation introduced in 2016. This publication presents technical GI and NBS strategies alongside technical details from worldwide case studies and national concepts.

This current publication dives deep into building integrated agriculture (BIA), a major component of GI. BIA includes integrates edible crops on facades, roofs, and inside buildings. Due to the limited available urban space, BIA is the new outlet for edible species. Inventive solutions are already present all around the world.

WHAT ARE THE REASONS FOR THESE TRENDS?

There are three main trends driving BIA highlighted in this book: social, technical, and political. In contrast to GI's core experience

of extensive green roofs, projects of urban gardening need frequent maintenance. Many urbanites appreciate garden work and a greener city. They see gardening as privilege healthy activity, in contrast to endless hours spent in front of computer and smartphone screens.

Urban gardening can begin with the basics of contained soil in a community park or a small shared terrace. In this essence, harvesting vegetables, fruits, and herbs has a strong social component of connecting urbanites with nature in urban environments and demonstrating the capacity of one's own handwork. On the second level, rooftop farming and façade gardening brings opportunities for hosting social activities and connecting greater networks. Such gardening activities help to make urban agglomeration more livable. The third level of urban gardening is professional urban or vertical farming. These high tech solutions produce significant amounts of food in dense areas. This following chapters of this book covers all these aspects and presents a holistic picture of the current state of BIA.

In ecological, technical, and political aspects, more research is needed to solve remaining challenges facing BIA. While provoking ideas, research, and city programs, this book merely represents a milestone in the industry's first steps in enhancing the quality of life in urban cities all around the world. The cooperation between industrial partners with local initiatives, land owners, and politicians is further the basic ingredient for more projects in future. We will invite all of you to bring your knowledge and passion to drive this movement forward.

Neubrandenburg, Germany
Manfred Köhler
President WGIN



*Projet Kampung Admirality.
Singapore. M. Köhler*

PRÓLOGO

La red mundial de infraestructuras verdes (WGIN) celebró su 10º aniversario en 2017 en el Congreso de Berlín sobre Infraestructuras Verdes en el Mundo (WGIC). **Los temas de infraestructuras verdes (IV) y las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)** han experimentado un desarrollo impresionante en los últimos años. Los 800 participantes del WGIC se involucraron en aprender acerca de programas federales en Alemania que están incorporando las infraestructuras verdes en el diseño de la ciudad del futuro. Se presentó el Libro Blanco del Ministerio Federal alemán como guía para las SBN en la planificación de las ciudades. Los edificios verdes son una herramienta integral de esta estrategia ambiental nacional. A nivel europeo, las IV y las SBN son temas focales del Programa de investigación Horizonte 2020. Asimismo, a nivel mundial los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas cuentan con los edificios verdes como piezas fundamentales del desarrollo futuro.

Nuestro primer libro, *"Ciudades verdes en el mundo"*, se publicó en el año 2014 con una segunda edición en el año 2015 y una traducción al español en 2016. Esta publicación presenta técnicas de IV y estrategias de SBN en los estudios de caso en todo el mundo y un análisis de la situación en los distintos países.

La publicación actual se integra dentro de la Agricultura Integral (AI) que es un componente importante de las infraestructuras verdes (IV) ya que contempla la agricultura alimentaria en fachadas, cubiertas e interior de los edificios. Ello supone una nueva salida al abastecimiento alimentario, aprovechando el espacio urbano disponible, de por sí limitado, presentando soluciones ingeniosas que ya existen en distintas partes del mundo.

¿CUÁLES SON LAS RAZONES DE ESTAS TENDENCIAS?

En este libro destacan las tres tendencias principales de la AI: sociales, técnicas y políticas.

En contraste con las infraestructuras verdes que se utilizan de forma extensiva en las azoteas, los proyectos de agricultura urbana necesitan un mantenimiento frecuente. Muchos urbanitas aprecian el trabajo en el jardín y una ciudad más verde. Ven el cultivar un huerto como un hobby o, incluso, como un privilegio, para compensar las interminables horas pasan en frente de las pantallas del ordenador o el teléfono móvil.

La agricultura urbana puede iniciarse a nivel del suelo, con un parque comunitario o con una pequeña terraza compartida. De esta forma la cosecha de hortalizas, frutas y hierbas tiene un fuerte componente social de conexión de los urbanitas con la naturaleza, que demuestran que son capaces de un trabajo manual. En el segundo nivel, la agricultura en azoteas y fachadas ofrece oportunidades para albergar actividades sociales y conectar redes mayores. Tales actividades de jardinería ayudan a hacer más habitable la aglomeración urbana. El tercer nivel es la agricultura urbana profesional, en altura, que con alta tecnología produce cantidades significativas de alimentos en áreas densamente pobladas. Este libro abarca todos estos aspectos y presenta una imagen holística de la situación actual de la Agricultura en Altura.

Los aspectos ecológicos, técnicos y políticos, necesitan más investigaciones para resolver los retos restantes. Además de aportar ideas, investigación y programas urbanos, este libro supone un hito en los primeros pasos del sector de la naturación, con una mejora de la calidad de vida. La cooperación entre empresas con iniciativas locales, propietarios inmobiliarios y políticos, es el ingrediente de los proyectos futuros. Invitamos a todos los interesados a aportar sus conocimientos y su entusiasmo para llevar este proceso adelante.

Neubrandenburg, Alemania
Manfred Köhler
Presidente WGIN



*Pared verde Nagoya.
I. de Felipe*

La Humanidad se encuentra en un proceso de rápida urbanización y crecimiento demográfico que requiere un análisis profundo para lograr ciudades vivas (dinámicas en lo cultural y creatividad innovadora), verdes (incorporando la naturaleza en un entorno saludable) y sostenibles (con un horizonte viable a largo plazo).

A veces se sintetizan parcialmente estas dimensiones bajo la denominación "ciudades inteligentes.". Objetivo esencial es despertar la conciencia ciudadana de que las características mencionadas son de responsabilidad colectiva e individual, con múltiples facetas que requieren colaboraciones multidisciplinares.

Entre los instrumentos que pueden apoyar estos objetivos de naturación, se encuentran las prácticas agrarias, tanto ornamentales como alimentarias. Dada la limitación de espacio en la ciudad, la innovación nos lleva a aprovechar los espacios disponibles hasta ahora infrutilizados, como son las fachadas y cubiertas en las edificaciones, lo que constituye la agricultura en altura (vertical agriculture), que ofrece un gran potencial, aprovechando las innovaciones producidas en las últimas décadas, tanto en materiales como en técnicas de construcción y agricultura.

INTRODUCCIÓN

En esta obra, se ofrecen trabajos y opiniones de reconocidos expertos internacionales, basados en su experiencia profesional tanto empresarial como académica y de gestión.

El libro se estructura en tres partes, la primera sobre el papel de las áreas verdes en las ciudades, la segunda sobre tecnología y diseño, y la tercera sobre paisajismo y medio ambiente.

Con el objetivo común de mejorar el bienestar ciudadano, pero con enfoques diferentes, la obra ofrece 27 capítulos en los que colaboran 44 autores de 12 países de Europa, América, África y Asia, con una gran variedad de profesiones: arquitectos, ingenieros, agrónomos, botánicos, físicos, químicos, filósofos, diseñadores, economistas y sociólogos, entre otros.

La obra ejerce de crisol de ideas donde la ciudad se ve reflejada en su variada y compleja realidad. Entendemos por ello que el público objetivo abarca también un amplio abanico, de académicos, empresarios, funcionarios, personal de ONG y todos aquellos interesados en mejorar el medio ambiente y que esperamos pueda ser satisfecho adecuadamente.

Julián Briz e Isabel de Felipe
Madrid Abril 2018



*Jardín interior en altura.
Tokio
I.de Felipe*

INTRODUCTION

Humanity is in a process of rapid urbanization and population growth, which requires an in-depth analysis to achieve living cities (innovative creativity and cultural dynamics), green (incorporating nature in a healthy environment) and sustainable (with a viable long term horizon).

Sometimes these dimensions are synthesized partially under the heading of "smart cities". An essential objective is to awaken the citizen's awareness that the mentioned characteristics are a collective and individual responsibility with multiple facets that require multidisciplinary collaborations.

Among the instruments which can support these objectives of green infrastructures, are agricultural activities, (both ornamental and food). Given the limited space that exists in the cities, innovation leads us to take advantage of the available spaces so far underutilized, such as facades and roof buildings. Thus, vertical agriculture offers great potential, taking advantage of the innovations produced in recent decades, in materials and techniques of construction and agriculture practices.

This book include the works and opinions of recognized international experts, based on their professional experience in business and academic scenarios. It is structured in three parts: the first one shows the role of green infrastructure in cities, the second is focused on technology and design, and the third one, on landscape and environment.

With the common goal of improving the well-being of citizens, but with different approaches, there are 27 chapters in which they collaborate 44 authors from 12 different countries and a wide variety of professions, such as architects, engineers, agronomists, botanists, physicists, chemists, philosophers, designers, economists and sociologists, among others.

The result is a melting pot of ideas, where the city is reflected in its varied and complex reality. Consequently, the target audience covers a wide range of academic, entrepreneurs, functionaries, NGO, and person interested in improving the environment. We hope the book may satisfy properly their expectations.

**Julián Briz, Isabel de Felipe
Madrid April 2018**



*Jardín en altura.
Entidad bancaria Mexico.
I. de Felipe*

PRESENTACIÓN

Cuando Julián Briz e Isabel de Felipe me pidieron que escribiera unas líneas para prorrogar un libro sobre agricultura en altura, pensé inmediatamente en las transformaciones que se están produciendo en las ciudades, y en que quizás, a pesar de estar ante una obra eminentemente científica y técnica, estemos también ante una invitación a imaginar y a ver nuestras ciudades de otro modo.

En Madrid las azoteas de los edificios han sido siempre espacios desapercibidos, invisibles desde las calles, desiertos y ausentes de vida. De niños nos enseñaban a no subir jamás a la azotea. El acceso a la mía estaba cerrado por una puerta metálica, en la que había dibujada una señal de peligro. Sabíamos que allí estaban las antenas de televisión, el motor del ascensor, y a veces también se tendían las sábanas en unas cuerdas muy largas a las que sólo llegábamos de puntillas. Lo sabíamos porque algunos habíamos tenido la suerte de subir con algún adulto que tenía la llave de la puerta. Pero jamás podríamos estar allí solos. Además del atractivo de ser un ámbito prohibido, lo que realmente nos fascinaba de la azotea era poder contemplar la ciudad desde lo alto. En invierno se podía ver incluso la nieve sobre las cercanas montañas del Guadarrama.

Ahora pienso que era algo que apreciábamos especialmente porque, a diferencia de otras ciudades que he ido conociendo después, nuestra ciudad siempre fue escasa de horizontes y de espacios abiertos.

Hace cinco años creamos el Centro de Innovación en Tecnologías para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid

(itdUPM) para contribuir a la profunda y radical transformación a la que nos convocan los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A ello nos dedicamos la comunidad diversa e interdisciplinar de investigadores que formamos el Centro, abordando problemas complejos como los que se plantean cuando se pretende rediseñar las ciudades para hacerlas socialmente inclusivas y ambientalmente sostenibles. Avanzar en esta dirección nos obliga a ser imaginativos y a pensar en futuros posibles que no sean la mera extrapolación del pasado que hemos conocido.

Una ciudad en la que la naturaleza se entrelace armónicamente con las viviendas y las infraestructuras urbanas, rompiendo la frontera convencional entre el mundo artificial y el mundo natural, puede parecer fruto de una visión ingeniosa y poco realista. Pero, como va a quedar patente en los capítulos que componen esta obra, no faltan investigadores y profesionales que tienen la audacia de imaginar la ciudad de otra manera, demostrando que estamos más cerca de lo que a menudo pensamos de construir espacios de vida ambientalmente más sostenibles y, al mismo tiempo, más atractivos, más inclusivos, más alegres y más vitales.

Puede ser que llegue un día, ojalá no sea muy lejano, en el que las niñas y los niños que viven en los edificios de Madrid piensen en sus azoteas como espacios cercanos y amables a los que da gusto subir para ver la ciudad, espacios en los que huele bien porque, durante la mayor parte del año, los vecinos suben allí a cultivar y a recoger plantas y verduras.

Carlos Mataix
Director itdUPM
Madrid Febrero 2018



*Huerto comunitario.
París. I. de Felipe*

FOREWORD

When Julián Briz and Isabel de Felipe asked me to write a few lines to present a book on vertical agriculture, I thought immediately about the transformations that are taking place in cities, and that perhaps the publication, as well as being a scientific and technical work, would be an invitation to imagine our cities in another way.

In Madrid, roof gardens have always gone unnoticed, they are spaces which have been invisible from the streets, deserted, lifeless. As children, we were told never to go up to the roof terrace, the access was locked and a large warning sign was put up. When I was child, my friends and I knew that, on the roof, there were television antennas, the motor for the lift and sometimes, those long clothes lines that you could only reach up to on tiptoe. We knew that because some of us had been lucky enough to go up with an adult who had a key. Never alone. As well as the attraction of being in the “prohibited area” the exciting thing about the rooftop was the view of the city from above. In winter you could see even the snow on the Guadarrama Mountains.

I now believe that what made it so special was the fact that, unlike other cities which I have come to know since, ours lacks horizons and open spaces.

Five years ago we created the Innovation and Technology for Development Centre at the Universidad Politécnica de Madrid

(itdUPM) to contribute to the far-reaching and radical changes demanded by the Sustainable Development Goals. The interdisciplinary community of researchers in the Centre deal with complex problems such as those posed when redesigning cities to make them socially inclusive and environmentally sustainable. Progress in this direction requires us to be imaginative and look at the future not only as an extrapolation of the past.

You may be forgiven for believing that the vision of a city in which nature is harmoniously interlinked with housing and urban infrastructure and in which the conventional border between the artificial and the natural world is broken, is unrealistic or naïve. In the following chapters, however, it becomes apparent that there are many researchers and professionals who have the audacity to imagine the city in precisely this way, and that we are in fact closer to constructing cities which are more attractive, more cheerful and more lively as well as being more sustainable than ever.

Hopefully in the not too far distant future, there will come a day when our children living in Madrid will regard their rooftops as close and friendly spaces, pleasant places to be and to enjoy the views of the city, where neighbours grow aromatic plants and vegetables.

Carlos Mataix
Director itdUPM
Madrid February 2018



*Cubierta verde y paneles
solares. Madrid.*

AGRADECIMIENTOS

La elaboración y publicación de un libro implica movilizar una serie de recursos humanos y económicos a fin de conseguir los objetivos buscados, entre los que destaca, en nuestro caso, el servicio a la sociedad urbana.

El tema abordado responde a una realidad multifacética de reciente implantación, aunque con una tradición milenaria en el enfoque básico, lo que nos obliga a recurrir a especialistas consagrados en diversos temas. A ellos, los autores, va nuestro primer agradecimiento por su esfuerzo y entrega de la documentación en contenido, tiempo y forma requeridos.

Nuestro reconocimiento a las asociaciones WGIN y PRONATUR que al igual que en publicaciones anteriores han sido el núcleo organizador y promotor de esta obra, dentro del marco de actividades que vienen desarrollando a nivel internacional y nacional en favor de la naturación urbana.

En el contexto financiero, hay que destacar el apoyo de itdUPM, que ha sido el patrocinador en un trabajo que, por otra parte, se enmarca dentro de sus líneas de investigación, tanto en su sede de la estación experimental de agricultura urbana y arquitectura bioclimática, como en los trabajos reflejados en los

capítulos de algunos de sus miembros que figuran como autores colaboradores.

Personalmente agradecemos a Linda Velázquez por facilitar material fotográfico incluido en este libro, así como a Claire Diebel, por su apoyo en la fase de preparación y contactos con expertos. Ambas figuran, además, como coautoras en varios capítulos.

Hemos de reconocer la labor de la Editorial Agrícola en la publicación de la obra, de Foro Agrario y del Observatorio de Naturación y Agricultura Urbana, organizadores de jornadas anuales, verdadero germen de muchas de las actividades desarrolladas en este ámbito, con premios académicos y profesionales sobre el tema.

Finalmente, y no de menor importancia, señalar la positiva aportación que de forma directa o indirecta realizan para mejorar nuestro entorno urbano las instituciones públicas, los centros universitarios y de investigación, las asociaciones profesionales como el Colegio de Ingenieros Agrónomos, la Asociación de Huertos Urbanos, CELALE y asociaciones de jardinería y paisajismo, entre otras.

**Julián Briz, Manfred Köhler, Isabel de Felipe
Madrid, Febrero 2018**



*Reparando jardín vertical.
Estación Central Tokio.
I. de Felipe*

ACKNOWLEDGMENTS

The development and publication of a book involves the use of human and economic resources, with the final objective of being useful for the society.

In our case, the objective has been to analyze the situation of green cities and we have had the chance of collaborating with specialists. Therefore, our first recognition is to the authors for their efforts to deliver their work as requested.

We wish to thank the associations WGIN and PRONATUR, which as in previous publications, have been the organizing core and promotion of this publication, within the framework of their activities at international and national levels supporting the green urban infrastructures.

In the financial context it is necessary to highlight support of itdUPM, which has been the sponsor of this work, which is part of its research lines with its headquarters in the experimental station of urban agriculture and bioclimatic architecture. Some members of

itdUPM are authors of several chapters of the book.

Special recognition to Linda Velazquez, for the support of photograph material included in the book, and Claire Diebel for the help in the preparation phase with contact to experts. Both are also coauthors in several chapters.

Editorial Agricola has been, as in other cases, the efficient support for the publication of the book, Foro Agrario and The Observatory of Urban Green Infrastructure have been the true germ of many of the activities developed: publications, sessions and academic and professional awards on the subject.

Finally, we thank the contribution made, directly or indirectly, by public institutions, professional associations such as the Colegio de Ingenieros Agrónomos, CELALE, Association of Urban Gardens, and Landscaping, Asociación de Huertos Urbanos de Madrid, among others.

**Julián Briz, Manfred Köhler, Isabel de Felipe
Madrid, February 2018**





PARTE 1

EL PAPEL DE
LAS ÁREAS
VERDES EN
LA CIUDAD

PART 1

*THE ROLE
OF GREEN
INFRASTRUCTURE
IN THE CITY*

*Tokio Ark Hill.
I. de Felipe*



*Milan, Expo 2015, Edible
façade at the US pavilion.
M. Köhler.*

CHAPTER 1

TECHNICAL SOLUTIONS FOR BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE

Manfred Köhler, Claire Diebel, Cristian Rares Nistor, Radu Mircea Giurgiu
koehler@hs-nb.de, kelai.diebel@gmail.com
nis.rares@gmail.com

1. INTRODUCTION

Trends of “smart farming” are booming in Asia, Europe, and across the United States. The result augments food security, environmental protection, improved health, and economic growth. In the eye of the global challenges of food security, limited availability of arable land, extensive food miles, and an agrarian disconnect in general, vertical farming projects have surpassed ornamental functionality and entered mainstream demand. Nonetheless, changing the way vegetables and herbs are grown presents a number of challenges. The foremost disadvantage is the initial investment and ongoing operational costs a vertical farm (Kozai et al. 2016). These barriers however can be reduced significantly through better design.

As illustrated throughout this book, there are many examples of how BIA systems enhance the experiences of people living in cities (see chapter within this book of Diebel 2018). BIA can be realized in an array of systems that merge agriculture, architecture, and

engineering. Since integrating farming systems with structure is less forgiving than both natural landscapes and traditional farming, BIA requires a higher level of coordinated design, construction, and maintenance. While design professionals may understand that an agricultural framework is required to sustain plant growth, the complexity of BIA may not be fully appreciated. Ensuring quality and standards through industry guidelines, codes, and education is indispensable to state-of-the-art BIA practice and legislation development.

Building integrated agriculture (BIA) seeks to transform surfaces and spaces which exist in the built environment into productive farms. Simply put, BIA intersects food production with green infrastructure. Drawing off of 50 years of research, green infrastructure experience gained in the industries of roof greening, façade greening, and indoor greening can be applied to help streamline the technical design aspects hindering BIA developments.

Within WGIN one to founder, Geoff Wilson, from Brisbane Australia brought a lot of information into this network in the years

2008/2010. Now the minds seemed to be open for this in many countries and cultures, thanks to his pioneer work.

From Green Infrastructure to Building Integrated Agriculture

To steer away from potential issues, recommendations and standards were first published from the German FLL (www.FLL.de) for green infrastructure in 1982, and since then reworked many times. The FLL are the most comprehensive set of guidelines produced worldwide, as they present information on structure, waterproofing, root barriers, drainage, growth media, vegetation, and maintenance for green roofs, living walls and indoor greening. The FLL guidelines are linked to DIN and EN regulatory standards, and so are bound to construction standards. The guidelines are the result of unpaid technical and scientific work, and are recognized as the benchmark set of regulations for roof greening in both Germany and abroad. In addition to codes of practice and tools for planning, construction, and maintenance, the FLL guidelines include consumer oriented testing methods for vegetation substrates and drainage materials and roof membranes (Diebel 2016).

By the 1980's, the average annual growth rate of green roof developments in Germany was between 15-20% (Briz et al. 2015). This remarkable growth was by reason of green roof policies and financial subsidiaries rooted in reliable research and technological advancements. Parallel to the expanding market, a new green roof industry emerged in Germany for plant and material suppliers, architects, installers, maintenance crews, researchers, and academic institutions. So far, edible plant production in both indoor and outdoor situations are not on the FLL agenda. Building on experience and progress from the green infrastructure industry however, this section begins with adopting some green roof doctrine to layout a demand for substantial BIA guidelines.

2. GREEN ROOF FARM STRUCTURE

The FLL describes green roof systems as either intensive or extensive. Extensive green roofs are between 5-15 cm deep and are characterized by their low weight (50 – 200 kg/m² when saturated), low capital cost, and minimal maintenance. Intensive green roofs measure 15cm or more in depth, and are characterized by greater weight (200 - 1,500 kg/m² when saturated), higher capital costs, more plantings, and higher maintenance demand.

Just as green roofs are recognized for their ability to improve urban life quality, urban rooftops can be converted to yield edible crops and remedy environmental, socioeconomic, and public health concerns. Roof farms are now prevalent throughout North America, Europe, and Asia (see a list of more than 50 roof farms in Appendix X). Systemically, roof farms resemble intensive green roofs in load capacity, irrigation requirements, and accessibility. To maximize agricultural potential, “the increased soil depth of an intensive roof is essential to provide enough distance downward for the deeper roots of food bearing plants” (Oberndorfer et al 2007).

The most limiting factor to roof farming is the weight requirement, which must be assessed on a case by case basis. Herbs, leafy greens, vegetables, berry shrubs can grow in a 10-15 cm thick substrate and average to weigh 150-300 kg/m². Other vegetables, legumes, berry shrubs, and fruit trees need 40cm or more and demand anywhere from 300 – 500kg/m². In the same manner of green roofs, layers of filter fleec, water retention board, root barrier, and waterproofing are laid below the substrate and vegetation.

3. GREEN ROOF FARM MEDIUM SOLUTION

Choosing the best growing medium for rooftop farming is complex due to harsh conditions,



Milan. Expo 2015. Vertical green selling pavillion. M. Köhler

high winds, extreme temperatures, lack of water, shadow projections, and need for lightweight material which satisfies the nutrient requirements of the crops grown. High-humidity climates need soils that dry out and drain quickly while dry climates need a growing medium which retains water and minimizes drought.

As it pertains to green roof growing medium, the FLL guidelines include requirements for frost resistance, bedding stability, water permeability, water-storage capacity, air content, pH-value, salt content, and nutrient content. It is described how the ideal growing medium has good drainage and aeration, good water retention without getting waterlogged, resistance to decomposition, and is lightweight but is stable enough not to blow away with wind. Each of these qualities are essential to roof top farming, however where edible plants are growing, high-nutrient content is essential.

Green Roof Farm Growing Medium Compositions

Depending on the climate and the crops grown, a blend of peat-based growing medium, pumice, coir, mycorrhizae fungi, organic compost, lightweight clay aggregates, and/or crushed tile could deliver high air porosity and good water retention with high nutrient value.

- Peat is a lightweight soilless medium which has high air porosity. Peat, however, is characterized as a slowly renewable natural resource and must be used wisely.
- Pumice is an extremely porous igneous rock formed during volcanic explosions and so offers excellent water, air, and nutrient holding properties.
- Coir is a rot-resistant fiber harvested from the outer husk of coconuts. Although coir is

a renewable resource, long distance shipping can lead to a larger carbon footprint.

- Lightweight clay aggregates and crushed tile help to limit compaction and improve stability but should not exceed 30% of the volume due to the added weight.
- Mycorrhizae fungi provide good drainage while protecting the medium from drought and are proven to help plants in stressful environments to take up nutrients.
- Finally, mixing compost into the blend provides a nutrient boost and water retention. Fine particles in the compost, however, can clog the growing medium's porosity and increase the pH, so compost should be blended into the mix at a rate of no more than 10%. The ideal pH for most plants is at or below 6.0.

Green Roof Farm Growing Medium Water Retention Capacity/Water Runoff/Capillarity

The ideal rooftop soil mix reduces storm water runoff volume and minimizes the need to irrigate while achieving viable yield of crops. To this goal, it is important to balance evapotranspiration demand and soil water holding capacity. Volumetric water content (VWC) in soil is sensitive to the composition of soil mixes but has been generalized to an extent from a series of case studies named Biogeochemistry of Rooftop Farm Soils (Harada et. al 2017):

- mixes of pumice and lightweight clay contained a 2-7% VWC;
- mixes of crushed tile and pumice contained 15-20% VWC;
- peat contained 15-20% VWC;
- compost contained 30% VWC

Precipitation run off indicates the export of drainage flowing through the growing medium

and underlying drainage layer. Soils retain the maximum amount of water where pore sizes are more evenly distributed.

Harada found in his study 2015 on a roof top farm a high leaching rate of N in the percolated water. Consequences for the future are well selected roof top soils with higher holding capacity and a more frequent irrigation with only small amounts of water in each cylus.

Rooftop soils however, often lack sand, silt and clay portions. A higher content of small particles < .063 mm should represent about 15% of the total composition (FLL 2016).

According to intensive green roof substrate, the water permeability should reach values of about 0,3 mm/minute and the overall water storage capacity should be above 45 VWC. To achieve such values, the use of special materials, like hydrogel or diatomeen can reduce the volume of the growing medium. Depending on the system, gravimetric barriers can be employed to avoid fast water run-off from the roof. Air content shall be presented at about 20% by volume. To avoid inherent problems of roof farming medium, it is crucial to harmonize irrigation with the needs of the planted species and chosen soil mix.

4. GREEN ROOF FARM IRRIGATION SYSTEMS

Access to water can be a challenge if plumbing infrastructure is not in place. Moreover, accessing water for roof farms in places with water restrictions causes serious concern. Rooftop rainwater harvesting, drip irrigation, and water retention trays can be used together to make the most out of every drop of water on green roof farms.

In contrast to many irrigation techniques, drip irrigation enables a watering system that provides slow, regular and even soil wetting. Water is directed through pipes or tubes directly to the plant roots, enabling the plants to most efficiently use the water. Drip irrigation

is proved to limit the amount of water lost to drainage and hence washes away a minimal amount of nutrients. The time required for manual irrigation is dramatically reduced, and so for many reasons drip irrigation is a promising tool for reducing labor demand, decreasing waste, increasing efficiency, and improving harvest quality and quantity.

Drip irrigation systems generally include a tank elevated approximately 1m above watering level, a spigot, a filter, a 50mm thick sub pipe, multiple 12 mm lateral pipes, and 1.2 mm “spaghetti” tubing.

5. HYDROPONIC – GARDENING/ FARMING

Hydroponic systems are possible on roofs or on facades. In the following an own type, just in the survey will be presented more in detail.

Food production by conventional agriculture faces some challenges in terms of population growth, while space and resources become scarce (Thomaier et al. 2015). Therefore, the agriculture becomes more intensive, to meet the objectives of producing high yields in short time and on the available space. This has a negative effect on the environment. Monocultures with intensive use of fertilizers and insecticides jeopardize biodiversity and

have a big negative impact on the soil and water.

Controlled environment agriculture can be used for producing food all year round with results of high yield and quality of products. Nevertheless, inputs like energy or fertilizers are still things that need to be addressed. Controlling the environment can lead to better plant quality when the influence of the parameters are fully understood.

Another advantage of these systems is that it does not affect the soil in any way. The substrates used do not restrict cultures to be made in harsh environments or locations and furthermore they can be stacked, creating a vertical farm. The vertical farms represent an alternative to traditional agriculture by producing food without soil, also increasing the yield and cultivation area (Despommier 2011).

Hydroponic systems

In recent years due to intensive research programs conducted worldwide the hydroponics and aquaponics cultures were greatly improved. It is estimated that the hydroponic cultivation market will have 6.5% growth until the 2020. The market share of the hydroponically cultivated plants was estimated to grow from 19.95 b.\$ in 2015, to 27,33 b.\$

Tab. 1. Comparing 5 growing media for hydroponics for tomato yield and obtaining of fructification (Source: Jensen 2010)

Growing media (bag culture)	Yield		Size (gms/fruit)
	Plants/bag	kg/m ²	
Cococnut coir	10,63	26,58	196
Perlite (3 plts/bag)	10,27	25,69	195
Peat	9,92	24,81	193
Coir with perlite	9,71	24,27	192
Rockwool	9,61	24,02	185
Perlite (6 plts/bag)	9,36	23,40	192



Kunming, China: An educational urban farming project on top of a shopping mall. M. Köhler

in 2020. The most cultivated plants in soilless systems are tomatoes, pepper, cucumbers, strawberries and leafy greens. This technology has been quickly adopted in Europe with The Netherlands, Spain and France leading on the top positions of the countries that use it. Next to Europe, the Asian-Pacific area comes close and USA and Canada having the most accentuated growth of the market in the same time frame (Stimmel 2016a,b).

The most common substrate used for this culture types is rockwool. This provides an optimum environment for plant growth but is expensive and can be tough to place. The mix of peat and vermiculite are used since the beginning of these cultivation methods. Although this is an expensive substrate it can be reused for ornamental plants produced in containers. Another substrate that grows in popularity is perlite. This is less expensive and can also be reused for ornamental plants (Jensen 2001) (Tab. 1)

Rockwool it can be used in almost any hydroponic system and it is appropriate for almost all types of vegetables grown, from seed to harvest (White 2004). This substrate comes in different sizes and shapes that allow the grower to use it in any vegetation phase of the plants. The transplantation is eased by the modular character of the cubes that are combined like brick pieces. The drainage of the nutrient solution is important to assure enough oxygen for the roots and avoid the overflow that can rot the roots. Generally a 80% nutrient solution, 15% oxygen and 5% Rockwool fibers are optimal parameters for healthy root formation of the plants. The high water retaining of the Rockwool substrate reduces the hydric stress of the plants, but a close monitoring of the substrate humidity has to be implemented. Although there are means for treating the used substrate and prepare it for reuse, it is generally wasted, which adds an environmental and logistic problem for the farmers. The sterile substrate is not auspicious

for pathogens; therefore the use of pesticides or insecticides is not as likely using Rockwool for cultivation.

Perlite is a substrate derived from volcanic rocks. It is used for soilless cultivation and also as additive in soil for its properties of aeration and good drainage. Compared with the Rockwool substrate, the perlite can be used in multiple cycles. The capillarity of the perlite helps the nutrients from the solution to easily reach the roots but also help by draining fast the water and though the roots have enough oxygen for their development.

Clay Pebbles have grown in popularity due to its properties. It has a neutral pH and a good capillary, ranging in size from 1 to 18 mm diameter and the granules are sterile. The clay pebbles are most used in recirculating hydroponic systems with a high frequency of irrigation time frames. The substrate cannot retain a lot of water, therefore often irrigation is mandatory. The pebbles are very porous which makes them really light and easy to manipulate. Their average weight is somewhat between 380-710 kg m⁻³.

Besides these sterile substrates, there are a few organic one. The **coconut coir** is an organic substrate that is frequently used in soilless cultivation. It retains the nutrient solution but also offer enough oxygen for the roots. Some studies discovered that the coir is also a repellent for pests. In the context of organic farming the coconut coir can allow some farmers to obtain the organic certification, but it greatly depends on the country's legislation.

The most used hydroponic systems are: drip irrigation system, ebb and flow technique, Nutrient film technique, aeroponic system.

The **drip irrigation hydroponic system**, works by using a substrate for growing the plants positioned on a tray. This method of cultivation is mostly used for commercial cultures with a long vegetation period such as tomatoes, cucumbers or peppers. Using

this method the nutrients reach the plants through a dripping system. The water pump is programed to start and stop at certain intervals depending on the culture type, vegetation period, nutrient solution or light intensity. The regular functioning program is 10 minutes for each hour. The irrigation cycle washes the substrate providing oxygen for the plants, water and fresh nutrients (Skeikh, 2006). The most used substrates are the Rockwool and perlite.

The ebb and flow technique requires the plant beds to be flooded between 5 to 10 minutes, afterwards the water is drained back to the water tank. During the flooding time the substrates are drenched in water mixed with nutrient solution. This system is mostly used by hobbyists in hydroponic cultures and less in commercial ones.

NFT (*Nutrient film technique*) the plants from this system are suspended while only the roots touch a flow of water mixed with nutrients (Skeikh, 2006). The terminology of nutrient film was invented to stress the fact that the liquid needs to flow superficially only at the root level. Because the roots grow outside the pot the pH and E.C. has to be carefully monitored (Stevenson, 2013).

The advantages of the NFT hydroponic system (Resh, 2013): small investment cost, elimination of substrate preparation and sterilization, fast change between cultures, precise nutrition solution control, containment of an optimal temperature at the root level, simple installment and maintenance, reduction of transplantation shock by using pots, ease of nutrient solution adjustments in regard to the light intensity, continuous irrigation reduces the plant stress, reusing the water in the system by working with a closed loop system.

The aeroponic system: In this system the plants are suspended, the nutrient solution is being applied directly at the root level through a mist system. The aeroponic system allows

the researchers to better study the roots of the plants. It is being used more in research fields than in commercial ones.

Aquaponics systems

The aquaponics systems are a mix of aquaculture and hydroponics (Fig.1.). The water from the fish tanks flows to the plants through a series of filters and bacteria reservoirs. The fish waste serves as a nutrient for the plants. Flowing through the filters, firstly, the solid waste is being removed from the fish waste. After this stage the water flows through the biofilter where the bacteria converts ammonia into nitrite and then nitrate. This process is called nitrification. As the water flows through the plant beds the plants retain these nutrients so that the water returns to the fish tank clean. This cultivation system allows plants, fish and bacteria to develop a symbiotic relationship (FAO).

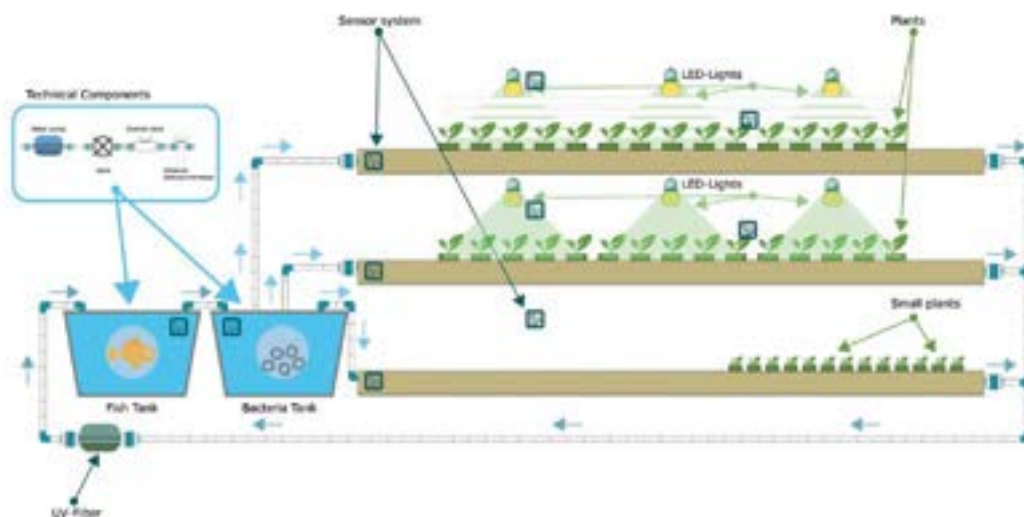
The aquaponics system is not so different from the hydroponic system. It uses the same technology for plant growth and water circulation but it is merged with the aquaculture system. Depending on the fish and plant

species some parameters need to be adjusted so that the organisms thrive. Some fish species like Tilapia need a warm water environment, therefore a heating is mandatory. Other fish species like Carp thrive in a lower temperature range so the system may not need special heating. The plants chosen need to suit the same nutrient solution temperature.

The pH is important for all the three stages (fish, bacteria and plants) so it may be the case that the plants require a more acidic pH (5.5-6.5) than the plants and bacteria (6-7), therefore the nutrient solution has to be closely monitored and chemically controlled. The fish waste contains most of the nutrients that the plants need but some macro elements such as Iron are commonly lacking. The farmers need to either add it with synthetic fertilizers or use some other methods regarding the fish feed, bacteria species or other organism (algae).

An important water parameter in aquaponics is dissolved oxygen which is essential for fish and bacteria. There is generally the need to add liquid oxygen or use air pumps throughout the cultivation cycle. The filtration is also a

Fig. 1. Aquaponics system layout (from: plantgeek.eu)



key element in this kind of cultivation. Using waste for fish can be a threat for the irrigation systems, therefore the water should be filtered in multiple phases and it is recommended the use of UV-filters as well.

The micro ecological life of the system is the most important factor for the success of the culture. The bacteria is inoculated before the fish and plants are added and the latter are added when there is no more ammonia and the balance between nitrite and nitrate is steady. The nitrifying bacteria is naturally occurring but it can be also added in the system to speed up the process. It is commonly used different types as substrate from plastic to ceramic that offer high oxygen saturation for the bacteria to thrive.

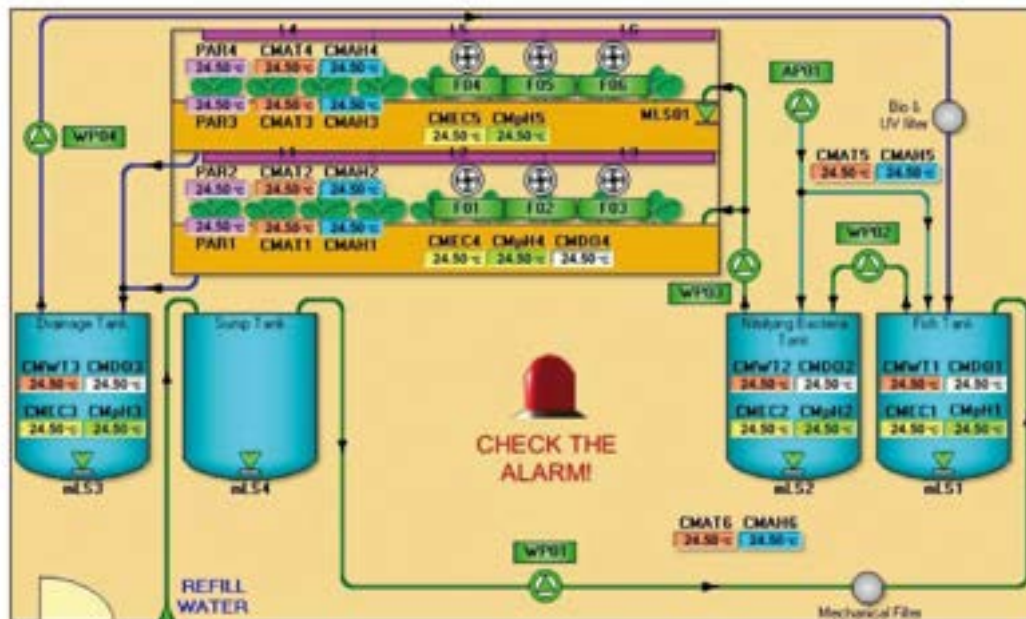
For a better controlled environmental parameters the modern hydroponic / aquaponics systems implement automation through large sensor network systems that collect, store and help create correlations between different data sets.

In general the automation used is the industrial automation that is expensive but durable. More and more alternatives are being developed for cheaper sensor systems. The research project conducted at the U.A.S.M.V. Cluj-Napoca funded by DBU and coordinated by the University of Applied Sciences from Neubrandenburg develops such sensor systems that can affordable not only to the industry but also for independent growers. The large sensor network (Fig. 2) will be built to collect and store data and react to various parameters from the system so that it will become fully automated. It will give its user the possibility to remote control the system, to receive alarms if the parameters are out of order, the ability to change parameters in the system and also to use a mathematical model to help predict yield and plant quality.

Technical Challenges

Soilless cultivation can increase the yield and offer more control over the cultivation, but it also comes with a number of risks.

Fig. 2. Aquaponics sensor system (from: plantgeek.eu)



Tab. 2. The main 3 module types of vertical gardening, key characteristics

Module type	Growing media	Benefit	Challenge
Horizontal planter boxes of different size	Soil with nutrition	Easy replanted, well know growing, similar to gardens at the ground	Heavy, too much water can induces mold
	Hydroponic system	Light weight, clean media	A system of irrigation pipes is needed,
Vertical modules	Soil with nutrition	In sandwich - construction of several layer an even water supply and a slow penetration can be guaranteed	Heavy, soil must be protects against falling out of the boxes
	Hydroponic on different materials with water holding capacity	Exact irrigation supply by pipe systems	Evan water distribution, slow water penetration
Geofelt system	Soil less /or soil free variables	Very thin construction, less weight	The irrigation must be drip several times a day

Hydroponics have a high implementation cost, generally because of the cultivation system, the automation level and the range of the factors the farmer needs to control for plant production (Olympios, 1999). Compared to the conventional agriculture, some imbalances can occur in the nutrient solution used in hydroponics regarding the pH and Electrical conductivity which can jeopardize the plant health. Other issues are linked to the malfunction of the electrical powered equipment's such as the water pumps which can lead to the loss of the entire culture in a short time.

In the same context, the energy consumption is the number one disadvantage. In 2015, a study at the University of Arizona, USA, compared the hydroponic cultivation of lettuce to the conventional soil one. They showed that the hydroponically grown lettuce consumed 90000 ± 11000 kJ kg⁻¹ an⁻¹ compared with the significantly less 1100 ± 75 kJ kg⁻¹an⁻¹ energy consumption for the lettuce grown in soil. Nevertheless, the yield of the plants cultivated in hydroponics was 10 times higher (41 ± 6.1 kg m⁻² an⁻¹, respective 3.9 ± 0.2 kg m⁻² an⁻¹). The same study showed that growing

lettuce in soil lead to 250 ± 25 L kg⁻¹an⁻¹ while for the hydroponic grown only $20 \pm 3,8$ L kg⁻¹an⁻¹ was needed (Barbosa et al, 2015).

But water saving is not always so good. The most common technical challenge is referred to the rapid spread of pests and diseases in soilless cultivation. The recirculating systems are saving a large amount of water, but if pathogens are present they will spread quickly to other plants (Resh 2013).

Controlled environment cultivation incorporates diverse disciplines from botany to engineering and management, which asks for skills from diverse disciplines to successfully operate the systems.

6. TRENDS AND BASIC TYPOLOGY IN VERTICAL FACADE SOLUTIONS

Facades as space resource need specialized technologies to maintain the plot. Light weight aquaponics beds are easily to be planted, harvested and supplied with water and fertilizer. As described in this chapter, minimum technical solutions are essential.



Hotel One Farrer, Singapore. A roof top farm for the hotel kitchen. M. Köhler

Depending on the project, the clients have to choose from the three module types with different benefits each.

Both is possible, the small scale solution as extra plant beds in addition to some terraces or gardens, or the industrial solutions which needs all technical solutions for plant specific watering and fertilization. The developments are currently under review – in the next years, many further solutions will achieve in the market – the markt is still at the beginning.

Both, the small scale solution as well the industrial sized vertical urban farm will be near by the customer and can supply fresh and also local. That can be a contribution to reduce transport costs and transport related emissions and significant noted in the urban climate balances (Rothwell et al, 2016). Urban agriculture opens will have most acceptance by people who take transport chain into their

account of products. The short here mentioned systems open chances for both: small scale private grow system or in the multiplicities system chances for professional production. We are at the beginning of such developments – vertical space in cities waits for further edible structures.

CITED LITERATURE

Barbosa G.L., Gadelha, F.D.A., Kublik, N., Proctor, A., Reichel-Weissinger, L., Wohlleb, G.M., Halden, R.U. 2015. Comparison of Land, Water and, Energy Requirements of Lettuce Grown using Hydroponics vs. Conventional Agricultural Methods, Int. J. of Environmental research and Public Health, XII, 6879-6891.

Briz.J., Felipe, I.d., Köhler, M. 2015 (2nd ed.). Green cities in the world. Editorial Agricola Espanola. Madrid, 358p. ISBN 978-84-92928-30-9. 336p.

- Despommier D. 2011., *Vertical Farming*, Ed. Picador, New-York, USA.
- FLL (ed.) 2016a. *Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen*. FLL-Bonn – Gelbdruck, 154 p.
- FLL (ed.) 2016b. *Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*. Bonn Gelbdruck, 151 p.
- FLL (ed.) 2011. *Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*, Bonn, 125 p.
- Jagt, A.P.N.; Szaraz, L.R., Delshammar, T., Cvejic, R., Santos, A., Goodness, J., Buijs, A. 2017. *Cultivating nature-based solutions: The governance of communal urban gardens in the European Union*. *Environmental Research* 159: 264–275
- Jensen M., 2001. *Hydroponics worldwide - a technical overview*, University of Arizona School of Agriculture, Tucson, Arizona, USA.
- Jensen M., Rorabaugh, P., Garcia, M. 2010. *Controlled environment agriculture in deserts, tropics, and temperate regions - a world review*, Supported by CEAC, the Controlled Environment Agricultural Center, College of Agriculture and Life Sciences, and The University of Arizona, USA.
- Köhler, M., Ansel, W., Appl, R. Betzler, F., Mann, G., Ottelé M., Wünschmann, S. 2012. *Handbuch Bauwerksbegrünung*. R. Müller Verlag, Köln, 250 S., ISBN 978-3-481-02968-5
- Kozai, T., Kazuhiro, F. Runkle, E.S. (ed.) 2016: *LED Lighting for Urban Agriculture*, Springer, Singapore, 454p.
- Nadal, A.; Alamús, R., Pipia, L., Ruiz, A., Corbera, J., Cuerva, E., Rieradevall, J., Josa, A. 2017. *Urban planning and agriculture. Methodology for assessing rooftop greenhouse potential of non-residential areas using airborne sensors*. *Science of the Total Environment* 601–602: 493–507
- Oberndorfer E, Lundholm J, Brass B, Coffmann R, Doshi H, Dunnett N, Gaffin S, Köhler M, Liu K, Rowe B *Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services*. *Bioscience*. 57: (10): 823 - 833.
- Olympios C.M. 1999. *Overviews of soilless cultures, advantages, constraints and perspectives*, Choukr-Allah R. (ed.) 1999. *Protected cultivation in the Mediterranean region*. *Cahiers Options Méditerranéennes*, CIHEAM / IAV Hassan II, Paris, France, 31: 307-324
- Resh H.M. 2013. *Hydroponic Food Production*, Ed. Woodbridge Press Publishing Company, California, USA.
- Rothwell, A., Ridoutt, B., Page, G., Bellotti, W. 2016. *Environmental performance of local food: trade offs and implications for climate resilience in a developed City*. *J. of Cleaner Production*. 114: 420-430.
- Saha, M.; Eckelman, M.J. 2017. *Growing fresh fruits and vegetables in an urban landscape: A geospatial assessment of ground level and rooftop urban agriculture potential in Boston, USA* *Landscape and Urban Planning* 165: 130–141
- Sheikh B.A. 2006. *Hydroponics: Key to sustain agriculture in water stressed and urban environment*, *Pak. J. Agril. Eng. Vet. Sc.* (2).
- Stevenson S. 2013. *Hydroponics systems - how they work and how to set up a simple flood and drain system*, *Everyday Hydroponics*,
- Stimmel C.L. 2016a. *Global Hydroponics Market – By Type Crop type and Geography Market Shares, Forecast and trends (2015-2020)*, Manifest Mind, LLC.
- Stimmel C.L. 2016b. *Global Smart Greenhouse (Hydroponic, Non-hydroponic), Market 2015-*

2020 – Market is expected to raise more than USD 1,2 Billion, Manifest Mind, LLC.

Thomaier S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B., Sawicka, M. 2015. Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming), *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30:01:43-54

White B., 2004, *Alternative hydroponic substrates*, GPN Magazine, USA.
<http://www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e01.pdf>

You, Y., Yang, X. 2017. Urban expansion in 30 meagcities of China: categorizing the driving force profiles to inform the urbanization policy. *Land Use Policy*, 68: 531-551.

Links:

<http://www.cityfarmer.info/2015/11/08/geoff-wilsons-citiesalive-first-issue/>

<http://teca.fao.org/read/8934>

Acknowledgement:

This research is partly funded by the DBU, Germany. <https://www.dbu.de/2535.html>

Also thanks to the Humboldt foundation, Chancellor fellowship, AVH, Germany,

<https://www.humboldt-foundation.de/web/german-chancellor-fellowship.html>

APPENDIX A:

1	Hai Cafe	Asia	China	Chengdu
2	Factory Farm	Asia	China	Chongqing
3	Pujia Primary School	Asia	China	Hangzhou
4	Jintai Village	Asia	China	Sichuan
5	Anken Green	Asia	China	Shanghai
6	SkyFarm	Asia	China	Shanghai
7	City Garden Farm, Jin Qiao Mall	Asia	China	Shanghai
8	RoofTop Organic Garden	Asia	China	Shanghai
9	HK Farm	Asia	HK	Hong Kong
10	Urban Farm at Hyuan Place	Asia	HK	Hong Kong
11	Fan n Farm	Asia	HK	Hong Kong
12	Pasona	Asia	Japan	Tokyo
13	City Farm	Asia	Japan	Tokyo
14	Raffles City	Asia	Singapore	Singapore
15	Pathlight School	Asia	Singapore	Singapore
16	OUE Downtown	Asia	Singapore	Singapore
17	Hotel Novotel	Asia	Thailand	Bangkok
18	Kasetsart University	Asia	Thailand	Bangkok
19	Siam Green Sky	Asia	Thailand	Bangkok
20	Dehaize	Europe	Belgium	Brussels
21	D'YRK	Europe	Denmark	Copenhagen
22	ØsterGRØ	Europe	Denmark	Copenhagen
23	AgroParisTech T4P	Europe	France	Paris
24	Beaugrenelle	Europe	France	Paris
25	Robert Donceau	Europe	France	Paris
26	Klinkerkrank	Europe	Germany	Berlin
27	Garten Deck	Europe	Germany	Hamburg
28	Kajolagen	Europe	Sweden	Gothenburg
29	ILBylce	Europe	the Netherlands	Amsterdam
30	Hotel Arena	Europe	the Netherlands	Amsterdam
31	Nest @ Casa 400	Europe	the Netherlands	Amsterdam
32	Restaurant Vermeer	Europe	the Netherlands	Amsterdam
33	Zoku	Europe	the Netherlands	Amsterdam
34	Zuidpark	Europe	the Netherlands	Amsterdam
35	Daktkker	Europe	the Netherlands	Rotterdam
36	Rosewood London	Europe	United Kingdom	London
37	Ryerson Urban Farm	North America	Canada	Toronto
38	Higher Ground	North America	USA	Boston, MA
39	South Side School	North America	USA	Chicago, IL
40	McCormick Place West	North America	USA	Chicago, IL
41	Uncommon Ground	North America	USA	Chicago, IL
42	Urban Canopy	North America	USA	Chicago, IL
43	The Farm at 35 M Street	North America	USA	Washington D.C.
44	The Farm at 1015 Half Street	North America	USA	Washington D.C.
45	The Farm at Elm and Woodmont	North America	USA	Washington D.C.
46	The Farm at Oyamel	North America	USA	Washington D.C.
47	Green Garage	North America	USA	Detroit, MI
48	Brooklyn Grange	North America	USA	New York City, NY
49	Eagle Street Farm	North America	USA	New York City, NY
50	Heif's Kitchen Farm	North America	USA	New York City, NY
51	Riverpark Farm	North America	USA	New York City, NY
52	Top Leaf Farms	North America	USA	San Francisco, CA
53	Food Roof Farm	North America	USA	St. Louis, MO



*Lausana, Suiza.
I. de Felipe*

CAPÍTULO 2

CIUDADES VIVAS, VERDES, SALUDABLES Y SOSTENIBLES

Julián Briz

Catedrático Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid
Presidente de PRONATUR

INTRODUCCIÓN

La historia de la especie humana se materializa en el dialogo constante con la naturaleza, en su proceso de adaptación al entorno de los sentidos como la vista y el oído, por una cuestión atávica de supervivencia. El hombre como cazador y la mujer como recolectora han ido desplegando unas habilidades específicas. Ello explica, en parte, la preferencia por espacios abiertos, donde el horizonte permite detectar a tiempo posibles amenazas. Hoy en día se prefieren viviendas con vistas, aunque por motivos recreativos.

Los modelos de adaptación duran millones de años y se han producido en pequeños grupos de humanos. En los últimos tiempos hay una ruptura en el ambiente, con la masificación urbana y fuertes migraciones, lo que provoca un conflicto entre el “hombre de la edad de piedra y su desplazamiento en limusina” (Lötsch B. 2017)

La idea de la “ciudad viva” es un concepto amplio, de estilo y medio ambiente favorable que

se engarza con ciertas líneas utópicas. Existe el sentido bucólico del Paraíso, donde los humanos se alimentan de los frutos de la tierra sin apenas trabajar. Platón, en la civilización griega, en su obra “La República”, concibe la ciudad-estado que absorbe por completo al individuo, lo educa y lo controla en una sociedad totalmente jerarquizada que choca con algunos de los principios, como la libertad.

En la época medieval florecen las grandes ciudades, con una base mercantil, donde la burguesía se defiende del poder de la nobleza. Las ciudades son prácticamente autónomas y se autoabastecen de alimentos de su entorno reservando el espacio interior a la vivienda para su mejor protección. En el siglo XIX, movimientos socialistas liderados por Charles Fourier y Robert Owen muestran su preocupación por el impacto perjudicial de la revolución industrial y el capitalismo en el tejido social y el medio ambiente. Su idea de tener comunidades que protejan el medio ambiente y sus habitantes vivan en paz y armonía, les lleva a crear núcleos como New Harmony en EE.UU.

No obstante, el socialismo marxista de finales del siglo XIX y principios del XX supone un reto al movimiento verde: la prioridad a la industrialización, el crecimiento económico, la centralización de la Administración y la lucha de clases, son una marcha atrás en las concepciones verdes, al marginar las zonas naturadas en aras de la productividad.

En los años 30, se consideraba que las ciudades modernas y sus alrededores no satisfacían las necesidades de sus pobladores. La gran metrópoli requería una gran inversión de capital e imponía unos elevados costes en medios de transporte. Las zonas periurbanas perjudicaban el paisaje y no tenían autonomía económica ni cultural.

Hoy en día se habla de las ciudades-jardín y la planificación biorregional. Se entiende que no existan “ciudades verdes” en el sentido estricto, pero sí pueden enverdecerse. Para ello debe tenerse en cuenta la conservación de los recursos naturales y un proceso de naturación urbana y rural, la disminución de desperdicios y residuos, elementos contaminantes, ambiente cultural y saludable, justicia social y participación urbana.

La idea de crecimiento económico y agricultura viable, plantea considerar unas ciudades sostenibles, donde se dé importancia al ahorro energético, a la incorporación de la naturaleza y a la participación ciudadana en la cultura y la gobernabilidad (Guiomar, 2015). Su espontaneidad, falta de coordinación y una cierta anarquía en su planteamiento han sido objeto de críticas serias. No obstante, su impacto en la sociedad ha sido beneficioso y ha sido emulado por técnicos, artistas y responsables sociales.

En las ciudades, el “movimiento verde” se centra en una serie de puntos tales como: mejora medioambiental con acciones ecológicas, justicia social, democracia, descentralización, disminución de la violencia, responsabilidad global y personal, respeto a la diversidad y apoyo a las comunidades de base. Es un estilo

de vida que combina los valores ecológicos, paz y justicia social. La preocupación por el conjunto de la humanidad se refleja en el principio: “pensar globalmente y actuar localmente”. Aunque enfatizan la descentralización y responsabilidad de administraciones locales, no deben tomarse decisiones que tengan efectos nocivos fuera de nuestro entorno geográfico y temporal (Lawson, 2016).

En 1972, en el informe al Club de Roma sobre los límites al crecimiento (Meadows, D. et al, 1972), se planteaban ya varias alternativas en la evolución de la humanidad, que pueden ser aplicables a nuestros grandes núcleos urbanos.

a) Bajo la hipótesis de mantenerse la tendencia del crecimiento de la población, la producción alimentaria, la industrialización, los servicios y la contaminación, la Humanidad alcanzaría en un siglo los límites del crecimiento.

b) La alteración de las tendencias anteriormente mencionadas puede realizarse de una forma amplia mediante las acciones en crecimiento sostenible (Agricultura, ecología e industrialización sostenible). y de forma específica en ciudades viables.

En síntesis, la aspiración del ser humano es optimizar el bienestar en el medio que le rodea, lo que en una sociedad urbanita se traduce en lograr ciudades más vivas, verdes, saludables y sostenibles. En un horizonte utópico, podemos hablar de “verdolatria ucronica”(Beruete S. 2016) con una ciudad sostenible y una nueva Tierra.

2. CIUDADES VIVAS

La idea de ciudad viva implica una gestión de la urbe tomando como epicentro el ser humano, interrelacionando las personas y sus actividades con el medio ambiente. La ciudad como ecosistema actúa como crisol de ideas innovadoras en tecnología, cultura y aplicaciones de las TIC, creando un entorno prospero, seguro y saludable (www.arup.com)

Las Naciones Unidas en su programa de Desarrollo Humano han adoptado dos índices que miden el desarrollo (o calidad) humano: Índice de Desarrollo Humano (IDH) y el Índice de Libertad Humana (ILH). En el caso de la urbe podríamos adoptar un (IHU) Índice Humano Urbano que incluye indicadores como: longevidad, tiempo medio de desplazamiento del hogar al trabajo, superficie habitable, espacios verdes por persona o niveles de estrés. Todo ello se complementa con la idea de “ciudad inteligente” que incluye la aplicación de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) para proveer una infraestructura que garantice un desarrollo sostenible con mejora de la calidad de vida.

En una ciudad viva, las infraestructuras urbanas tienen múltiples funciones y, consecuentemente, los beneficios se manifiestan en diversos campos entre los que podemos señalar medioambientales, económicos y sociales.

- Medioambientales:

- Microclima, mitigación de la isla de calor, disminución de la contaminación
- Mejora de la calidad del aire y la gestión del agua
- Biodiversidad
- Disminución de las huellas energética y de carbono

- Económicos:

- Optimización de los flujos de tráfico
- Aumento del valor de los edificios y precios de alquiler
- Agilidad en los periodos de venta y alquiler
- Mayor atracción de inversiones y flujos de visitantes
- Reducción de costes energéticos por mayor aislamiento
- Disminución de costes hospitalarios
- Nuevas oportunidades de negocios y puestos de trabajo



Terraza Fundación Montemadrid. I. de Felipe

- Oferta de productos alimentarios y ornamentales

- Sociales:

- Mayor vertebración del vecindario
- Estímulo a la actividad física
- Disminución del estrés
- Aumento de la productividad en el trabajo

La ciudad viva requiere incorporar en su modelo una naturación, al igual que se vienen desarrollando otros sectores como el energético, tráfico y otros.

El modelo de ecosistema urbano debe venir de la fusión de ideas y propuestas compartidas por la universidad, ayuntamiento e instituciones locales, empresas, asociaciones sin ánimo de lucro, etc.

La captura de información básica es esencial para el diseño urbanístico proponiendo innovaciones en infraestructuras, organización y gestión, aspectos tecnológicos, socioeconómicos y medioambientales.

Para ello debemos disponer de laboratorios vivos que recojan los latidos de nuestra sociedad urbana. (Briz et al 2015)

Ejemplo reciente es el Laboratorio de Arquitectura Bioclimática y Agricultura Urbana (LABAU), ubicado en el Campus Moncloa de Madrid, cubierto de una “piel verde” y que dispondrá de una cubierta con invernadero y huerto experimental, y un subsuelo con módulos de agropiscicultura, agroponía y aeroponía. Entre sus objetivos se encuentran obtener información a través de sensores de temperatura, humedad, huella de carbono, aislamiento térmico y acústico, retención de partículas de polvo y metales pesados. Simultáneamente dispone de unos “sensores sociales” al integrar la docencia e investigación con interacción en redes de huertos urbanos, comunidades vecinales, funcionarios de instituciones locales y empresarios.

Otro fenómeno de interés como sociedad viva es la participación ciudadana en lo que se conoce como movimiento de “abajo a arriba” (*botton up*) caso del proyecto de la ciudad de Nueva York “NY Lowline” como complemento del ya desarrollado NY – High Line. La idea surgió de la posibilidad de utilizar espacios subterráneos (cocheras, túneles, galerías) que se encontraban sin función alguna, ubicados en distritos con escasa densidad de espacios verdes. Aquí el objetivo es disponer de espacios naturados subterráneos, a los que se hace llegar la luz solar mediante equipos ópticos adecuados que la captan. La propuesta recibió el apoyo popular con una financiación colaborativa (*crowdfunding*). Posteriormente se han ido agregando instituciones públicas y privadas y el mundo empresarial, y dentro de unos años se espera tener una red de espacios verdes subterráneos.

3. CIUDADES VERDES

La Etología, o ciencia del comportamiento, muestra la innata preferencia de los humanos por las plantas, donde “la vegetación no solo mitiga los cambios climáticos urbanos, sino también la arquitectura. Los espacios verdes no solo aportan salud a nuestro cuerpo, sino que actúan como vitaminas de nuestra alma” (Lötsch B. Op cit.).

La agricultura urbana, cultivada en el km 0, denominada también en inglés “*0 farming*” está tomando una importancia creciente por motivos muy diversos. Tradicionalmente, en muchas ciudades los huertos estaban anexos a las viviendas abasteciendo de alimentos frescos y reduciendo el impacto del transporte con beneficios tanto económicos como medioambientales. Por motivos esencialmente especulativos y la falta de espacio, las actividades agrícolas fueron sustituidas por otras más lucrativas y los espacios verdes se convirtieron en bloques de acero y cemento y, en el mejor de los casos, en parques y jardines con funciones ornamentales y de recreo. El nuevo concepto de “Agricultura en altura” (“*Vertical agriculture*” en inglés) implica aprovechar pa-

ra la naturación las superficie sin utilizar, en fachadas y cubiertas o en interiores, sin ocupar espacio extra alguno en el suelo. Hay una tipología diferente según la agricultura en altura se ubique en uno u otro lugar. Así, en la cubierta e interiores pueden utilizarse invernaderos, que suponen cultivos intensivos, alimentarios u ornamentales, que pueden reciclar agua de lluvia y aguas grises, así como los gases que expulsan las calderas de calefacción. Los efectos medioambientales son evidentes, al reducir el CO₂, el NO₂, partículas de polvo y el calentamiento atmosférico. En las paredes verdes sus funciones son esencialmente medioambientales y ornamentales.

Otro campo de interés es la interacción entre la naturación y la energía en los edificios verdes. Por ello la denominada "Arquitectura verde" debe formar parte del proceso de decisión en los nuevos proyectos urbanos (Pfoser N., 2017). El empleo de superficies sin aprovechar, como es el caso de cubiertas y fachadas, puede convertirse en espacios verdes, lo que aumenta el valor del edificio, creando una sinergia calidad de vida-sostenibilidad que puede generar beneficios a medio plazo en las inversiones realizadas. No obstante, la toma de decisiones, tanto políticas como empresariales, necesita previamente de argumentos sólidos, tanto directos como indirectos de la naturación urbana. En la medida de lo posible hay que cuantificar los impactos en la mejora del clima, calidad del medio ambiente, gestión del agua, e integración social, y otros más directos como el ahorro energético. La Universidad y los Centros de Investigación deben desarrollar programas en esa dirección, para lo que se requiere experimentación en el entorno urbano. Hay que mostrar al vecindario los efectos positivos potenciales, e involucrarlo en la toma de decisiones y posterior mantenimiento. El carácter multifuncional de la naturación, requiere de una coordinación multidisciplinar entre profesiones (arquitectos, ingenieros, botánicos, agrónomos, economistas, sociólogos). Los éxitos y fracasos deben ofrecerse de forma transparente para que los interesados

puedan canalizar sus propuestas con conocimiento de causa. (Briz J, De Felipe 2015)

La mejora de las infraestructuras verdes pasa por complementar lo estético con lo funcional, llamando la atención sobre los efectos positivos en el medio ambiente y ámbitos socioeconómicos. Se estima que el cambio climático está costando más de 1.2 trillones de dólares anuales. Hace varias décadas se empezó a utilizar el término naturación que implica la incorporación de la naturaleza en el entorno urbano. La idea es más amplia que la propia ciudad verde, ya que no solamente se trata de plantas sino también de fauna local. El retorno a la naturaleza es una opción inteligente que se integra dentro de las ciudades vivas y que tiene entre otras dimensiones las siguientes:

- Mejora la calidad del entorno. Las plantas mitigan el efecto "isla de calor", depuran el aire, atemperan el ambiente y son un sumidero de gases nocivos (CO₂NO_x).
- Ayudan a la economía circular de la ciudad reciclando los residuos orgánicos.
- Producen alimentos y plantas ornamentales.
- Los huertos urbanos son un yacimiento de nuevos puestos de trabajo
- Permiten utilizar el reciclado de gases de calefacción y las aguas grises
- Aportan paisaje en zonas de recreo, disminuyendo el estrés de la vida urbana.
- En un futuro, arboles fluorescentes en las calles permitirán una iluminación a bajo coste

4. CIUDADES SALUDABLES

El entorno saludable es el resultado de la naturación urbana, que facilita un aire limpio, con humedad adecuada. Hay un "capital natural", saludable, de la misma forma que existe un capital de vías de comunicación, abasteci-



Caixa Forum. Madrid. Rosa María García Fernández

miento alimentario, energía, para los que existen los presupuestos oportunos.

Además de los efectos generalizables a toda la población urbana, en el caso específico de hospitales y residencias, el impacto favorable en la salud producido por la naturaleza a través de las plantas tiene dos escenarios de análisis, una influencia pasiva donde los pacientes simplemente contemplan las plantas, huertos y jardines, y otra activa donde participan en su mantenimiento y gestión, con ejercicio físico y mental. (Ulrich RS., 2002), y disminuye los costes derivados de un período más corto en la estancia hospitalaria.. Además de los efectos en los pacientes, hay también un impacto positivo en el personal sanitario que les atiende

Una dimensión no valorada adecuadamente, tal vez por su tradición y falta de evaluación, es la actividad física desarrollada en las actividades de la agricultura urbana, tanto alimen-

taria (huertos) como ornamental (jardinería). Además del entretenimiento mental, se ejercitan una serie de músculos con un consumo calorífico. En la actualidad hay una tendencia a estudiar, el denominado “*agrofitness*”, tanto por hospitales y residencias como por instituciones universitarias (Martínez FJ. 2017)

5. CIUDADES SOSTENIBLES

Hay un proceso acelerado de movimientos migratorios del campo a la ciudad. En la actualidad un 60% de la Humanidad es urbana, lo que está creando ciudades inviables. La fuerte dependencia exterior de energía y recursos naturales se une a la acumulación de desperdicios que tienen que ser trasladados al mundo rural.

Desde el punto de vista cultural la urbe se ha mostrado como líder en la incorporación de nuevas ideas y hábitos de vida. En determi-

nados países las ciudades han discriminado a los inmigrantes rurales (paletos) viviendo de espaldas a los hábitos tradicionales que vienen conservándose en el mundo rural.

Hoy día la situación está cambiando con las nuevas TIC y los flujos de intercambio cada vez son mayores, constituyendo lo que se llama el mundo rurbano.

La terminología utilizada para designar la sostenibilidad urbana es a través de la ecología, socioeconomía y la cultura. Determinadas políticas se resumen con frecuencia en la palabra “verde” aunque no exista vegetación alguna. Es por ello que en español el término “naturación” implica incorporar la naturaleza (vegetal o animal) en nuestro entorno. Las certificaciones de calidad a través de los distintos modelos (LEED, DGNB, BREEAM) deben incorporar de forma adecuada los espacios verdes naturados, teniendo una visión realmente verde con impactos positivos en el vecindario. En otro escenario, la vivienda es un bien básico que debe ser asequible a los seres humanos en condiciones adecuadas. Los fuertes movimientos migratorios hacia la ciudad ejercen presión sobre el sector inmobiliario, y las nuevas tecnologías de la construcción han permitido crear bloques de viviendas, verdaderos conglomerados de cemento y acero, sin apenas espacios verdes. En todo caso, para ello se necesita optimizar los recursos disponibles de materiales, energía, agua y suelo que den sostenibilidad al sistema. Instituciones como el Instituto Bauen und Umwelt (Lehmann B. 2017) utilizan como sistema de información el “Life cycle assessments” que aporta datos sobre el impacto medioambiental de los productos. Con más de 1600 referencias de 20 países, el sector de la construcción tiene las bases para un cálculo del ciclo de vida y la certificación de sostenibilidad de los edificios,

La sostenibilidad financiera proviene de la venta de los productos obtenidos, en el mercado local. Hay ejemplos en EEUU, China y Europa, donde los invernaderos en la cubierta, abastecen a supermercados ubicados en la

parte inferior del edificio. La agricultura en fachada tiene en muchos casos efectos demostrativos como ocurre en los colegios, utilizando muchas veces plantas aromáticas y cultivos menores como pequeños frutos o tomatitos. No obstante, la agricultura urbana en general, y de forma especial la de altura se enfrentan a una serie de retos entre los que podemos señalar la aceptación social, en un mundo que ha vivido de espaldas a temas rurales, y desconoce en gran medida sus prácticas y beneficios. Otro aspecto de interés es la sospecha de calidad de los productos alimentarios obtenidos en un mundo urbano contaminado. Ante todo ello la solución pasa por la adecuada formación e información, de forma holística que recoja todas las dimensiones de la cadena de abastecimiento, con los controles de calidad que deben realizarse a los alimentos, vengan de donde sea.

En el caso de la agricultura en altura (*vertical agriculture*), para mejorar la sostenibilidad, la multifuncionalidad de uso de la cubierta se plantea en ocasiones combinando las zonas verdes con placas fotovoltaicas. Para lograr un resultado positivo deben realizarse previamente los estudios adecuados que eviten goteras, sombras sobre las plantas, falta de sujeción de las placas y bajos rendimientos de las mismas. El sustrato debe tener una profundidad y composición adecuada (8-10 cm no es suficiente) para anclar las placas solares. Estas a su vez pueden rotar siguiendo la luz solar y estar lo suficientemente elevadas y separadas para evitar sombras. El efecto enfriamiento de la superficie puede elevar el rendimiento de las placas solares y se plantea la oportunidad de un proyecto combinado verde-fotovoltaico (W Takigawa F. 2017.). La cuestión es el horizonte de análisis, corto, medio o largo plazo y las funciones que se impliquen. En otro escenario de las cubiertas tenemos la gestión del agua de lluvia, mejora medioambiental, aislamiento energético, y el aumento de la biodiversidad. Aunque a corto plazo no resulta fácil conocer la rentabilidad de la inversión, a largo plazo y con una visión holística si resulta atractiva.

6. CIUDADES VIVAS, VERDES, SOSTENIBLES Y SALUDABLES (VVSS) CON EDIFICACIONES NATURADAS

La ciudad viva, verde, saludable y sostenible tiene uno de sus pilares esenciales en los edificios verdes, que están proliferando con el apoyo de las nuevas tecnologías.

La “piel verde” de las edificaciones (cubiertas y fachadas) complementada con interiores, puede jugar un papel importante en la ciudad naturada. Al aspecto ornamental hay que añadir la mejora de la calidad en el entorno.

Cubiertas vegetales, verdes, ecológicas o vivas se utilizan habitualmente como sinónimos aunque cabe hacer algunas matizaciones. Las cubiertas vegetales, utilizan evidentemente plantas en su construcción y pueden tener tres categorías: intensivas, semiintensivas y extensivas. Las intensivas siguen las normas de un jardín tradicional, con árboles, arbustos o herbáceos. Son visitables y tienen un mantenimiento regular. Las características constructivas de profundidad de sustrato y diseño dependen de las plantas utilizadas, destino y uso de la cubierta.

Las extensivas no suelen tener visitas de forma habitual y se ubican en lugares más inaccesibles. Su mantenimiento es menos costoso, incluso mínimo. Las semiintensivas son un término medio entre las anteriores.

De otro lado, la terminología verde tiene una connotación amplia e incluye aquellas tecnologías limpias, como placas solares, aun sin tener vegetales. El término ecológico comprende también las cubiertas vegetales, pero obviando el color verde pues en otras épocas del año pueden ser amarillas o marrones. Asimismo las prácticas de mantenimiento deben seguir las normativas ecológicas. Finalmente, el término “vivo” se refiere a superficies y construcciones que incluyen plantas en contraste a los materiales inertes que suelen emplearse en el proceso constructivo. La integración de

plantas en las paredes y superficies de construcción se denomina a veces “bioingeniería”.

Las cubiertas, conocidas como 5ª fachada de los edificios, son probablemente la parte más olvidada en cuanto aprovechamiento natural, y la menos visible. Su labor se limita a la simple cobertura de la lluvia, frío o calor, y algunos casos como bosques de antenas de TV, tendederos de ropa y excepcionalmente piscinas. Las hay inclinadas o planas y en nuestro caso centraremos la atención en estas últimas por resultar una utilización más asequible. Su empleo como infraestructuras verde es un reto que debe aplicarse dentro de los planes urbanísticos aplicables tanto a las nuevas construcciones como a las ya existentes. Atendiendo a la estructura del edificio, grado de inclinación y superficie disponible, puede plantearse una cubierta verde de cultivo extensivo o una cubierta invernadero para cultivos intensivos.

La utilización de invernaderos en las cubiertas de los edificios tiene efectos múltiples. De una parte actúan como sumidero de gases desprendidos de combustión de gasóleo, gas natural o biomasa, calor generado y reciclado de agua de lluvia y aguas grises. Con ello mejora la calidad del aire, disminuye el nivel de isla de calor y permite una mejor gestión del agua reduciendo el impacto de los aguaceros y elevando el nivel de humedad atmosférico. En segundo lugar se fomenta la producción intensiva de un agricultura en altura, con oferta de flores y productos frescos esencialmente hortícolas.

Respecto al reciclado de gases procedentes de combustión, hay trabajos de interés sobre el dióxido de carbono generado por la combustión de biomasa (Universidad de Almería. Patente P201300422 de 3 Agosto 2015). El enriquecimiento de CO₂ en el invernadero eleva la fotosíntesis y la productividad de los cultivos. Influye también en la transpiración a través de los estomas e incrementando la eficiencia del uso del agua. En este caso de Almería, la caldera funciona condicionada a la demanda del invernadero y los gases generados por la combustión se almacenan en un tanque de

carbón activo que permite la retención del CO₂ mediante adsorción, y el resto de los componentes se libera a la atmósfera.

En el caso de invernaderos en azoteas, el objetivo esencial es la descontaminación de los gases liberados y la absorción de calor, siendo subsidiaria la función de producción, que debe adaptarse al programa de calefacción del edificio, con viviendas y oficinas. Es por ello que debe tenerse presente la funcionalidad del invernadero (Universidad Politécnica de Madrid. Patente de Julián Briz y JM Duran: Patente en España P201330490, e internacional PCT/ES 2014/070242). La composición de los gases de combustión derivados del petróleo difiere de los de biomasa y otros combustibles. De cualquier manera, considerando que la prioridad es la mejora medioambiental de la ciudad, han de reciclarse tanto el CO₂ como el NO_x y las partículas en suspensión. Los trabajos de Almería aportan experiencia sobre reciclado de

dióxido de carbono. En cuanto al óxido de nitrógeno, podemos aprovechar la práctica de reciclado a través de la urea cristalina, que en el mercado del transporte se conoce como "Ad blue" y sirve para descomponerlos en nitrógeno y oxígeno, con posibles aplicaciones en los invernaderos.

Asimismo, el depósito de partículas en suspensión sobre plantas y sustratos actúa como filtros del aire. De hecho los invernaderos en cubierta se utilizan en China, cuando hay tormentas de arena, permitiendo la entrada sistemática a través de las ventanas, de corrientes de aire, que mediante difusores de agua se depositan en las instalaciones planta-sustrato.

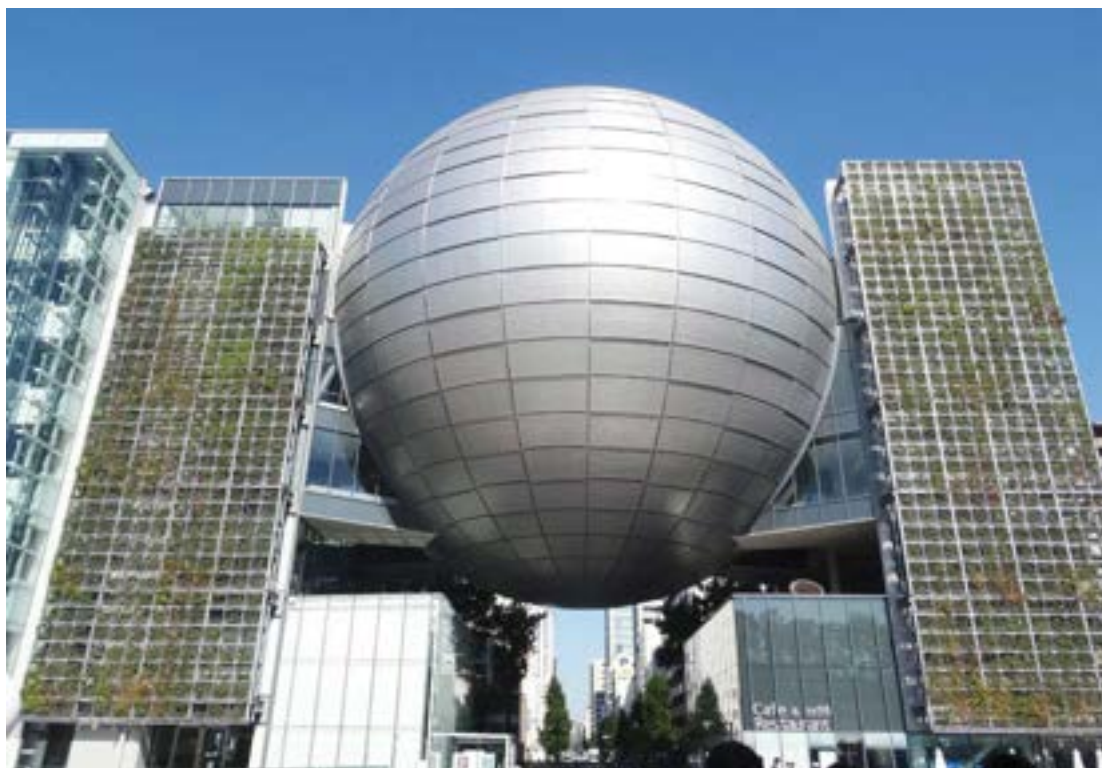
Las cubiertas verdes naturalizadas producen múltiples efectos positivos en el medio ambiente, mejor el microclima en la isla de calor, generan aislamiento térmico y acústico, hay retención de partículas de polvo y captura de



Invernadero hidropónico en azotea. Restaurante Berlín. C. Diebel

CO₂, favorecen la gestión del agua de lluvia. Una de las barreras es que la “quinta fachada” es poco visible desde fuera y habitualmente está infrautilizada, existiendo un potencial para ampliar los espacios de recreo, instalar invernaderos con reciclado de aguas de lluvia y grises, y gases de calefacción. Existe la preocupación por los sobrecostos de la inversión y mantenimiento que pueden producirse en relación a las cubiertas tradicionales. Ciertos trabajos realizados (Feller, S. 2017) muestran que las cubiertas verdes extensivas incrementan los costes del proyecto un 0.17 % y el mantenimiento supone 0.5 € por m² más que las cubiertas tradicionales. Como puede observarse, la cuantía no es significativa si se tienen en cuenta los beneficios derivados y el ahorro en coste energético y mayor duración de la propia cubierta. La combinación de cubiertas extensivas e intensivas parece ofrecer espacio de recreo a la comunidad de vecinos, es también

una opción que puede ofrecer el proyecto. En todo caso, no hay que olvidar que el mantenimiento de un jardín intensivo en la cubierta requiere unos cuidados adicionales a los que se aplican en el suelo, por lo que deben programarse las plantas y tareas adecuadamente. El tema de la biodiversidad es de gran interés en las cubiertas verdes (Gedge D. 2017). En la actualidad el 70% de las cubiertas verdes en Londres son extensivas, impulsando la biodiversidad con apoyo a los pájaros e invertebrados. Su evolución muestra una evolución del sedum (80% en el periodo 2008-2010) a otras especies nativas dentro de la biodiversidad (80% de 2014-16). Aunque de forma tardía, en relación a otras ciudades, en Londres las cubiertas verdes vienen aumentando un 17% anual desde 2008. Ciudades como Singapur están dando un enfoque complementario a las cubiertas verdes, como jardines terapéuticos, así como huertos experimentales donde se



Paredes naturadas en el Museo de Ciencias de Nagoya. I. de Felipe

muestran distintos tipos de cultivos alimentarios con fines educativos. Son los "*Community in Bloom CIB*" y el "*Horticulture Therapy Programs HTP*". En París existen también cubiertas naturadas donde los cultivos hortícolas sirven para fines educativos de colegios, recreo para mayores y rehabilitación de drogadictos. Todos ellos son programados y gestionados por el Ministerio de Sanidad, el Ayuntamiento y la comunidad de vecinos.

La convivencia con la naturaleza mejora la psicología humana, sometida a elevados niveles de stress en la ciudad. Así, la naturación interior en los edificios beneficia a las familias, oficinista y residentes, como lo muestran los resultados ofrecidos por el CIB. En el exterior, las azoteas sirven además de puntos de encuentro y actos sociales comunitarios, donde el propio vecindario colabora en el mantenimiento. (Register, R. 2016)

El programa HTP mejora a su vez el bienestar de los participantes, especialmente los de tercera edad que encuentran un espacio de recreo para realizar ejercicios en la proximidad de la vivienda, como es la azotea. Se han evaluado las ventajas de interacción social, acción mental de reconocimiento de especies vegetales, crecimiento y floración, existiendo cambios en la presión sanguínea. Dado el progresivo envejecimiento de la población en muchos países, estas actividades de recreo y ejercicio están teniendo una demanda creciente por los urbanitas (Berg A, et al 2017)

La edificación verde como instrumento de la ciudad "esponja" es uno de los instrumentos para la lucha de las inundaciones en las ciudades, consecuencia de aguaceros cada vez más frecuentes con el cambio climático. La falta de permeabilidad del suelo y cubiertas de los edificios provoca caudales de agua que no pueden salir por el alcantarillado. Por ello en numerosas ciudades se están llevando a cabo programas que permitan la retención del agua de lluvia a través de infraestructuras verdes. En el caso de China, está el programa "Ciudad Esponja" (Wang Z. 2017) que facilita

la permeabilidad al agua de lluvia, su retención, almacenamiento, purificación y posible utilización, tanto en servicios habituales de la vivienda como irrigación de zonas verdes. Las cubiertas verdes retienen el agua de lluvia que de forma paulatina se almacena en el sustrato y en su caso desborda al alcantarillado. Otra parte se emplea en la evapotranspiración de las plantas. Por ello hay que estudiar las especies adecuadas que puedan soportar tanto épocas de frecuentes lluvias como de periodos de sequia

Las cubiertas verdes actúan como aislante térmico y disipación del calor latente, de forma más eficiente que las tradicionales sin naturación alguna. De una parte actúan como elemento reflectante, con menos absorción de las radiaciones solares y por otra el calor almacenado se disipa en parte mediante la evapotranspiración. El sustrato juega también un papel esencial. Ha de ser poroso en un 50% o más de su volumen, que a su vez le permite retener el agua de lluvia o riego. El agua asciende por capilaridad hasta la superficie y facilita la evapotranspiración y el enfriamiento. Las raíces a su vez pueden profundizar hasta el depósito de agua. Parte del agua que se drena queda en los receptáculos y posteriormente entra en el proceso capilar. Un ejemplo práctico lo supone la denominada losa filtrón de INTEMPER, que aplicó a la terraza aljibe, con un depósito de agua adicional en la cubierta naturada de la ETSI Agronomos de Madrid en 1995. Los cambios en la humedad del suelo desencadenan alteraciones dinámicas en su comportamiento térmico, existiendo un enfriamiento activo tanto para el material de superficie como en el aire ambiental.

El edificio experimental de Agricultura Urbana y Arquitectura Bioclimática, sede de itdUPM, ofrece la posibilidad de investigar sobre las facetas de reciclado de gases y aguas grises y de lluvia aportando datos de interés que permitan profundizar en el logro de una mejora medioambiental de nuestro entorno, con un aire más saludable y actuando de esponja de absorción y reciclado de agua y contami-

nantes. De forma complementaria las paredes están tomando un protagonismo creciente tanto en el interior como en el exterior de los edificios. En nuestro caso haremos solamente referencia al caso del invernadero ubicado en la cubierta, cuyo proyecto describimos.

7. CONCLUSIÓN

El equilibrio global debe orientarse de manera que se concedan igualdad de oportunidades a las generaciones actuales y a las venideras. Una reflexión indígena quechua enfatiza que los recursos naturales existentes no son una herencia de los antepasados, sino un préstamo de los descendientes.

En el fondo del debate está la utilización de recursos naturales por las acciones humanas y consecuente generación de elementos contaminantes que ya han sobrepasado lo que es físicamente aceptable. En las próximas décadas debe haber una significativa reducción en el consumo de energía y recursos naturales, de lo contrario, se producirá un descenso inevitable en las disponibilidades per cápita de dichos recursos.

Sin embargo, hay posibilidades de actuación para evitar ese sombrío futuro: se están revisando las políticas económicas, simultáneamente con un planteamiento de incremento de la eficiencia. Con ello se puede lograr una "sociedad sostenible", tanto económica como técnicamente. Si bien no hay salida a través de una expansión indefinida, hay que ser consciente de que el periodo de transición no será fácil. Hay que organizar reajustes, que hagan compatible los objetivos a corto y a largo plazo. La buena vida en el mundo occidental se concibe según determinadas formas que incorporan la naturaleza y el ambientalismo, con espacios y jardines de esparcimiento (Beruete S. 2016)

Resulta curioso, que la propia supervivencia urbana, nos ha conducido a un fenómeno, donde la naturaleza que fue expulsada de la ciudad como consecuencia de políticas espe-

culativas en la utilización del suelo, creando una sociedad insostenible; en los últimos años, está regresando al mundo urbano aprovechando la innovación en la construcción que permite naturalizar edificios, tanto en fachadas como en cubiertas, en lo que se reconoce como "revolución silenciosa agraria" en el entorno urbano, con especial protagonismo de la agricultura en altura.

BIBLIOGRAFÍA

- Beruete S (2016) "Jardinosofía" Editorial Turner Noema*
- Berg A, Harting T, Staats H (2017) "Preference for nature in urban societies: stress, restoration and the pursuit of sustainability" citado por Pungkotas K en WGIC Berlin*
- Briz, J. e I. De Felipe. (2015). Editores coordinadores "Agricultura Urbana Integral" MAGRAMA, Madrid. 518 páginas.*
- Briz J., Köhler M., e I. De Felipe. (2015). Editores coordinadores "Green cities in the World" 2ª edición. Editorial Agricola, Madrid. 475 páginas*
- Feller, S. 2017 "Cost/ benefit assessment of roof greening in subsidized housing" WGIC Berlin*
- Gedge D 2017 "Delivering Biodiversity and Green Infrastructure in London : a ten year review" WGIC Berlin*
- Guiomar, X. (2015). Agricultures urbaines. Revue POUR*
- Lawson, L. (2016). Agriculture: Sowing the city. Nature. 540 522-524 december*
- Lehmann B. (2017) "Environment information of construction products with EPD" WGIC Berlin*
- Lötsch, B. (2017) "The conflict about beauty-aesthetics between nature and architecture". Biotope City Journal. 2.*
- Martinez FJ. 2017 "Medición del gasto energético en*

- personas jóvenes en horticultura" dirigido por JA Aparicio , TF GRADO. INEF. UPM, sin publicar*
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J; Behrens, W. (1972). "Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la Humanidad" Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1972.
- Pfoser N (2017), "Building greening –energy: potentials and interdependencies" WGIC Berlin.
- Register, R. (2016). "World Rescue". Ecocity builders
- Ulrich RS (2002). "Health benefits of garden in hospitals "Plants for people" International Exhibition Floriade
- Wang Z 2017 "Sponge cities program in China: key technologies for Spongy grassland" WGIC Berlin
- W Takigawa F (2017). "Energy Green roofs and Energy Green Facade: Are they rewarding?" WGIC Berlin
- http://publications.arup.com/publications/c/cities_alive_cards.www.arup.com "Cities alive: 100 issues shaping future cities" http://publications.arup.com/publications/c/cities_alive_cards.



ASTE FEEL

NOISE REDUCTION

SHADE

BIODIVERSITY

*Pared móvil. Berlín.
I. de Felipe*

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS GLOCAL DE NATURACIÓN URBANA: CASO DE AGRICULTURA EN ALTURA

Isabel de Felipe
PRONATUR. itdUPM

Teresa Briz
ETSIAAB. UPM

1. ANTECEDENTES

Tradicionalmente la naturación urbana, como incorporación de la naturaleza en la ciudad, se ha desarrollado a través de impulsos individuales, públicos y privados, respondiendo a intereses específicos, tales como la ornamentación, recreo o abastecimiento alimentario.

La especulación sobre el suelo urbano ha respondido a la optimización de su valor, siguiendo las reglas del mercado, lo que ha llevado a una elevada tasa de edificación. No obstante hemos de tener en cuenta que el mercado actual no incorpora los beneficios derivados de las externalidades positivas de la naturación, como son la mejora del medio ambiente, la calidad del aire y la biodiversidad, entre otras.

Consecuentemente la toma de decisiones por los agentes locales, tanto entidades públicas como privadas, tienen un sesgo que penaliza las zonas verdes. Por ello, hace falta identificar argumentos basados en evaluaciones objetivas

que incorporen todos los elementos que, de forma directa o indirecta, inciden en nuestro entorno urbano. Este capítulo llama la atención sobre este enfoque global, con una actuación más local (estrategia GLOCAL). Se describen aspectos básicos de la naturación urbana, los elementos del análisis GLOCAL y la exposición de un análisis de casos de agricultura urbana en altura en Madrid, a través de una evaluación mixta, técnica y socioeconómica.

2. EVALUACIÓN DE LA NATURACIÓN URBANA

La naturación urbana comprende las modalidades que ofrece la naturaleza en nuestro entorno de la ciudad, siendo algunas de sus características más significativas las siguientes:

- Disponibilidad de espacios verdes: actuales y potenciales.
- Evolución en los últimos años.
- Sistemas de planificación de zonas urbanas.
- Financiación.
- Funcionamiento.

Su evaluación está cobrando especial interés en las últimas décadas, donde el modelo actual no resulta viable. Se necesitan nuevos proyectos que inserten la naturación urbana en la vida cotidiana. El deterioro de la calidad de vida y la excesiva dependencia del mundo exterior obliga a los ciudadanos a un replanteamiento de los planes urbanísticos, con estudios de evaluación de las distintas alternativas disponibles en cuanto al flujo de bienes y servicios, acompañados de bienes tangibles e intangibles, en lo que viene denominándose economía medioambiental. (Nunez P. et al., 2003).

En referencia a la evaluación podemos identificar, entre otros, los siguientes escenarios (URGE 2004):

- Valores medioambientales: calidad del aire, biodiversidad, reciclado de residuos.
- Valores económicos: apreciación del mercado de los edificios y zonas naturadas, aspectos productivos ornamentales y alimentarios, creación de puestos de trabajo.
- Valores sociales: cultura, estética, paisajismo.
- Valores terapéuticos: fisiológicos, mentales.
- Valores estructurales: instrumentales, sinergias, competitividad.
- Valores multidimensionales: científicos, políticos.

Para identificar los valores mencionados se utilizan métodos cuantitativos o cualitativos. Los primeros requieren información cardinal sobre criterios que puedan medirse de forma detallada. En los cualitativos la información es ordinal, a través de categorías clasificatorias que permitan comparaciones.

Asimismo existe la posibilidad de que las diversas dimensiones puedan identificarse o no a través de su valor monetario, es decir, una forma cuantitativa de interés práctico.

A continuación, se proponen una serie de índices para comparar zonas verdes urbanas.

- Proporción de zonas verdes sobre el total (%).

- Proporción de espacios verdes por 1000 habitantes (m^2).
- Tasa de crecimiento de zonas verdes en los últimos años y su correlación con políticas urbanas (%).
- Estructura de la distribución de espacios verdes y su importancia relativa: en un entorno masificado (parques y jardines), en pasillos verdes (árboles en calles, orillas de ríos, pasillos formados por terrazas verdes, vías de tren, cinturones verdes, etc.).
- Existencia de normas urbanísticas sobre espacios verdes: jardinería, agricultura urbana.
- Interés de los planes urbanísticos en las zonas verdes (proporción de superficies, presupuestos)
- Nivel de participación ciudadana en el diseño y mantenimiento de zonas verdes (%).
- Grado de participación institucional pública/ privada en el establecimiento de zonas verdes.
- Apreciación del funcionamiento de las zonas verdes por los ciudadanos que, de forma directa (vecindario) o indirecta (mejora medioambiental), se ven influidos.

Los indicadores mencionados nos permiten tener una valoración global de la situación de una ciudad o barrio dentro del contexto objeto de comparación. Los detalles locales nos permiten identificar el impacto en los beneficiarios primarios directos y su interés específico en las propuestas realizadas. La evaluación trata de conocer si la situación de los espacios verdes actuales es satisfactoria y qué medidas pueden y deben llevarse a cabo para mejorar el entorno.

3. ANÁLISIS DE LA NATURACIÓN URBANA

Los expertos tienen que analizar la situación y buscar metodologías que optimicen los recursos disponibles mediante el uso de tecnologías adecuadas. Para el análisis de la naturación urbana podemos identificar, entre otros, algunos de los métodos más habituales en su aplicación:



Tejado verde. Kioto. I. de Felipe

a) *Método de análisis multicriterio*: Identificar las prioridades en las distintas alternativas a elegir en la toma de decisiones. Permite comparar el funcionamiento de las diversas acciones de naturación urbana en distintas ciudades (T Baycan-Levent T, Nijkamp P., 2009)

b) *El método poli funcional*: Utilizado en el proyecto URGE, ha permitido hacer un seguimiento y valoración de zonas verdes urbanas a lo largo de un quinquenio, mostrando resultados apreciables a través del Sistema Geográfico de Información (SIG), en un largo periodo de preparación y gestión.

c) *Análisis GLOCAL*: Enfoque global y actuación local (Briz J., De Felipe I. 2012) El enfoque GLOCAL consiste en tener una visión global y desarrollar una acción local sobre el tema considerado.

Visión Global: En esta dimensión se deben tener en cuenta:

- La sostenibilidad medioambiental, económica, social.
- La gobernanza.
- La compatibilidad, existencia de normativas. Políticas de apoyo. Barreras técnico administrativas
- La gestión : Pública, privada (con y sin ánimo de lucro)

Actuación Local: Algunos de los aspectos más notorios son:

- Posicionamiento y actuación
- Identificación de los lugares: suelo, altura
- Situación geográfico administrativa
- Actitud de los vecinos afectados
- Impacto
- Evaluación beneficio- coste

4. METODOLOGÍA EVALUADORA DE LA AGRICULTURA URBANA EN ALTURA

Los mercados verdes urbanos incluyen una gama de funciones múltiples de productos y servicios heterogéneos, que son difíciles de evaluar (Baycan-Levent T., Nijkamp, P. 2009). Hay algunos atributos que son comunes a todas las actividades que involucran a la naturaleza y hay otros específicos cuya relevancia depende del uso final, como el cultivo de alimentos, diseño de edificios y ahorro de energía. Otros aspectos de interés general son la humedad del ambiente y el control de la contaminación donde las plantas actúan como filtros (ruido, polvo y metales pesados).

Históricamente, el desarrollo urbanístico contemplado un equilibrio entre zonas construidas y zonas verdes. Las infraestructuras verdes tradicionales (parques, árboles en las calles, jardines) conferían una cierta sostenibilidad a la urbe, que mantenía sus dimensiones humanas. Sin embargo, la fuerte emigración del campo a la ciudad ha roto ese equilibrio y el modelo actual urbano no es sostenible, con problemas de contaminación, fuerte dependencia externa de recursos naturales, generación de desperdicios, hacinamiento demográfico y delincuencia, entre otros aspectos.

Es aquí donde la naturación urbana, incorporando la naturaleza a través de infraestructuras verdes envolventes de edificios, puede jugar un papel importante. No obstante, es necesario mostrar a la sociedad los pros y contras de las actividades a desarrollar y el coste socioeconómico, evaluando en todo caso los proyectos y alternativas que se pueden presentar. Diversas instituciones, organismos y asociaciones están abordando en los últimos tiempos la problemática que se presenta en cada caso.

En el aspecto medioambiental, la mayoría de las políticas municipales contra la contaminación, vienen poniendo el énfasis en reducir las fuentes de emisión (tráfico, calderas de ca-

lefacción) marginando la importancia de las fuentes de inmisión, captadoras de partículas en suspensión, gases contaminantes y calor que elevan el nivel de la isla de calor. Nos referimos al potencial de las infraestructuras verdes tanto las tradicionales como las modernas.

El reto es identificar y cuantificar, en la medida de lo posible, los efectos que se producen. En términos generales el entorno verde ocasiona una sensación de bienestar que no es fácil de evaluar. Son más fáciles de medir las dimensiones sobre parámetros de temperatura, humedad, energía, partículas contaminantes, gases y contaminación acústica.

Tenemos también los efectos de bienestar físico en cuanto a la realización de ejercicio (agrofitness), la disminución de agresividad y delincuencia. La vertebración social es otro aspecto social de interés, así como la mejora de negocios, creación de empleo, nuevas profesiones y aspectos productivos de alimentos y flores.

Los investigadores Pauli y Sheurmann de la institución Arup, han realizado estudios sobre el impacto de las fachadas verdes en la mejora de la calidad del aire, contaminación acústica y la isla de calor (Pauli M., Sheurmann R. 2017). En base a los datos obtenidos en cinco ciudades (Berlín, Hong Kong, Melbourne, Londres y Los Angeles) se considera que las paredes verdes pueden reducir la concentración de partículas en un 10-20 %. Ello está en función de las condiciones meteorológicas, dirección y velocidad del viento, forma y tamaño de las partículas, tipo de planta usada en el enverdecimiento, densidad de las hojas etc.

En cuestión de ruidos, la disminución de las paredes verdes puede llegar a 10 dB. Actúan por absorción de sonidos, evitando la reflexión que ocasionan las paredes de cemento o cristal. Hay ruido de base y ruidos esporádicos (sirenas, motos, automóviles) y su acción de absorción es más eficiente a nivel de calle. En la parte alta de los edificios solamente se amor-

tiguan en general aquellos ruidos procedentes de las alturas como aviones y helicópteros.

En cuanto a la isla de calor (zona de la ciudad con una temperatura superior a los barrios periféricos) las paredes verdes pueden reducir hasta 10°C los picos de temperaturas. Es sabido que la isla de calor ocasiona una “boina térmica” que dificulta las corrientes de aire y la descontaminación, disminuye la probabilidad de lluvia, aumenta los costes de enfriamiento y crea un ambiente no saludable. Los efectos de las fachadas verdes son mayores en aquellas ciudades más compactas con un índice altura/ anchura de calle inferior a 2.

La evaluación debe considerar también dónde se produce el beneficio de la acción. A veces se centra en la satisfacción y beneficio personal del promotor (la producción de alimentos, ahorro de energía), con efecto positivo para los usuarios del proyecto (recreación, empleo). En otros casos hay externalidades positivas para la comunidad urbana relacionadas con el paisaje, control de la contaminación, gestión del agua o una menor huella de carbono. Por ejemplo, la inversión y el mantenimiento de un edificio verde, por parte de sus promotores, puede hacer que los vecinos que viven en los alrededores del mismo vean aumentar el valor de sus de casas, sin sacrificio alguno por su parte.

5. ANÁLISIS TÉCNICO-SOCIOECONÓMICO. CASO DE MADRID, BARCELONA Y SEVILLA

La mayoría de las actividades de investigación se centran en las dimensiones ambientales y técnicas, mientras que los estudios socioeconómicos son marginados o, en el mejor de los casos, son complementarios a los otros trabajos.

La información necesaria para un estudio eficiente y transparente de áreas verdes urbanas puede obtenerse de fuentes secundarias y primarias. Fuentes secundarias son estadísticas y documentos publicados, y cuya revisión es el

primer paso en un procedimiento de análisis y evaluación de mercado. Como complemento, la información primaria se puede obtener de diferentes maneras, por ejemplo, con entrevistas personales directas a las partes interesadas.

Entre las diferentes metodologías para analizar los mercados verdes urbanos hemos elegido la *técnica socioeconómica* (Briz T, De Felipe I., 2017) que tiene dos vertientes, una técnica y otra socioeconómica.

A continuación presentamos un estudio realizado en 2015, en la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid, en el que se analizaron las cubiertas de varios distritos en las ciudades de Madrid, Barcelona y Sevilla. Este estudio transversal se recomienda particularmente para las ciudades con espacios que puedan estar subutilizados y en los que se podrían desarrollar actividades verdes. Sin embargo, hay algunas anotaciones a tener en cuenta:

- Identificación de los espacios geográficos disponibles. En el caso de la agricultura vertical, deben ser áreas infrautilizadas (paredes o terrazas) en las que se puedan instalar huertos o jardines. Con el uso de aplicaciones de la tecnología se pueden medir los espacios disponibles que apoyen las actividades verdes.
- Conocimiento de la actitud de los principales actores socioeconómicos implicados (vecinos, empresarios, legisladores, funcionarios, ONGs, asociaciones, etc.). Entrevistas con los actores principales en el distrito urbano en el que el proyecto puede ser desarrollado.
- Relación coste/beneficio del proyecto verde que se desarrolla. Evaluación de los beneficios que se obtendrían de la creación de las áreas verdes, siendo estos tangibles o intangibles.

De forma práctica, el estudio consta de dos partes diferenciadas. En primer lugar, hay una identificación técnica de los espacios dispo-

nibles (Torres y Arranz, 2015) y en segundo lugar, una búsqueda de información socioeconómica sobre la actitud de los sujetos que viven en la zona.

a) Análisis técnico

Proponemos un “Índice de enverdecimiento (IE)”, que proporciona información sobre la presencia o ausencia de plantas en las azoteas, con el fin de obtener una primera visión de la situación de la azotea verde. La metodología aplicada en este estudio, es pionera en esta área.

En principio se establecieron varias categorías para la densidad verde de las cubiertas o fachadas: muy alta (MA) cuando la superficie cubierta oscila entre el 50 y el 75%, alta (A), media (M), baja (B) si la superficie enverdecida es menor del 25% y (N) si no existe, dando los siguientes valores MA = 6, A = 4, M = 3, B = 1

y N = 0. Estos valores se han asignado después de consultar con varios expertos, pero que pueden ser revisables

Como una primera aproximación se define el “ índice de enverdecimiento ponderado “ (IEP) mediante la adición de las áreas verdes en terrazas y paredes:

$$\text{IEP} = N * \text{IE}$$

Donde:

N = número de manchas verdes (terrazas, paredes) identificado con Google Earth (para cubiertas) y por observación directa (para paredes)

Por ejemplo, si en una cierta calle hay tres cubiertas y paredes de alta densidad (50-75% área verde) (que significa alto enverdecimiento) y dos cubiertas con una densidad



Casa rural. Berlín, Alemania. I. de Felipe

baja (< 25%), que significa bajo enverdecimiento, el índice verde será:

$$\text{IEP} = 3 \text{ MA} + 2 \text{ B} = (3 * 6) + (2 * 1) = 20$$

Una vez establecida esta metodología, y para la primera parte del trabajo fue necesario seleccionar los distritos a ser objeto de estudio. En este caso, se seleccionaron, por conveniencia, un total de siete distritos: tres en Madrid, dos en Barcelona y dos en Sevilla. Había dos razones principales para elegirlos: en primer lugar eran barrios urbanos con límites claros y, en segundo lugar, todos ellos tenían un alto nivel de actividad (casas, oficinas, tiendas, etc.), que permitían entrevistas directas en la segunda fase de la evaluación.

Como parte del estudio de la agricultura vertical se recopiló la información de la vista aérea de Google Earth para los distritos seleccionados, y se midió la intensidad verde.

Se identificó, en cada distrito el número de calles a estudiar y se midieron las áreas verdes en azoteas y patios. Cada terraza y el patio de la calle seleccionada fueron cuidadosamente medidos para ver qué porcentaje estaban cubiertos de vegetación y utilizando el índice indicado fueron clasificados según las categorías indicadas anteriormente, muy alto (MA), alto (A), medio (M), bajo (B) y no existe (N). Con esto, se tuvo una visión de la situación del enverdecimiento en cada calle y el área promedio verde de patios y azoteas.

Como ejemplo nos referiremos al barrio de Salamanca, en Madrid. Allí se midió el verdor de las cubiertas en los edificios en las calles, y se obtuvieron 3 cubiertas con un índice muy alto (MA), 10 alto (A) y en 28 bajo (B). Multiplicando las cubiertas por el índice de disposición a verde para cada tipo el resultado es un índice verde, IEP de $(18 + 40 + 28) = 86$.

Otro ejemplo, si tenemos en cuenta los patios en el distrito de San Martí, en Barcelona, la presencia total de la agricultura urbana en los edificios de las calles estudiadas era la siguiente:

9 muy alta (MA), 14 alta (A), 49 mediana (M) y 193 baja (B). Al multiplicar por los coeficientes $(54 + 56 + 147 + 193)$, esto equivale a un índice de evaluación verde de 450.

El último ejemplo es un caso de Sevilla: los patios del barrio de Nervión. La agricultura urbana tiene la siguiente distribución en los patios de las 30 calles estudiadas: 22 muy alta (MA), 8 alta (A), mediana 10 (M), 180 baja (B), por lo que el índice es igual a 374, es decir $(132 + 32 + 30 + 180)$.

Puesto que el índice sólo se refiere a los edificios y casas, pudiera darse el caso que hubiera parques y zonas de recreación con árboles o jardines en los distritos con un bajo índice. Un menor índice no significa "sin árboles" o áreas "contaminadas". El estudio se refiere sólo a la agricultura urbana en altura

b) Análisis socioeconómico

Para el análisis socioeconómico profundo fue seleccionado el barrio de Salamanca de Madrid, elegido porque es un centro con alto tráfico y actividad comercial. Entre las ciudades europeas, Madrid tiene una de las mayores áreas verdes per cápita (70 m^2), y el barrio de Salamanca tiene 13.000 árboles de calle, pero no hay grandes parques dentro de su perímetro. Dada la densidad de construcción, una de las posibilidades para aumentar las áreas verdes es a través de la agricultura en altura, en fachadas, patios y cubiertas. El distrito se encuentra en el centro de Madrid, con una superficie de 540 hectáreas y un total de 144.000 habitantes según el último censo en el año 2014. La actividad económica se centra en oficinas y tiendas, con un ingreso anual per cápita de más de 30.000 euros en 2017. La zona fue una de las pioneras en planificación urbana, desarrolladas por el Marqués de Salamanca, con una organización de calles en parrilla.

El estudio socioeconómico consistió en entrevistas cara a cara con los residentes de la zona, a fin de conocer sus actitudes hacia la agricultura urbana en su barrio. Después de

una encuesta piloto, se realizó una muestra de conveniencia con un total de 178 entrevistas cara a cara durante abril de 2015. En este caso, se estudiaron las actitudes, inquietudes y deseos de los habitantes de los edificios, con entrevistas personales.

De entre los entrevistados el mayor grupo (60%) correspondía a propietarios o arrendatarios de sus viviendas y oficinas. También había porteros y vigilantes (15%) que tenían buena información sobre la situación. Aproximadamente 60% de las personas entrevistadas tenían una terraza que era posible transformar en un espacio verde.

La mayoría de las terrazas (61%) estaban siendo gestionadas por la comunidad, y sólo el 26% de las terrazas tenía propietarios privados. Algunas personas no sabían quién era la persona responsable de la gestión de su terraza.

La preferencia de uso final de la cubierta o el patio era bastante uniforme: jardín con flores (50%) o la huerta (50%).

Las principales barreras que tenían los entrevistados en la posible cubierta verde eran la falta de conocimiento sobre cómo gestionarla (32%), el costo probable de la nueva actividad (29%) y el exceso de burocracia que tendrían que afrontar si el espacio fuera a transformarse en una huerta o jardín (15%).

En relación con la gestión del nuevo espacio verde, la mayoría de los entrevistados prefería delegar las tareas en un experto (ya fuese público o privado) (30%), y algunos lo harían personalmente o con sus amigos y familiares (25%). De alguna manera, estas respuestas están relacionadas con un bajo nivel de conocimiento de las prácticas agrícolas.

En grandes líneas, puede afirmarse una reacción positiva a la idea de las terrazas verdes. La cantidad máxima que invertirían en la renovación de sus cubiertas, en su "nueva aventura verde", era para el 76% de los en-

cuestados, menos de 3.000 euros, el 18% estaría dispuesto a gastar de 3.001 a 5.000 euros y el 6% más de 5.000 euros.

En resumen, el barrio de Salamanca de Madrid tiene gran potencial para la instalación de azoteas verdes, según la información técnica y socioeconómica. Los alrededor de 475.000 metros cuadrados ofrecen muchas posibilidades para la transformación, ya sea en azoteas verdes regulares o con capital intensivo y elementos de trabajo (invernaderos).

6. CONCLUSIONES

El análisis GLOCAL planteado considera la importancia de relacionar aspectos globales del medio ambiente urbano, con las acciones que de forma específica se pueden llevar a cabo en los diferentes barrios y distritos. La necesaria coordinación, y el hecho de compartir problemas comunes obligan a trabajar conjuntamente a las comunidades de vecinos con los técnicos y funcionarios correspondientes.

Además, de las posibles modalidades de la agricultura urbana, en suelo y altura, hemos centrado nuestra atención en esta última, por lo que las conclusiones en relación a toda la ciudad son parciales, ya que no tienen en cuenta los huertos, parques, jardines y árboles en las calles.

Finalmente, este trabajo se puede considerar como un intento de sistematizar los análisis de naturación urbana en altura, en una fase preliminar, que se debería continuarse con la evaluación de las superficies totales existentes en las zonas a comparar en cada distrito, lo que incluiría las calles correspondientes, número de cubiertas y su superficie. Ello nos permitiría hacer los análisis oportunos, que quedan fuera de lugar en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baycan Levent, T, y Nijkamp, P. (2009). Evaluation of urban green spaces in Miller Patassini "Accounting for non-market values in



Huerto la terraza del Museo del Hombre. París. I. de Felipe.

planning evaluation: alternative methodologies an international practices " Ashgate Publishing

Briz, J. y De Felipe, I. (2012) Las redes de cadenas de valor alimentarias en el siglo XXI: Retos y oportunidades internacionales. Madrid. Editorial Agrícola.

Briz, T., De Felipe, I. (2017). A methodological approach for urban Green areas: a case study in Madrid. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 23(2) 315-

Nunez P., Bergh J., Nijkamp P. (2003) "The ecological economics of biodiversity: methods, values and policy applications " Cheltenham. El Elgar Publishers.

Pauli, M., Schuermann, R. (2017) Arup. Green building envelopes – making the benefits measurable. <https://research.arup.com/projects/green-building-envelopes-making-the-benefits-measurable/>

Torres, Y., Arranz, J.J. (2015). Técnicas de teledetección y análisis especiales aplicadas a la agricultura urbana. En Agricultura Urbana Integral: alimentaria y ornamental, 417-426. Madrid.

URGE 2004 "Development of urban green spaces to improve the quality of life in cities and urban regions "Project in the 5 framework program of the EU. WWW. urge-project.org)



2008 4.25

CAPÍTULO 4

NORMAS DE CALIDAD EN CUBIERTAS VERDES

Elisabeth Contreras Quesada

Vicepresidenta de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CUBIERTAS VERDES

INTRODUCCIÓN

Actualmente, estamos en una época de una profunda transformación económica, política y social; la sociedad actual afronta nuevos retos de futuro, uno de los más importantes mitigar el impacto de la actividad humana sobre el cambio climático.

La calidad del aire, el abastecimiento de agua, la protección del suelo, la biodiversidad y el paisaje natural requieren de protección y conservación por parte de la sociedad y en particular de las administraciones públicas.

Estos recursos naturales son imprescindibles e insustituibles si se quiere mejorar la calidad de vida en las ciudades. La arquitectura urbana no siempre aborda la gestión de estos adecuadamente.

Las estrategias para conseguir la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de resiliencias ante los efectos del cambio climático en las ciudades deberían incluir factores clave tales como:

- La gestión del verde urbano, integrar el verde como infraestructura ecológica básica para ofrecer servicios ambientales y socia-

les, naturalizando la ciudad y creando conectores verdes que mejoren el confort de la ciudad: reducción del efecto isla de calor, biodiversidad, espacios verdes,...

- La permeabilidad del espacio público, hacer más absorbente la ciudad en el momento de chubascos intensos y gestionar los flujos de agua dentro de la ciudad: uso de materiales permeables en la pavimentación del espacio público, diseño de espacios públicos más flexibles, incorporación de drenajes urbanos sostenibles (SUD),...
- La gestión eficiente de los recursos hídricos, la gestión del ciclo del agua para mantener o incrementar el abastecimiento de este recurso y favorecer la reutilización y la reducción del caudal que va a las redes de saneamiento: uso de sistemas de captación de aguas pluviales por el riego de jardines, protección de la calidad ambiental de las zonas naturales de captación y/o almacenamiento de agua, redacción de plan de usos del agua, gestión de las lluvias torrenciales o dimensionado de las infraestructuras,...
- La promoción de los edificios verdes, con el objetivo de naturalizar los edificios: promo-

ción de azoteas verdes, ajardinamientos verticales y/o instalación de sistemas de drenaje para reutilizar las aguas pluviales en el riego de jardines, cisternas de wáter,...

- La mejora de la calidad del aire, rediseñando la ciudad. Dotando de nuevos usos a espacios infrautilizados y creando nuevos espacios de oportunidad que aporten calidad ambiental y favorezcan la integración de la diversidad y la cohesión social.

EL PAPEL DE LAS CUBIERTAS VERDES EN EL PLANEAMIENTO

Las cubiertas verdes producen efectos compensatorios sobre los daños producidos en el ciclo natural de agua, el suelo, el aire, el clima, la flora y la fauna.

Nos aportan espacios naturalizados que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos y ayudan a regular el clima y crear espacios adicionales de uso, a la vez que reducen la demanda energética de los edificios gracias al aislamiento térmico que proporcionan.

Debido a los beneficios que aportan las cubiertas verdes, el papel que pueden jugar las cubiertas ajardinadas en el sistema de espacios verdes de nuestras ciudades es básico, y como tal, debe ser valorado, planificado y gestionado.

Los “*Green roofs*” o “*Sky gardens*” cómo se los denomina en inglés, son parte de los paisajes urbanos de muchas ciudades europeas; alemanes, suizos, británicos o suecos han sido los pioneros en la utilización de esta técnica de construcción de auténticos jardines en cubiertas exteriores. En muchos países, los “*Green roofs*” forman parte de la planificación urbanística. Las diferentes administraciones los regulan mediante normativas y ordenanzas, y ofrecen incentivos y ayudas para su construcción.

En la actualidad, en España, empiezan a haber iniciativas por parte de diferentes ayuntamientos que incorporan incentivos, medidas

de gobierno municipales y planes de desarrollo medioambientales, con el objetivo de promocionar la instalación de las cubiertas verdes. Los dos ejemplos más significativos se encuentran en las ciudades de Madrid, con el Plan de Madrid Más Natural y en Barcelona con el Plan del Verde y la Biodiversidad y la medida de gobierno municipal de los Terrados Vivos y las Cubiertas Ajardinadas.

Hasta el momento, sin embargo, no existen ni ordenanzas municipales, ni leyes, ni decretos que regulen su implantación a nivel urbanístico y de territorio.

CONSTRUCCIÓN DE CALIDAD DE LAS CUBIERTAS VERDES

Dentro del ámbito de la edificación, no existen normativas de obligatorio cumplimiento que regulen el diseño, la construcción, el mantenimiento y la conservación de las cubiertas ajardinadas.

Este hecho provoca que, a menudo, nos encontremos con cubiertas ajardinadas que no cumplen con los estándares de calidad de las normativas internacionales existentes, pudiendo provocar la proliferación de construcciones incorrectas y deficientes que desvirtúan y descartan el uso de esta solución constructiva como alternativa ecológica y de responsabilidad social.

El **Código Técnico de la Edificación (CTE)** es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde 2006. Es el código de edificación en vigor en el país. En él se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, definidos por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). En el CTE no aparece ningún capítulo específico que regule la construcción de las cubiertas ajardinadas, sin embargo existen unos requisitos mínimos que regulan la construcción de las cubiertas en general. Estos requisitos mínimos de calidad constructiva se encuentran en los siguientes capítulos:

CTE-DB-SE-AE Acciones en la edificación.
Ver apartado 6.5 Estática y construcción

CTE-DB-HS-1 Protección frente a la humedad

CTE-DB-HR Protección frente al ruido

CTE-DB-SI Seguridad en caso de incendio

CTE-DB-HE Ahorro de energía

El CTE debería regular el diseño, la construcción, el mantenimiento de las diferentes tipologías de cubiertas ajardinadas. Incluyendo aspectos tales como:

La clasificación de las cubiertas verdes

Las cubiertas verdes se pueden clasificar de diferentes maneras atendiendo al uso o finalidad de la cubierta, a la manera en que han sido construidas, y a la pendiente que tienen las cubiertas.

Clasificación en función de los usos, de la vegetación y de los requisitos de mantenimientos:

- a. Cubierta verde extensiva
- b. Cubierta verde semiintensiva
- c. Cubierta verde intensiva
- d. Cubierta naturalizada
- e. Cubierta verde aljibe

Clasificación en función del sistemas de construcción de las áreas de vegetación:

- a. Sistema de construcción multicapa
- b. Sistema de construcción monocapa
- c. Sistema de construcción modular

Clasificación en función de la pendiente de la cubierta:

- a. Cubierta con pendiente ≤ 1
- b. Cubierta con pendiente entre 1 y 10°
- c. Cubierta con pendiente $\geq 10^\circ$
- d. Cubierta con pendiente $\geq 15^\circ$
- e. Cubierta con pendiente $\geq 20^\circ$



Espacio verde. ASESUVE

Parámetros previos a tener en cuenta para el diseño de las cubiertas verdes

Antes de empezar el proceso de diseño y la posterior instalación de una cubierta verde se debería recopilar la información del entorno/ edificio con el fin ofrecer la mejor solución constructiva y garantizar el éxito de cada proyecto.

- Informaciones dentro del ámbito de la arquitectura:
 - + Planos de planta de la cubierta con indicación de:
 - Juntas estructurales.
 - Puntos de anclaje.
 - Puntos de desagüe.
 - Puntos de conexión de servicio y líneas fijas de suministro de agua para riego.
 - Situación de los elementos singulares de la cubierta.
 - Superficies vegetales protegidas de la lluvia por elementos constructivos.
 - Protección del viento.
 - Pendiente de la cubierta.
 - Resistencia de la estructura.
 - Línea de vida.
 - Zonas de sombras
 - + Acceso a la cubierta.
 - + Situación de los elementos estructurales de la planta inmediatamente inferior a la cubierta.
 - + Altura, dimensiones y máxima carga admisible de la cubierta.
- Informaciones dentro del ámbito de la botánica:
 - + Características botánicas de la especie (tipo de reproducción, hábito de crecimiento, tipo de sistema radical, etc.).
 - + Características ecofisiológicas de la especie (tolerancia a la sequía; tolerancia al embalse, tolerancia a las condiciones edáficas de salinidad, de presencia de cal, de acidez, velocidad de crecimiento, temperaturas extremas, etc.).

- + Facilidad de colonización.
- + Combustibilidad e inflamabilidad.

- Informaciones dentro del ámbito de la climatología:
 - + Clima.
 - + Microclima del lugar
 - + Pluviometría máxima en un periodo de regreso de 10 años.
- Informaciones dentro del ámbito de las instalaciones
 - + Abasto de agua de riego.
 - + Otras instalaciones que discurren por la cubierta.
- Informaciones dentro del ámbito de los usos:
 - o Grado de uso (limitado al uso del servicio de mantenimiento, uso privado, uso público).
 - + Acceso para peatones y/o vehículos.
 - + Acceso para personas con limitaciones o movilidad reducida.
- Informaciones dentro del ámbito geográfico:
 - + Coordenadas geográficas del emplazamiento de la edificación.
 - + Situación topográfica.
- Informaciones dentro del ámbito medioambientales:
 - + Contaminación urbana.
 - + Emisiones de gases contaminantes.

Requisitos y estándares de calidad de los materiales, puesta en obra y mantenimiento de los diferentes elementos que conforman una cubierta verde

Para cada tipología de cubierta verde se debería regular los requisitos y estándares mínimos de calidad de los diferentes elementos que conforma las cubiertas ajardinadas:

- Capa de protección de la impermeabilización
- Capa de drenaje de la cubierta verde
- Capa filtrante de la cubierta verde
- Sustrato técnicos para cubiertas verdes
- La vegetación
- La evacuación de aguas en la cubierta verde
- Pavimentos y paramentos en la cubierta verde
- Caminos de circulación
- Protección contra incendios
- Protección frente a las acciones del viento
- Sistemas de riego eficientes para cubiertas verdes
- Prevención de Riesgos Laborales

4. Requerimientos cualitativos mínimos que han de cumplir las cubiertas verdes

Dependiendo de la zona climática o los objetivos medioambientales de cada municipalidad, debería haber unos requerimientos mínimos de calidad. Un ejemplo para zonas de clima mediterráneo sería el siguiente:

Requerimientos técnicos a cumplir por las cubiertas verdes

Parámetros	Requerimiento mínimo
Retención de agua (l/m ²)	≥ 50 l/m ²
Espesor mínimo de sustrato	10 cm
Capacidad drenante de la cubierta	Precipitación máx. del lugar 1 h periodo de retorno de 100 años
Protección frente a vientos	
<i>Carga mínima de los sistemas de cubierta en seco en los perímetros de la cubierta</i>	≥100 kg/m ²
<i>Carga mínima de los sistemas de cubierta en seco en el interior de la cubierta</i>	≥50 kg/m ²
Accesibilidad	Obligatoria
Seguridad frente a incendios	Según legislación
Seguridad/línea de vida en los mantenimientos	Siempre y cuando no halla petos/barandas
Mantenimiento y conservación	Contrato mínimo de 3 años.

Las normativas internacionales más reconocidas y de referencia en materia de cubiertas ajardinadas son la FLL (*Forschungsgesellschaft Landsentwicklung Landschaftsbau e.V.*), alemana y ASTM (*American Society for Testing and Materials*). En ellas se definen los estándares de calidad para el diseño, la construcción y el mantenimiento de las cubiertas verdes.

En España la Fundación de Jardinería y Paisaje ha elaborado un documento muy exhaustivo, basado en estas normativas internacionales, que es la NTJ 11C CUBIERTAS VERDES, 2012.

UTILIZACIÓN DE MATERIALES ESPECÍFICOS PARA CUBIERTAS AJARDINADAS

En el momento de construir una cubierta verde, es muy importante utilizar materiales específicos para esta finalidad.

Materiales que hayan sido diseñados y testados para cumplir las diferentes funciones de los sistemas de cubiertas ajardinadas. Por ejemplo, NO es recomendable utilizar placas de drenaje vertical de muros para construir cubiertas verdes, en vez de utilizar láminas



Pared verde. ASESUCVE

de drenaje específicas para éstas. Las placas de drenaje de cubiertas ajardinadas tienen características concretas que favorecen el desarrollo de la vegetación y aseguran la correcta evacuación del agua: la resistencia a la compresión, cavidades para el intercambio de aire, capacidad drenante en horizontal, capacidad de almacenamiento de agua, etc...; que no tienen las placas de drenaje de muros.

Para garantizar y certificar que un producto cumple los parámetros de calidad y eficiencia esperados para su función, es necesario que exista una norma o certificado que lo reconozca.

Una norma es un documento técnico de aplicación voluntaria, fruto del consenso, basado en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de normalización reconocido.

Las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empre-

sa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica.

Las normas son documentos de aplicación voluntaria y únicamente pueden convertirse en legalmente obligatorias si se legisla conforme a ellas o se las refiere como obligatorias en disposiciones legales vigentes.

A continuación se exponen las normas UNE más relevantes a la hora de elegir materiales para la construcción con las cubiertas ajardinadas:

- **UNE-EN 1990:2003 Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.**
- **UNE-EN 1990:2003/A1:2010 Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.**
- **UNE-EN 1991-1-1:2003 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, sobrecargas de uso en edificios.**
- **UNE-EN 1991-1-3:2004 Eurocódigo 1: Ac-**

ciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve.

- **UNE-EN 1991-1-4:2005 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios.**

- **UNE-EN 12056-3:2001 Sistemas de desagüe por gravedad en el interior de edificios. Parte 3: Desagüe de aguas pluviales de cubiertas, diseño y cálculo.**

- **UNE-EN 12225:2001 Geotextiles y productos relacionados. Método para determinar la resistencia microbiológica mediante un ensayo de enterramiento en el suelo.**

- **UNE-EN 13037:2001 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del pH.**

- **UNE-EN 13038:2001 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la conductividad eléctrica.**

- **UNE-EN 13039:2001 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del contenido en materia orgánica y de las cenizas.**

- **UNE-EN 13707:2005 + A2:2010 Láminas flexibles para la impermeabilización. Láminas bituminosas con armadura para impermeabilización de cubiertas. Definiciones y características.**

- **UNE-EN 13948:2008 Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a la penetración de raíces.**

- **UNE-EN 13956:2006 Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas plásticas y de caucho para impermeabilización de cubiertas. Definiciones y características.**

- **UNE-EN ISO 846:1998 Plásticos. Evaluación de la acción de microorganismos.**

- **UNE 104416:2009 Materiales sintéticos. Sistemas de impermeabilización de cubiertas realizados con membranas impermeabilizantes formadas con láminas sintéticas flexibles. Instrucciones, control, utilización y mantenimiento.**

En la actualidad NO disponemos de normas UNE que garanticen y certifiquen los diferentes elementos que componen los diversos sistemas de cubiertas verdes (láminas de drenaje, filtros, sustratos técnicos,...); pero sí que existen diferentes materiales que cumplen con certificaciones europeas, la ETE y/o la CE.

La Evaluación Técnica Europea-ETE es el documento europeo que recoge la evaluación técnica de las prestaciones de un producto o kit de un fabricante en relación con las características esenciales aplicables para el uso previsto por el fabricante. El ETE se elabora de acuerdo con el Documento de Evaluación Europeo-DEE, que cubre el producto y usos previstos.

La ETE y el consiguiente marcado CE facilitan la comercialización de los productos y sistemas no normados e innovadores en los mercados europeos y extra europeos (en este segundo caso sin carácter reglamentario pero con una buena acogida técnica y comercial).

Las cubiertas verdes y la certificación LEED v4, 2009

LEED (acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council). Fue inicialmente implantado en el año 1993, utilizándose en varios países desde entonces.

Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales.

La certificación, de uso voluntario, tiene como objetivo avanzar en la utilización de estra-

Sistema puntuación sistemas de techos verdes LEED 2009

Crterios impacto LEED	Puntuación
Sitios sustentables (SS)	
Crédito 5.1: Proteger y restaurar hábitat	2
Crédito 5.2: Maximizar el espacio abierto para la cohesión social	1
Crédito 6.1: Diseño de aguas pluviales - Control cuantitativo (retención de aguas pluviales)	1
Crédito 6.2: Diseño de aguas pluviales - Control cualitativo (retención, limpieza de la polución atmosférica).	1
Crédito 7.2: Efecto isla de calor debido a la vegetación	1
Eficiencia del ciclo del agua (WE)	
Crédito 1: Jardinería eficiente, reducción del consumo de agua	2-4
Energía i atmosfera (EA)	
Crédito 1: Actuaciones para optimizar el rendimiento energético.	1
Materiales y recursos (MR)	
Crédito 4: Materiales reciclados (componentes de la cubierta).	1-2
Crédito 5: Materiales locales/regionales	1-2
Crédito 6: Materiales rápidamente renovables	1
Criterios impacte secundarios	
Eficiencia cycle del agua (WE)	
Crédito 2: Tecnologías innovadores per el tratamientos de les aguas residuales	2
Crédito: Reducción en el consumo de agua	2-4
Innovación i diseño (IN)	
Crédito 1: Innovación y diseño.	1-5

tegias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción.

Con la implantación de cubiertas verdes se pueden conseguir X puntos dentro de los créditos de la certificación LEED.

Cómo introducir las cubiertas verdes dentro de los programas de certificación energética LIDER y CALENER

El LIDER es un programa informático para demostrar el cumplimiento del apartado 1 de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (HE-1 del CTE), sobre la limitación de la demanda energética.

Es posible simular una cubierta ajardinada dentro del programa LIDER.

En principio, a nivel de transmitancia térmica (U), la cubierta ajardinada se tiene en cuen-

ta en el LIDER y el CALENER, puesto que se pueden introducir capa en capa los materiales que la componen: grava, arena, etc.. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todos los fenómenos que se dan en una cubierta ajardinada se calculan adecuadamente, como, por ejemplo, su inercia térmica.

No conocemos ningún documento o estudio que demuestre la incidencia de una cubierta ajardinada sobre el cálculo del valor O. Pero se puede definir un «material ficticio» con las características térmicas (conductividad) de estas cubiertas, debidamente justificadas. Esta justificación se adjuntará en el informe pdf de LIDER y el organismo competente será el encargado de darle o denegarle validez.

También existe un documento oficial de soluciones constructivas que se puede consultar en el sitio web oficial del CTE (www.codigo-tecnico.org), que puede ser de ayuda en general.

CHAPTER 5

THE DEVELOPMENT OF RESILIENT URBAN FOOD SYSTEMS IN THE CONTEXT OF URBAN AGRICULTURE, WATER-ENERGY-FOOD NEXUS AND VERTICAL FARMING

Ingela Wickman Bois

Management Consultant, Sustainability Strategy and Circular Economy Business Models
MBA Business Economics, Postgraduate master Circular Economy

Sepehr Mousavi

Sustainability Strategist. Plantagon

- What are the transitional drivers for urban agriculture (UA)?
- Could the innovative concept of Vertical Farming contribute to urban food sovereignty in a 'cross-breeding' with the emerging Water-Energy-Food Nexus approach?

INTRODUCTION

How can we refurbish cities and, create city symbiosis based on Urban Metabolism (Fernandez. 2015) and the concepts of Biomimicry and Cradle2Cradle? Is it possible to close the loop, and move towards food sufficiency for cities in order to build long term resilience?

Despite urbanized areas covering only 2% (Wiskerke2015) of the earth's surface, they have a huge ecological footprint and are responsible

of 70% of carbon emissions (WRI2012). The rapid urbanisation and the linked consumption patterns of urban citizens are therefore putting increasing pressure on the Earth's ecosystem, in which food plays a main role (Rockström et al 2009; Wiskerke2015).

As a result, there is now a growing interest in cities that are regenerative and a wish to rethink flows in order to design and operate urban systems according to the principles of the circular economy (EMF2017). This involves specifically rethinking the systems for food supply and cultivation within city boundaries, so called Urban Agriculture.

Two emerging concepts - Water-Energy-Food (WEF) Nexus, and Resource-Integrated-Controlled- Vertical-Farming (CEA) - could be two joint forces driving structural change of Urban Agriculture (UA), and co-contribute to food security and resilient urban food systems.

BACKGROUND - CONDITIONS AND CONSEQUENCES OF AGRICULTURE

The **global population** will reach 9.7 billion by 2050 of which 70% is predicted to live in cities, (UN 2014: 2010) which will increase the agricultural demand for food by 70%, energy by 40% and creates a water supply shortage of ~ 40% by 2030 (Adnan2013;UN 2013).

This development, in combination with issues in agriculture production, has led to major concerns as to the possibility of meeting these future needs, along with anxiety about the environmental, resource and social effects of rising greenhouse gas emissions and climate change (Kozai2016).

Growing, processing, and transporting food all produce emissions, and food waste is a particularly significant emissions source. The food value chain also impacts biodiversity, water quality and availability, and pollution, among other environmental attributes.

The **strategic resources for agricultural** production and their consequences are described below, and demonstrated in Appendix 1 representing risks from agriculture, and the imbalances between ecological consumption, (ecological footprint) and availability (bio-capacity);

- **Water.** Agriculture alone uses 70% of global fresh water resources (Despommier2011) predicted to rise with by another 75% for agriculture (Wiskerke2015, p.11).
- **Arable land.** 80 % of arable land for food production is already in use today and the future need, would be 'the area of another Brazil' (Despommier2011). The scarcity of land is exacerbated by the competition for land between production of food, livestock and biofuels.
- **Energy.** Agriculture's dependence on fossil fuels creates high volatility in availability

and price levels and is one of the largest emitters of CO₂ (Wiskerke2015).

- **Climate change.** Scientists claim that every one degree increase in atmospheric temperature, will cause 10% of arable land to be lost. (Despommier2011, p.233)

Globalization has also played a major role, building prosperity by enabling transportation of food products over large distances, however causing an unhealthy dependence on trade and complex supply chains (Morley et al2014, p.34). This has locally resulted in decreased crop diversity and large-scale monocultures (FAO2011), following the logic of comparative advantages, however devitalizing resilience of local/national food systems, and **at the overall expense of the environment** (FAO2011).

The major negative impacts from the food production in the last century include global loss of arable land, reduced biodiversity and soil fertility (e.g. phosphorus), resource constraints in water, and toxic contamination (Despommier,2010; Kozai2016). Agriculture is moreover powered by fossil fuel, largely contributing to climate change.

Improvements in technology in the traditional farming sector are alleviating many of these issues but are unable to solve them all (Iotuk2016). The aggregated effects will intensify the need to secure food production in above all, in expanding urban areas (Godfray et al2010).

The development highlights the need for a mainstreaming of the concept of Urban Agriculture.

GLOBAL ISSUES OF CONVENTIONAL AGRICULTURE SETTING THE SCENE FOR UA TRANSITION

UA is currently developing from rather small-scale, unorganized initiatives, into large-scale

vertical plant factories and symbiotic systems. This offers great potential for productivity, sustainability and along with that structural change.

From a landscape perspective and a possible structural transition, UA could be regarded as an innovative niche challenging the current incumbent regime (Smith et al 2005) which, despite technological innovation, is stuck in its current mode, described above.

There is in addition a rising concern stemming from the lack of control of origins, decreasing quality and food security in general with current global trade systems, shaping a growing consumer counter-movement, pushing for a transition towards other (local) ways to produce food (Smith et al, 2005).

Pearson (Pearson et al, 2010) describes UA at micro level as a backyard, at meso level as a rooftop/public garden and at macro level a large-scale UA e.g. a Vertical Farm.

He summarizes the three trends, spotting transition versus scaling of UA;

- structural changes based on population and security issues
- increasing awareness of complex and unsustainable supply chains
- need for new innovative ways to use resources and cultivation methods

URBAN AGRICULTURE AND THE WATER-ENERGY-FOOD NEXUS APPROACH

The described risks and consequences (Appendix 2) connected to agriculture and resource scarcity demonstrate the need to incorporate the complex relationships, using system thinking and interconnectedness of water, energy and food in the urban context, illustrated in Figure 1. (Adnan 2013; Bizikova et al, 2013).

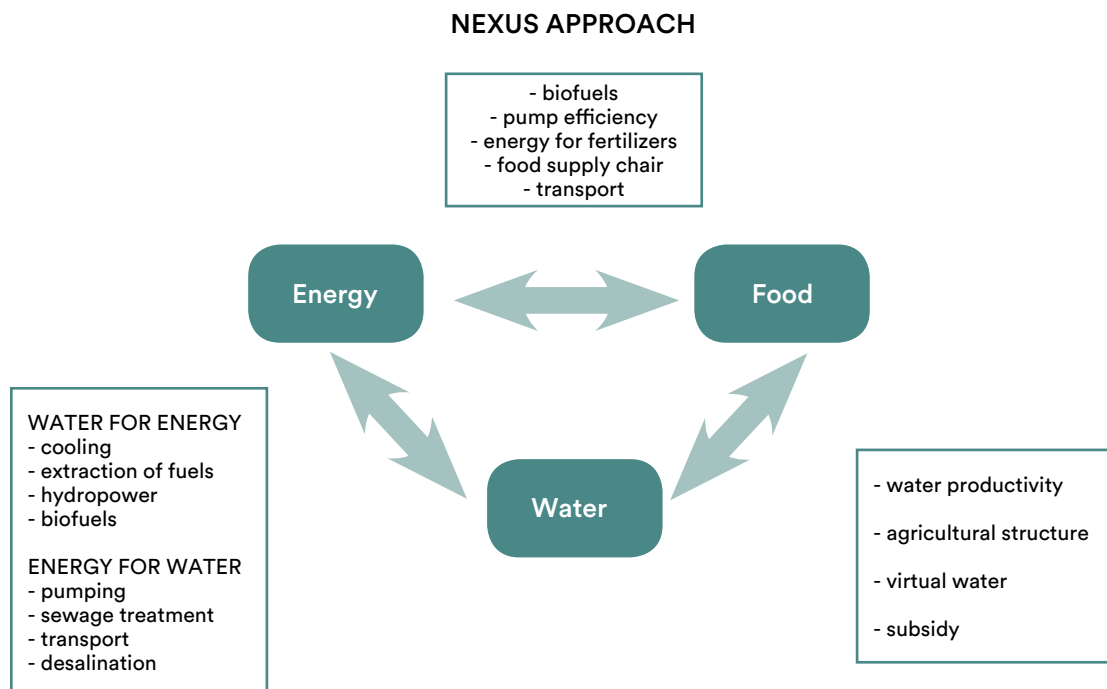


Figure 1

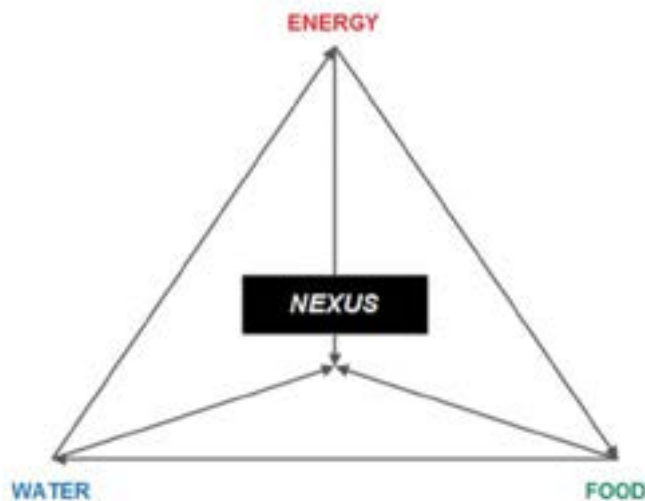


Figure 2. Recognize the consequences of one sector on another to achieve efficiency using system thinking. Adnan 2013

.....unsustainable pressures on 3 strategic resources.

The emerging concept of WEF, which is gaining increasing attention, applies to this integrated way of thinking and aims to create synergies through design (FAO2014; Hoff2011) but also as a governance, policy and innovation tool (Bizikova, et al., 2013; Adnan, 2013) (Appendix 3).

According to Adnan (2013, p.6), the WEF nexus approach has three main benefits;

- improves energy, water, and food security
- creates trade-offs and synergies between systems
- supports transition towards sustainability

The nexus acknowledges the scarcity of resources and possible synergies, relating to some of the circular economy concepts. By integrating more resource flows, such as food waste, CO₂, O₂ and heating, the concept is broadened to meet the criteria of closed loop system thinking (Plantagon2016).

Wiskerke (2015p.15-18) touches upon this in his definition of a sustainable urban food system as “to connect different urban flows,

allowing resources in waste to be recovered for flows creating value” and thirdly to create “spatial synergies”.

URBAN AGRICULTURE AND THE NEW METHODS OF VERTICAL FARMING

Transitional change can only be triggered by an UA system that is able to compete with conventional food structures - a form of UA that is able to produce food on a larger-scale and has a closed-loop approach when it comes to its use of resources (Plantagon2016; Wiskerke2015).

A concept meeting these requirements is the modern, resource-integrated-controlled-VF-system (CEA Controlled-Environment-Agriculture), a technically optimized method of cultivation within multi-storey buildings in which plants are grown soil-free under LED lighting. All the elements needed for plant growth are artificially controlled, which removes detrimental influences such as pesticides and poor weather conditions. Robot control achieves maximum crop-yield with a minimum of water, and makes the crop safer

by eliminating herbicides. (Kozai2016). A CEA can be built in any climate zone, and in places not suitable for agriculture, e.g. megacities, producing all-year-around crops, with a productivity of around 100 times that of field and 10 times that of greenhouse production (Kozai2016).

Ongoing research by Plantagon International presents the latest in including CO₂ and O₂ in an exchanging environment by involving cultivation and human activities (offices) in the same building. The concept would run on renewable energy – solar in combination with geothermal – potentially eliminating the financial challenge of the concept of CEAs.

To sum up, today’s advanced CEA methods are contributing to urban food security by growing more food on less land (Despommier. 2010), benefitting the conventional agricultural through less use of water, freeing up of arable land and reducing the use of fossil fuels (Despommier2011; Kozai2016)

Barriers and criticism

According to Plantagon (Plantagon2016), the major doubts regarding CEAs, and their solutions are;

- **lack of interest amongst venture capitalists**, due to high initial capital cost, and a low ROI short term. With increasing resource scarcity impacting global food prices, and growing consumer demand, the calculations will change in favour of VF.
- **limited diversity of crops grown**. Next step towards completion of CEA concept includes fish and poultry, enhancing diversity.
- **high energy consumption** from LED lighting. Low cost innovative LED technology in the pipeline. Mainstreaming of renewable energy (solar and geothermal).

Plantagon argues, that the critical analysis as a whole must be seen from a systemic

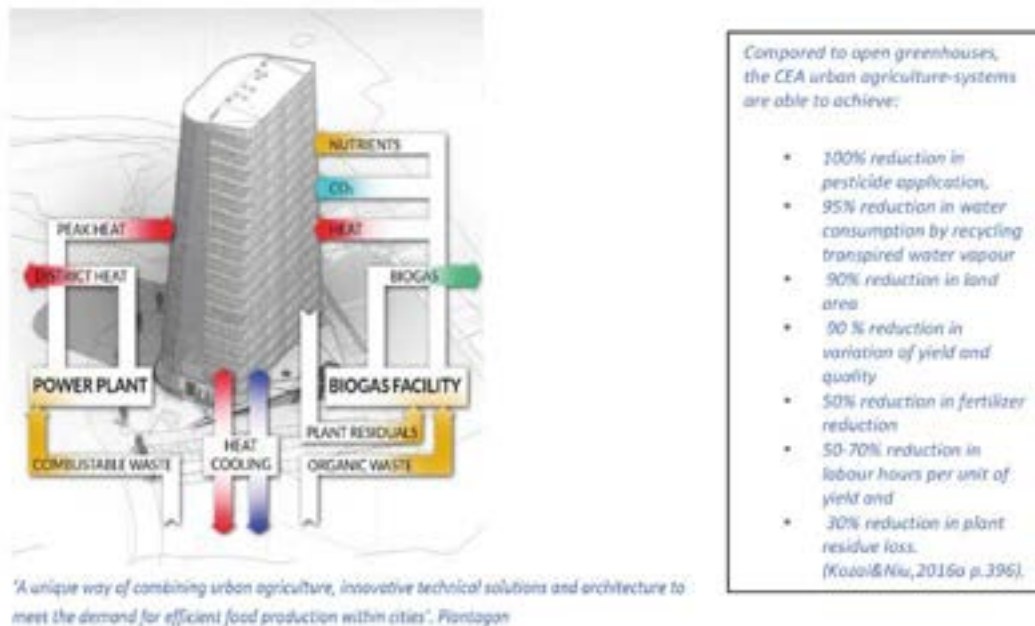


Figure 3. A unique way of combining urban agriculture, innovative technical solutions and architecture to meet the demand for efficient food production within cities. Plantagon

perspective with considerations of possible resource efficiencies and reductions compared to conventional agriculture, the ecological footprint and global scarcity issues overall. The benefits of VF should be measured against these contributions, and through the lens of the WEF nexus opportunities for symbiosis in the urban flows (Plantagon2016).

ANALYSIS: URBAN AGRICULTURE, WEF NEXUS AND VERTICAL FARMING – A TRANSITIONAL COMBINATION?

As stated, UA has the potential to decrease the environmental footprint from food supply globally by bringing food production closer to the urban consumer, while creating city resource synergies between water, energy and food (Despommier2011; Wiskerke2015).

The design and purpose of the UA system however plays a large role in its ability to trigger transitional change for more sustainable modes of food production (Plantagon,2016).

If it succeeds to merge the requirements for design and purpose of the future UA, fitted into the urban context in which it is placed, e.g. climate, with the requirements for symbiotic synergies of the WEF nexus – it could well coincide with the narrative of the advanced vertical farm concept of CEA (Plantagon2016), as a part-solution for future urban farming.

Such a structural change to the food system would add the benefit of re-invigorating the local production, increasing urban resilience, leading to cities being less dependent on global trade (Kozai2016).

However, the emerging WEF nexus still lacks sufficient insights into the methods and institutional implications, as well as framework and guidelines, which hampers a full validation of the transition potential of the merged concepts. (Adnan2013p.6; IISD2016),

Nevertheless, with the calculations of both CEA at hand together with the promising outline of the WEF nexus, it does hold the potential to change conventional urban food structures to a certain extent, by adding a far more sustainable alternative to open land farming and greenhouses.

For a major breakthrough, however, this form of UA has to be designed for commercial large-scale production to gain financial investment and consumer attention, addressing the barriers stated above. (Plantagon2016)

CONCLUSION

Extending the scope of WEF to cover the controlled-resource-integrated-closed-loop principles of growing food in cities, could create windows of opportunity for a breakthrough of up-scalable urban farming concepts, attractive to investors and consumers.

This development means that the overall conditions for urban food systems, such as infrastructure and policies, are collectively addressed in a systemic way, and meet the circular principles for urban flows:

- waste equals food
- building resilience through diversity
- use of renewables (solar or geothermal)
- solutions created through system thinking.

The obstacles to this development are created by a variety of conditions - the infrastructures and interlinks in water, energy, food and supply chains - and the complexity and interdependency of these conditions – all exhibiting a huge challenge in creating sustainable urban food systems.

However, in the light of a globally escalating concern over water, energy and food scarcity, the WEF nexus is growing in strategic importance and now receives

increasing political and academic response (Adnan2013).

In summary, referring to the initial question, a breakthrough of WEF nexus in combination with CEA technologies could be regarded as having a major potential for a transitional change in urban food systems.

REFERENCES

- Adnan, H. (2013). *The Status of the Water-Food-Energy Nexus in Asia and the Pacific*. Bangkok. Report.pdf Adnan, H. (2014). *The Interdependence of Water, Energy, and Food Resources*, (October).
<http://www.unescap.org/resources/status-water-food-energy-nexus-asia-and-pacific>
https://www.slideshare.net/EMA_SIEW/hezri-adnan-16by9
 Accessed June 2016
- Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., & McCandless, M. (2013). *The Water-energy-food Security Nexus: Towards a Practical Planning and Decision-support Framework for Landscape Investment and Risk Management*. Winnipeg.
http://www.iisd.org/pdf/2013/wef_nexus_2013.pdf
 Accessed June 2016
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. New York: St. Martin's Press. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=0DxTK0jW35sC&pgis=105>
 Accessed June 2016
- Despommier, D. (2011). *The vertical farm: Controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations*. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 6(2), 233–236. <http://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3>
<https://drive.google.com/file/d/0BzmlQTF-9WPpsX3kyTXlcnZrXzA/view>
 Accessed May 2016
- EMF (2017). *Ellen MacArthur Foundation*.
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
 Accessed June 2016
- FAO (2011). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLA W): Managing Systems at Risk*. Rome, London.
<http://search.proquest.com.brad.idm.oclc.org/docview/906377303?pq-origsite=summon>
 Accessed May 2016
- FAO (2014). *The Water-Energy-Food Nexus - A new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome. FAO
<http://www.fao.org/policy-support/resources/resources-details/en/c/421718/>
 Accessed May 2016
- Fernandez, J., (2015) *Massachusetts Institute of Technology. Planning in Advance Understanding Urban Metabolism*.
<https://www.youtube.com/watch?v=ielh7tmmoY0>
 Accessed June 2016
- Godfray, H.C., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J., et al (2010) *Food security: The challenge of feeding 9 billion people*. *Science*, 327, 812-818.
- Hoff, H. (2011). *Understanding the Nexus*. Bonn2011 Conference *The Water, Energy and Food Security Nexus Solutions for the Green Economy*. Stockholm. Holtz
<https://drive.google.com/file/d/0BzmlQTF-9WPpsQVpNbUhqeUtGQzQ/view>
<https://www.sei-international.org/publications?pid=1977> Accessed May 2016
- IISD (2016) *International Institute for Sustainable Development*.
- IISD REPORT (2013) *The Water–Energy–Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management*
http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/water_energy_food_policymakers_what_does_it_mean.pdf

http://www.iisd.org/pdf/2013/wef_nexus_2013.pdf
Accessed June 2016

IOTUK Aykroyd, H. UK's first vertical farm.

<https://iotuk.org.uk/uks-first-vertical-farm/>
Accessed June 2016

Kozai, T., & Niu, G. (2016a). *Conclusions: Resource-Saving and Resource-Consumption Characteristics of PFALs*. In T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production* (Kozai, T., pp. 395–399). London: Academic Press. Kozai

Kozai, T., Niu, G., M. Takagaki (2016) *Plant Factory – An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press/Elsevier British Library ISBN:98-0-12-801775-3. <http://store.elsevier.com/>

Pearson, L. J., Pearson, L., & Pearson, C. J. (2010). Sustainable urban agriculture: stocktake and opportunities. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(1), 7–19. <http://doi.org/10.3763/ijas.2009.0468>
https://www.researchgate.net/publication/233555575_Sustainable_urban_agriculture_Stocktake_and_opportunities
Accessed June 2016

Plantagon management, Plantagon International AB (Q2 2016)

Mousavi, S. Plantagon International AB. Interview April 2016 Stockholm.

Pettersson, O. Plantagon International AB. Interview May 2016 Stockholm.

Rytterborn, J. Plantagon International AB. Interview May 2016 Stockholm

Seignette, E. Plantagon International AB. Interview June 2016. (Internship; Master Thesis to be published autumn 2016).

Plantagon, homepage; www.plantagon.com
<http://www.hortidaily.com/article/13878/Sweden-Plantagon-to-build-unique-vertical-greenhouse-for-urban-agriculture>
Accessed June 2016

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2).

<https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Accessed June 2016

Smith, A., Stirling, A., & Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, 34(10), 1491–1510. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2005.07.005> Smith

UNEP (2013). *The Green Economy*.

http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/GETReport/pdf/Chapitre_2_Agriculture.pdf

Accessed June 2016 <http://www.unep.org/ecosystems/freshwater>

United Nations (2015). <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>

Accessed June 2016

United Nations (2014) Department of Economic and Social Affairs, Population Division

<http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>

<https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>

Accessed May 2016

United Nations (2013) Food Security Project.

<http://un-foodsecurity.org/>

Accessed May 2016

Wiskerke, J. S. C. (2015). *Urban Food Systems*. In H. de Zeeuw & P. Drechsel (Eds.), *Cities and Agriculture: Developing Resilient Urban Food Systems* (pp. 1–24). New York: Routledge.

<https://drive.google.com/file/d/0BzmlQTF-9WPpsbWxaUUxkUEZXXWgc/view>

<https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Accessed May 2016

World Resources Institute (2012) *New Global Protocol Helps Cities Measure and Cut Greenhouse Gas Emissions*

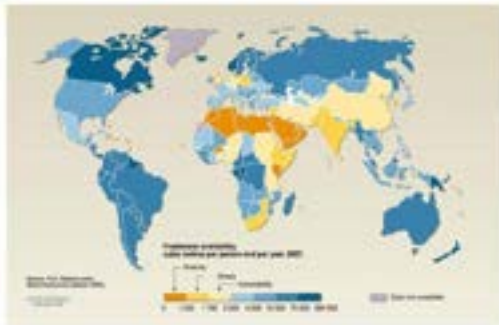
<https://www.wri.org/our-work/top-outcome/new-global-protocol-helps-cities-measure-and-cut-greenhouse-gas-emissions>

Accessed June 2016

APPENDICES

Appendix 1.A

Water stress around the globe



A single resource analysis – productivity and availability of water vary between regions



Appendix 1.B

Geographical hot spots for water-food nexus



Source: FAO

Highlighting risks associated with main agricultural production systems and interactions across the nexus (i.e. interdependence between water & food)



Appendix 1.C

Imbalances between ecological consumption, (ecological footprint) and availability (bio-capacity)

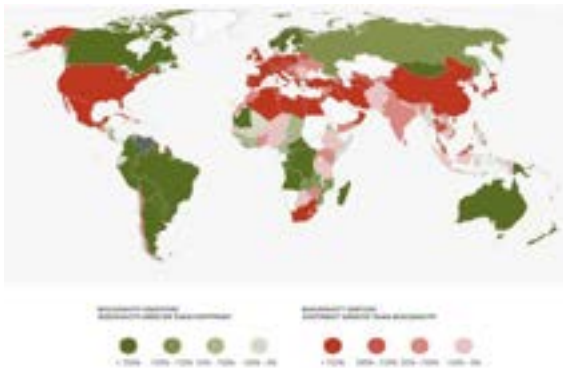


Figure 1. Global Ecological Deficits & Reserves (Global Footprint Network, 2015)

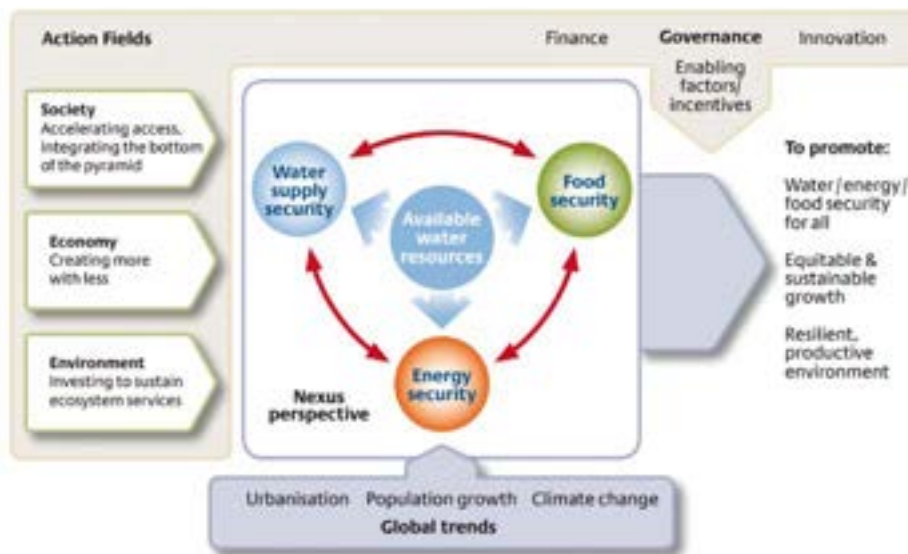
Appendix 2

Impacts of risks related to water-energy-food nexus.

	Direct impacts	Indirect impacts
Impact on governments	<ul style="list-style-type: none"> Stagnation in economic development Political unrest Cost of emergency food relief Significantly reduced agricultural yields Threats to energy security 	<ul style="list-style-type: none"> Increased social costs linked to employment and income loss as agriculture is negatively affected National security risks/conflict over natural resources
Impact on societies/populations	<ul style="list-style-type: none"> Increased levels of hunger and poverty Increased environmental degradation Severe food and water shortages Social unrest Food price spikes 	<ul style="list-style-type: none"> Migration pressures Irregularly damaged water sources Loss of livelihoods
Impact on business	<ul style="list-style-type: none"> Export constraints Increased resource prices Commodity price volatility as shortages ripple through global markets Energy and water restrictions 	<ul style="list-style-type: none"> Lost investment opportunities

Source: World Economic Forum (2011)

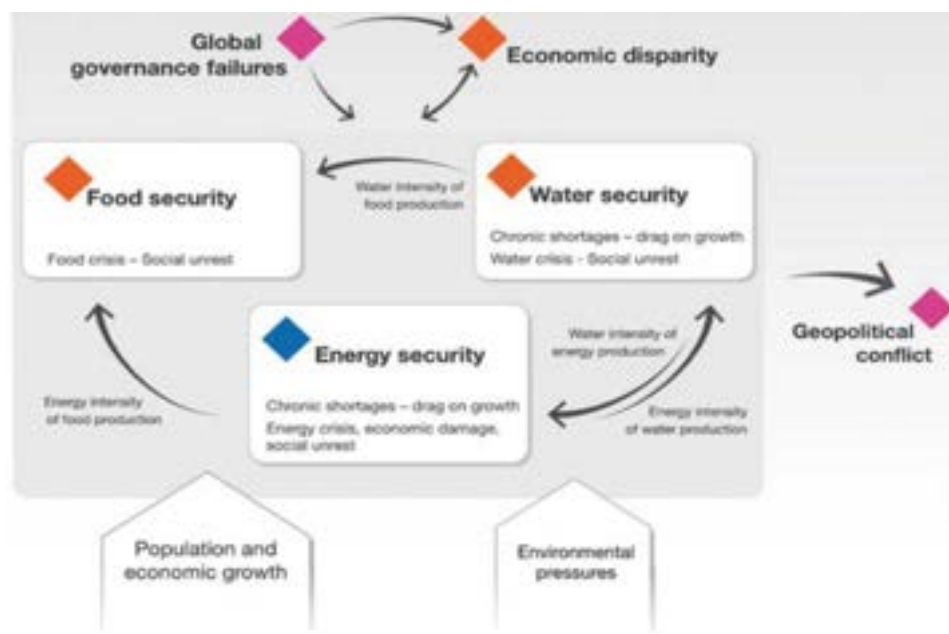
Appendix 3



FRAMEWORK SUGGESTED FOR THE BONN2011 NEXUS CONFERENCE: THE WATER, ENERGY AND FOOD SECURITY NEXUS

Source: Hoff, 2011.

Policy recommendations/relevance: Specific policy areas include: increasing resource productivity; using waste as a resource in multi-use systems; stimulating development through economic incentives; governance, institutions and policy coherence; benefiting from productive ecosystems; integrated poverty alleviation and green growth; and capacity building and raising awareness.



APPROACH TO WEF SUGGESTED BY THE WORLD ECONOMIC FORUM

Source: World Economic Forum, 2011.

CHAPTER 6

UPFARMING: THE AIMS OF BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE

Claire Diebel (M.A.)

Architectural designer, green infrastructure expert,
and recipient of the German Chancellor Fellowship

1. INTRODUCTION

Building Integrated Agriculture (BIA) is the practice of fusing farming systems with buildings. In response to rapid urbanization, BIA provides a means for urbanites to access fresh produce despite exorbitant land prices and without increasing a city's demand for open land. No matter what method or means, BIA projects seek to address the threats to the built urban environment posed by an absence of urban vegetation, agrarian disconnect, lack of affordable fresh produce, disconnected communities, and a lack of nutrition education.

BIA projects exist on a broad spectrum from a private, high-tech, and industrial scale, to a more casual, volunteer-based, community scale. Urban farming projects tend to be either a non-profit enterprise or a for-profit business, but can also accomplish the goals of education, recreation, health, and environmental amelioration. The types of spaces which BIA are linked to are also vastly diverse (see Figure 1).

There is tremendous potential for BIA which extends beyond the sole production of food. Distinctive services for society, ecology, and environment are also realized by integrating food production in our built environment. Already, an awareness amongst people and governments around the globe already exists today which recognizes these advantages. Assessing the complete value of BIA, with all of its potential benefits, is still a work in progress. To establish an understanding of the dynamics of BIA and to prioritize project aims, the following chapter reviews ten objectives of BIA and highlights related exemplary case studies.

2. PREFACE

“Upfarming” is a term coined by the author which describes the practice of reusing vacant roofs, facades and urban spaces to yield productive landscapes. Like “upcycling”, upfarming activates what is otherwise neglected. It is the harmonious integration of food production and urbanity. Upfarming links food production to where food is consumed,

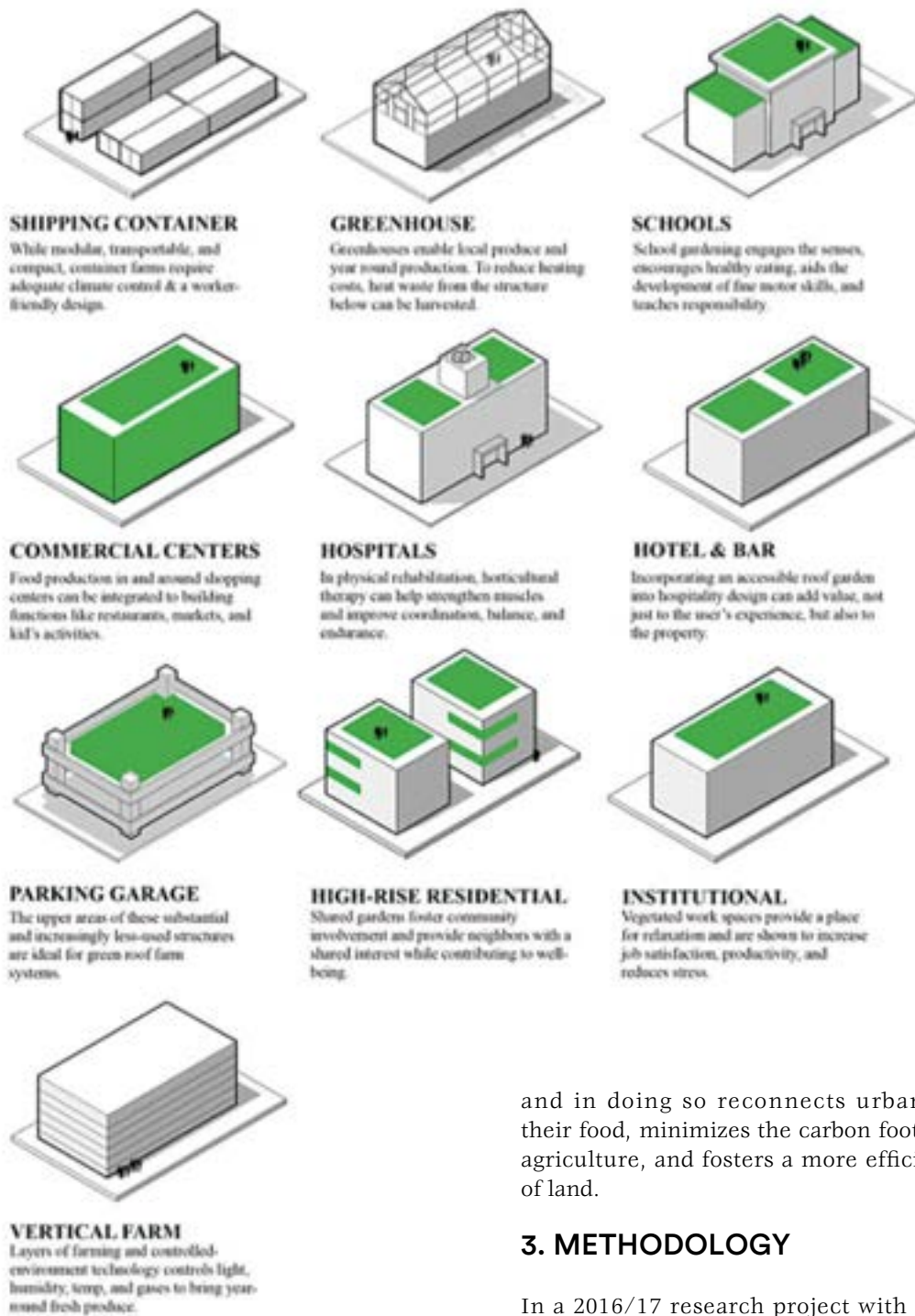


Figure 1: The realms of BIA (Diagram by Claire Diebel)

and in doing so reconnects urbanites to their food, minimizes the carbon footprint of agriculture, and fosters a more efficient use of land.

3. METHODOLOGY

In a 2016/17 research project with support from the Alexander von Humboldt Foundation and Prof. Manfred Koehler, Claire 'Kelai' Diebel carried out case studies from more than 50 BIA projects in Europe, Asia, and North America. Literary research provided an initial

overview of the topic, however action research has been the underlying methodologies for the establishment of www.upfarming.net. Site visits, interviews, meetings with industry professionals, and conference attendances formed the body of action research by conscious learning by experience.⁸

Learning firsthand from each of these 50+ studies, a distinction was discovered between projects that excel in community involvement from those that aim to raise property value and those that provide environmental amelioration as their primary objective. The final product of a BIA project can differ immensely, depending on its objective. As BIA becomes more mainstream, it becomes essential to prioritize specific goals, and then design and build to reach these aims. This paper identifies 10 aims of BIA and reviews a case study related to each aim:

1. Environmental Amelioration
2. Community Development
3. Economic Growth & Employment
4. Wellbeing & Productivity
5. Food Security
6. Market Oriented
7. Research & Experimentation
8. Horticultural Therapy
9. Children's Education
10. Added Real Estate Value

4. CASE STUDIES

Environmental Amelioration

There are four primary environmental benefits from organic BIA – the delivery of ecosystem services (storm water retention; urban heat island effect mitigation; air filtration), preservation of biodiversity, reduction of



CASE STUDY: DAKAKKER

*Location: Rotterdam, The Netherlands
 Type: Roof Farm
 Size: 1000 m²
 Year: 2012*

*Design & Planning: ZUS Architects, Binder
 Groenprojecten & Rotterdam environment centre
 (RMC)
 (photo by Claire Diebel)*

waste, and a reduction of the amount of energy used to produce, transport and distribute food.

In a 2012 Rotterdam city planning initiative, citizens voted for ZUS Architect's "Luchtsingel" project to revitalize a 1959 city block that was slated for demolition. Today, as a component of the Luchtsingel project, DakAkker is a thriving 1000 m² roof farm on the 7th floor of the Schieblock office building.

DakAkker employs a green roof farming system to transform existing urban surface into productive green infrastructure, creating an equilibrium between nature and city. The roof farm taps into free heat energy from the sun and passive thermal properties from the building HVAC's systems below. The plants filter the air and insulate the building while rainwater is absorbed into its vegetative layers and stored in its proprietary "smart roof system" – a development from Dakakker in collaboration with Optigreen and Rotterdam's Milieucentrum (RMC). The smartroofsystem releases the collected storm water to irrigate the roof farm.

A native flower garden, 6 beehives, and more than 100 varieties of herbs, vegetables, legumes, alliums, and fruits are all residents of the DakAkker roof, promoting biodiversity. Food miles are completely irrelevant at DakAkker; the harvest is consumed either on the roof, at the roof bistro, or delivered by hand to neighboring restaurants. Packaging, refrigeration, and waste is also significantly reduced. Organic waste on the roof is composted so that nutrients are replenished back to the soil. Besides producing food for the local community, DakAkker plays a leading role in building green infrastructure by restoring a natural ecosystem in the heart of the city.

Community Development

BIA has great potential for community growth by building partnerships with schools, community organizations, and local governments

(Dorward, et al, 2013). Urban agriculture benefits both individuals and neighborhoods, and contributes to overall community well-being. Community involvement around gardening provides neighbors with a shared interest and empowers people by putting food security into their own hands; allowing them to resist dependence on an anonymous global food distribution network. The presence of inner city gardens shows strong correlation with decreased crime rates, littering, accidental fire, juvenile delinquency, and mental illness (Hagey et. al, 2012).

ØsterGRO is a 600 m² Community Supported Agriculture (CSA) rooftop farm in Copenhagen. A CSA model builds a relationship between farmers and buyers by establishing a direct link between those who produce and those who consume. CSA members share the harvest of vegetables, fruits, eggs, and honey cultivated by ØsterGRO's initiators, agronomists, and volunteers taking part in the roof farming.

CSA members visit ØsterGRO weekly to pick up their box of freshly harvested produce. The weekly harvest is also open to anyone wanting to satisfy their green thumb. As the congregation of helping hands work throughout the roof farm, bonds are cemented and networks are built. Furthermore, ØsterGRO hosts a dining experience inside its greenhouse four nights a week as well as tours and workshops throughout the days. Although it is not expected for ØsterGRO to sustain an entire community's demand for food, the project strengthens a community through shared experiences in the garden and counteracts the dissociation that comes with anonymously sourced food.

Economic Growth & Employment

When operating as a for-profit farm, BIA can produce high quality food on relatively small rooftops by using waste resources from the urban environment and taking advantage of the small scale, thereby negating the need for mechanization and expensive chemical



CASE STUDY: ØSTERGRO
Location: Copenhagen, Denmark
Type: Roof Farm
Size: 600 m²

Year: 2014
Design & Planning: Livia Urban Swart Haaland,
Kristian Skaarup, Sofie Brincker, Teresa Fresu
(photo by Claire Diebel)



CASE STUDY: UF002 DE SCHILDE
Location: The Hague, The Netherlands
Type: Rooftop Greenhouse
Size: 1900 m²

Year: 2016
Design & Planning: UrbanFarmers, Space&Matter
(photo by Claire Diebel)

inputs. Urban vegetable growers spend less on transport, packaging, and storage, and since they sell directly to consumers, the grower can keep the profits that would have been lost to distributors in a traditional market. This leads to an increase in reinvestment, job creation, and allows the growers to spend more time on perfecting their craft and less on managing logistics.

UF002 utilizes a recirculating aquaponic-hydroponic system on its 1900 m² rooftop greenhouse for raising tilapia and growing tomatoes, eggplants, cucumber, and lettuce. There are no pesticides, no herbicides, and no antibiotics, and moreover, the system furnishes the highest standards for fish welfare. UF002 uses proprietary technology to monitor and automate the system.

45 tons of vegetables and 19 tons of fish are grown each year at UF002 de Schilde. The produce is delivered to nearby markets,

restaurants, and catering companies. Return on the 2.7 mio EUR investment is expected after three years from initiation. Meanwhile, the roof farm holds events, offers tours, and provides educational workshops to supplement revenue. UF002 de Schilde is now the third project from UrbanFarmers. The first project was founded in Basel in 2011 as a showcase container farm, the second project emerged in Basel in 2013 as a 250m² rooftop greenhouse. Now in the Hague, 11 fulltime employees and a group of interns are already planning to expand their work to incorporate vertical farming with algae farming in a new project they call, "The New Farm".

Wellbeing & Productivity

As BIA combines vegetation with the built environment, urban dwellers can tap into the benefit provided by plants. Vegetated spaces provide a place for relaxation, and improve human health through the simple visual and



CASE STUDY: PASONA

Location: Tokyo, Japan

Type: Indoor Farm

Size: 4,000 m²

Year: 2010

Design & Planning: Kono Designs

(photo by Claire Diebel)



CASE STUDY: FOOD ROOF FARM

Location: St. Louis, Missouri

Type: Rooftop farm + 4 local vacant lots

Size: 800 m²

Year: 2015

*Design & Planning: Mary Ostafi, AIA, LEED AP
BD+C*

(photo by Kyle Ramey)

physical contact. Likewise, employee access to green areas increases job satisfaction, productivity, and reduces stress (Luckett, 2009).

4,000 m² of edible plants are growing in a nine-story office building so that employees can grow and harvest their own food at work. At Pasona, there are 200 varieties of plants growing in all directions. Hydroponically grown tomatoes sprout over conference tables, climbers on trellises are used as meeting room partitions, seedlings grow under benches, plants hang in bags throughout corridors, a rooftop orchard bears fruit, and some glass rooms are even entirely devoted to LEDs and hydroponic crops. The interior is literally built out of plants.

Since the introduction of vegetation, there has been a significant drop in employee fatigue,

headache, dizziness, itchy eyes, irritated nose, dry throat, cough, and dry skin. A 12% increase of productivity, a reduction of absences, and a decreased staff turnover rate clearly demonstrates the potential health benefits of indoor greening. Sampling the amount of CO₂ at Pasona shows a marked reduction where indoor plants are abundant. Moreover, studies have proven an increase of the overall quality of the air through the reduction of volatile organic compounds (VOCs) and Carbonyl sulfide (COS).

Food Security

“Food deserts” are neighborhoods lacking access to affordable, healthy, and wholesome foods, mainly fresh fruits, vegetables, and whole grains. This is brought on by an absence of grocery stores and markets within a convenient traveling distance. By

producing food locally, BIA can close the food distribution gap; bringing fresh produce to deprived citizens without having to depend on large markets, refrigerated transportation, and the massive infrastructure that is necessary for the creation of a grocery store.

The Food Roof Farm is dedicated to supplying fresh and healthy foods to St. Louis' most severe food deserts. The Food Roof started off as a living laboratory, experimenting with several alternatives to discover what system is most suitable for their needs. Based on resource efficiency, production yield, and accessibility, the project now features a green roof farm, hydroponic towers, an edible wall, raised beds, modular planters, and a 30 m² greenhouse. The roof grows more than 250 varieties of plants, and also hosts four hens.

Today, the Food Roof network encompasses four parcels in the city center which together

produce 2,500 kilos of food annually. 75% of the produce is donated to four food distribution partners: a mobile "market bus", a local elementary school, a homeless center, and an NGO which provides free nutrition and healthy lifestyle education. The remaining 25% supports Food Roof farmers and interns, and is consumed at pop-up dinner fundraisers on the rooftop. Since Food Roof Farm is a non-profit, it is dependent on donations, sponsors, and grants, as well as regular community events such as yoga sessions, educational workshops, private events and tours to support the project.

Market Oriented Agriculture

Produce grown in cities can be sold directly to supermarkets, farm stands, and farmers markets. The latter two provide an ideal venue for sales since they require little up-front investment and connects farmers to



CASE STUDY: ECF FARMSYSTEMS

Location: Berlin, Germany
Type: Aquaponic Greenhouse
Size: 1800 m²

Year: 2015
Design & Planning: Christian Echternacht and
Nicolas Leschke
(photo by Claire Diebel)

consumers (Dorward et. al, 2013). Recently, there is a rising interest for supermarkets to offer locally grown, organic food. Despite the apparent success of a market oriented model of urban agriculture, some farmers, particularly those in North America, face restrictive licensing and permitting barriers, as well as local regulations that prevent them from legitimizing their operations. Assuming that the logic of market capitalism is true, releasing farmers from these regulations will allow competition to increase and prices to decrease.

The ECF aquaponic circuit consists of 20 fish tanks, state-of-the-art filtration systems, oxygen reactors and measuring systems. Technology calculates optimum pH values, water temperatures, and feed quantities. Depending on the plants grown, ECF utilizes

various cultivation methods, such as ebb and flow, drip irrigation, nutrient film technique (NFT), and deep-water culture/raft/floating (DWC). ECF has found that in comparison to hydroponic farms, the pairing of fish and plants reduces the costs for fresh water and plant fertilizer. Moreover, by producing both fish and vegetables, two markets are established with a wider foundation for company success.

Produce from the ECF aquaponic farm is available in all REWE Supermarkets in the Berlin Region. Each week, ECF distributes 8,000 pots of basil throughout 240 REWE outlets. By prioritizing production of high value fish, vegetables, herbs and fruit while cutting down steps in the supply chain and offering the freshest possible produce, ECF has increased the stability and profitability of its business. ECF's services also include



CASE STUDY: AGROPARISTECH T4P

Location: Paris, France

Type: Roof Farm

Size: 600 m²

Year: 2012

Design & Planning: INRA, AgroParisTech, Topager and Cultures en Ville

(photo by Claire Diebel)

consultation on site analysis, planning, estimation of building and operational costs, financing, and construction for new aquaponic system installation.

Research & Experimentation

If it intends to reach its full potential, research and experimentation is integral to BIA projects. The discoveries that come from research help raise the success rate of future developments. Conducting studies, analyzing data, and making recommendations contribute to the establishment of best practices and high industry standards for BIA.

In March 2012, a 600 m² roof farm was constructed in the Fifth Arrondissement on top of the AgroParisTech campus in collaboration with the INRA (French National Institute for Agricultural Research), and two Parisian urban agriculture firms, Topager and Cultures en Ville. As a leader in life sciences and agronomy, AgroParisTech is one of the foremost Grandes Ecoles. The roof installation is entirely dedicated to the purpose of determining if the organic waste of an urban environment can be effectively used for rooftop farming. Beyond this primary goal, T4P also seeks to quantify the ecosystem services of open air rooftop gardens and green infrastructure.

These experiments were performed by building raised planter beds, which simulate the conditions of a typical community garden, and then collecting data through the placement of sensor devices. The growing medium of the beds is composed exclusively of urban waste and minerals, and there is no use of pesticides or artificial fertilizers. After five years, the garden is still producing consistent and productive yields with only a once-a-year addition of organic matter. These experiments conclude that the practice of growing with organic material collected from the surrounding city results in the production of more successful crops and a reduction of waste and pollution.

Horticultural Therapy

The pleasure of gardening has been enjoyed for centuries. Horticultural therapy helps improve memory, cognitive abilities, sensory motor skills, task initiation, language skills, and socialization (Söderback et al., 2004). In physical rehabilitation, horticultural therapy can help strengthen muscles and improve coordination, balance, and endurance. In a vocational horticultural therapy setting, people learn to work independently, problem solve, and follow directions.

Universal design and green infrastructure play a big role in the healing process at the Robert Doisneau Center. To explore how greening can be designed for therapy at the center's new rehab center, the Parisian roof farm design company, Topager, worked alongside the Doisneau Center's occupational therapist. Due to consultation with the therapist, the center features green pockets, ranging from internal courtyards to balconies, a roof garden, a shaded terrace, and even a green wall.

Patients have access to a lush courtyard through the common room on the fifth floor. The courtyard plant selection includes pines and ferns, but also grows vegetables and fruit shrubs. A smooth pavement and a few benches under the trees create a serene and therapeutic space for patients. The center of this courtyard opens down into another green courtyard on the third floor. Upstairs, the roof garden is composed of alternating height raised box planters, universally accessible height (68.5 cm) "plant tabletops", benches, and trellises. This design makes it easy for both standing and sitting in a wheelchair to harvest, maintain, and appreciate the therapeutic benefits of working with plants.

Children's Education

Gardening is a fun, healthy activity for children. Building new skills, learning about science and nature, and growing food are all tremendously beneficial for the development of kids.



CASE STUDY: ROBERT DOISNEAU

Location: Paris, France

Type: Roof Garden & Courtyards

Size: 700 m²

Year: 2014

Design & Planning: Topager

(photo by Claire Diebel)



CASE STUDY: TOMATENFISCH

Location: Berlin, Germany

Type: Aquaponics

Size: 500 m²

Year: 2013

Design & Planning: Leibniz Institute for Water Ecology and Inland Fisheries (IGB)

(photo by Claire Diebel)



CASE STUDY: NEST

*Location: Amsterdam, The Netherlands
Type: Roof Bar & Garden
Size: 400 m²*

*Year: 2016
Design & Planning: HRBS, www.hrbs.com
(photo by Claire Diebel)*

Gardening engages the senses, encourages healthy eating, aids the development of fine motor skills, introduces youngsters to scientific concepts, teaches responsibility, and nurtures a sense of collective ownership of a shared environment.

FEZ is Europe's largest non-profit youth and family center. Fun programs are offered that promote creativity, recreation, adventure, and education. One element of FEZ is the Öko-Insel (Eco-Island), where children engage in tasks which bring them closer to nature. Greenhouses are full of tropical flowers, crops, medicinal plants, and birds. There is a multifunctional working room and clay oven for children to learn hands-on how to create

ceramics. The Öko-Insel offers activities that teach children about climate and rainforest, herbs and medicinal plants, beekeeping, nutrition, hydroponics, and aquaponics.

TomatenFisch is an installation inside FEZ's Öko-Insel where fish and tomatoes grow simultaneously in an aquaponics system. Children are inspired about the natural processes that are fundamental to sustainable food production and consumption, and their global importance. Day-long programs are available for third to sixth graders that teaches them to protect the world's oceans, how agriculture works, about the ecosystem between fish and tomatoes, and how to cook with the food grown at TomatenFisch.

Added Real Estate Value

There is no doubt that incorporating plants into building design can add value, not just to the user's experience, but also to the property. Biophilia, that part of human nature that desires a connection to the natural world, is intensified in cities where people are isolated in the built environment. Residents in dense urban areas prefer to spend time in green spaces and are willing to pay slightly more, especially when a good view is offered. In other words, urban environmental attractiveness stimulates economic activity.

Casa 400 is a recently renovated hotel near the Amstel Railway Station. The previous roof was covered in gravel, but the property owners wanted a lush rooftop park that would attract more guests. The new design wraps a thick green perimeter around the newly inaugurated "Nest" lounge and bar space. In the outer area, wild flowers and shrubs have been planted in a semi-intensive green roof. Using the same approach, edible plants are integrated with the inner lounge space with HRBS' modular growing trays. It is a joy for chefs to harvest fresh food directly from the roof and it has become a spectacle for the guests.

The public is invited to Nest to soak in the view, be surrounded by plants, have a drink, and escape the commotion of the city. The roof bar is famous for incorporating fresh picked roof herbs for cocktails, smoothies, and snacks. By virtue of excellent marketing and capitalizing on the latest food and beverage trends, Nest earned its ROI within two seven-month seasons, justifying how an attractive roof garden can magnetize customers. Ultimately, Nest is a win-win for both the public and the investors.

5. CONCLUSIONS

Each BIA project distinguishes itself from others by focusing on a specialized objective, but they are by no means one dimensional. For example, a project might be initiated

for the purpose of building a community or responding to climate change, may also have the effect of raising property values or serve as an educational platform for schools in the area. Project objectives often overlap, stimulating diversity in these unique combinations.

Beyond putting fresh food on your plate, BIA projects can affect the lives of people in profound ways. The benefits of BIA can relieve a multitude of issues that come with urban life; personally, socially, economically, and environmentally. Re-linking food production with the places where we live and work stimulates economic growth, prosperity and health. For these reasons, it is imperative that we do what we can as individuals, and within the organizations we are a part of, to promote BIA initiatives if we aspire to create a better city for ourselves and for the next generation.

5. BIBLIOGRAPHY

Dorward, Caitlin & Schutzbank, Marc & Mullinix, Kent. The Economics of Urban Farming. Urban Farming Guidebook, 2013.

Hagey, Allison, et al. Growing Urban Agriculture: Equitable Strategies and Policies for Improving Access to Healthy Food and Revitalizing Communities. PolicyLink, 2012, Growing Urban Agriculture: Equitable Strategies and Policies for Improving Access to Healthy Food and Revitalizing Communities.

Luckett, Kelly. Green roof construction and maintenance. 2009. McGraw-Hill: New York

Söderback, Ingrid, et al. "Horticultural Therapy: the 'Healing Garden' and Gardening in Rehabilitation Measures at Danderyd Hospital Rehabilitation Clinic, Sweden." Pediatric Rehabilitation, vol. 7, no. 4, 2004, pp. 245-260., doi:10.1080/13638490410001711416.

Special thanks to Prof. Manfred Koehler for mentoring the project to helping me see to my full potential, and to Andrew Wu, for improving my writing and clarifying my thoughts.



*Placas solares en terraza
verde. C. Diebel*

CHAPTER 7

URBAN AGRICULTURE 2.0 FROM VISION TO PRACTICE

Future of Vertical Farms, business model perspectives of Aquaponic and societal transformation through Green Roof and Living Wall Projects

Vera Enzi

GrünStattGrau GmbH; vera.enzi@gruenstattgrau.at

Dr. Daniel Podmirseg

Verticalfarminstitute Association; podmirseg@verticalfarminstitute.org

Gert Zechner

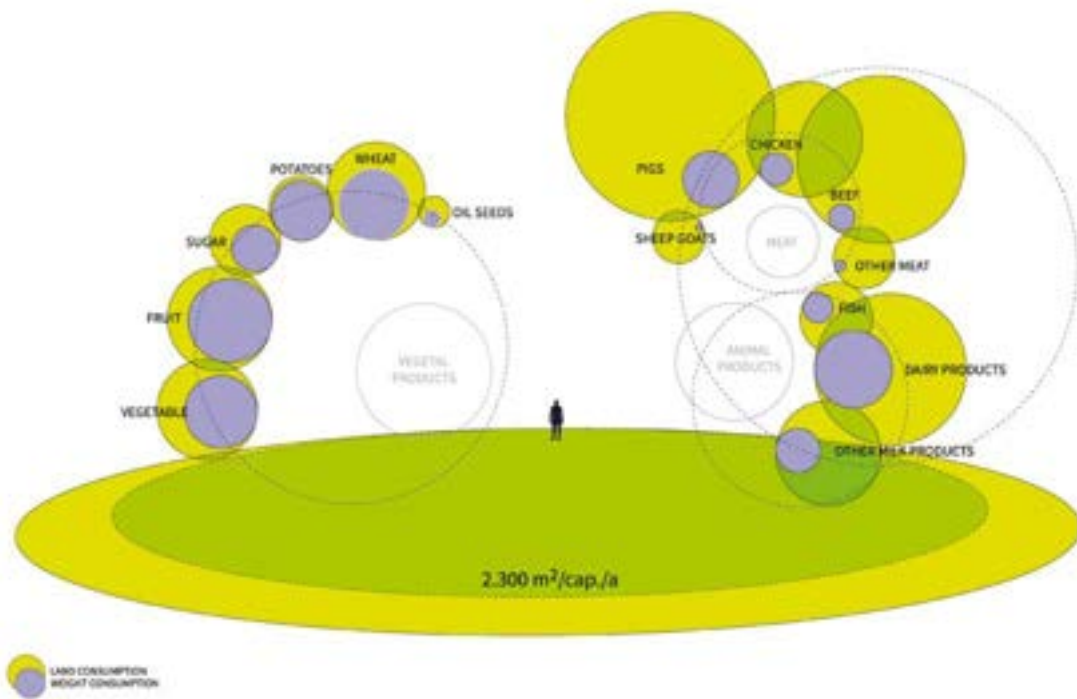
Ponganic GmbH; gert.zechner@ponganic.at

It's a hell of an exciting time we live in. There's so much to do. Every challenge can lead us to great opportunities. The keys are: Design. Confidence. Energy.

The city of the future will no longer be structurally comparable to the modernist city. The design practice of the last eighty years has brought us to really great challenges that will lead to radical changes in the system in ecological, social and economic terms. This new environment allows for a much greater involvement of various stakeholders from art, science and business. In addition, the fact of shaping the city of the future is an invitation for all those who have found it difficult to be an integral part of existing decision-making processes. The supply of healthy food throughout the year affects us all, especially city dwellers.

THE CITY'S FUTURE IS THE RESULT OF EVERYTHING WE CAN THINK AND DO TODAY

One of the biggest challenges will be to supply the city of the future with food. For two reasons: Both urbanites and the rural population are unaware of the scale for meeting their own daily food requirements in terms of calories. Each individual in Central Europe needs 2,300 m² per capita in order to be able to supply himself/herself continuously with food for over a year. If the climatic conditions allow it, we produce in our own country. For a short period of time, the harvest is so high that we achieve overproduction for certain products. An example: The Marchfeld, Austria's former breadbasket, could theoretically be used to feed just a small Viennese municipality for one year. In fact, production takes place in temperate climates for about six to eight months. After that (but already during this time) you are largely dependent on imports.



Area per person and year © 2013 DP

This phenomenon is becoming apparent in most cities. Roughly speaking, ten square meters of agricultural land are needed for each square meter of urban area. Looking at the whole of Austria, we have a pattern comparable to Germany, which already has 40% of the agricultural area for its own use abroad, for example in Argentina or Brazil – with a strong upward trend. Exploding land consumption is thus one of the central problems, which has consequences for climate change, overexploitation of nature, geopolitics and energy consumption, to name but a few.

Energy consumption is no different. Before we think about the city of the future, we have to provide energy to our brain and the rest of the body. That corresponds to a daily requirement of 1,800 kcal to 2,500 kcal basal metabolic rate (representing approx. 90% of the population). In terms of kilowatt-hours we need a basal metabolic rate of 2 - 3 kWh to keep our body functional. And these must first be made available. The current energy-

intensive system requires between six to ten times as much energy, depending on the country we live in. A large proportion of these are non-renewable fossil fuels. We can say that we consume about one liter of crude oil a day to supply us with food, transport and cooking not included.

The third point of the distorted perception of food supply is, of course, the price. When shopping in the supermarket, we are particularly price-conscious and have developed a kind of hypersensitivity to this. We have developed an incredibly strong perception of price developments in the cent range. And this despite the fact that, for example, Austrians are in the happy situation of spending only 10% of their income on food supplies. But is that true? These costs only concern one of four expenditure areas. In reality, we pay our foodstuffs in addition to and on a regular basis via our tax contributions, in order to fill the EU's largest subsidy pot, that of agriculture. Furthermore, the costs of

environmental damage such as soil erosion, acidification of water bodies, costs due to climate change etc. are not taken into account. Finally, we must realize that various existing free trade agreements between the EU and other countries are creating geopolitical tensions and are responsible for some of the flows of refugees, which are costly and therefore accountable for the fourth point on the expenditure side.

Awareness of these three circumstances is a prerequisite for solving this problem and for releasing potential for proposals that lead to a noticeable easing of this situation.

In principle, the solution is simple: We are simply reinstating a practice in food production that we started 11,000 years ago with the Neolithic Revolution and only interrupted on a large scale fifty years ago: We produce again where we consume.

Currently, 7.5 billion people live on the planet, most of them in cities. The area in the urban environment being limited and thus precious, the above-mentioned cultivation area per person makes the demand for local production

seem unrealistic. But only at first sight. Surface may be limited, but not the space.

ONE SOLUTION IS VERTICAL FARMS

But what is vertical farming supposed to mean? The Vertical Farm is a building typology designed to produce food throughout the year. In closed systems, comparable to existing greenhouses, fresh produce is grown in stacked form, i. e. vertically, using various cultivation and production methods.

Recent research shows that the vertical farm leads to a drastic reduction in land use. For several reasons: On the one hand, it is the stacking. One square meter of floor space can theoretically be used for a multiple. The indoor climate, which is adapted to the physiological requirements of plants, leads to higher yields. Fluctuations in temperature can be adjusted as well as lack of daylight. Harvest failures due to hail, frost and prolonged adverse weather conditions are thus excluded. The sum of these parameters leads to the conclusion that, for example, the ratio of the building floor plan of the vertical



Manmade forest fire NASA, © 2017 vfi

farm corresponds to approx. 1/30 to 1/50 of the alternatively required agricultural area. This increases independence from imports, transport networks are radically shortened and available surface areas could theoretically be committed for organic farming on healthy soils or permaculture according to government policies. In addition, depleted soils whose humus layer has already been destroyed could be transformed back into natural wasteland. These measures would create CO₂ sinks, thus contributing to climate and environmental protection. In order to achieve this massive land reduction, optimal growing conditions must be provided, as already mentioned. That requires energy.

In order to be competitive with the food sector in terms of energy consumption, a precise analysis of the vertical farm on a multidisciplinary level is needed – a complex holistic approach. The bad news first: If we combine the wrong building typology with an unsuitable plant, energy consumption will explode so much that it is virtually impossible to cover it with renewable energy. For example, the supply of artificial light for tomatoes in a high-rise building with mezzanine floors is not desirable, even with the use of highly efficient LED technology. However, the development of new building typologies, the combination of suitable cultivated plants and the development of the correct sequence of cultivation of crops in a concrete urban environment lead to an energy demand which can be seen as reasonable by the coverage with renewable energy. This energetic consideration refers only to the structural element of the Vertical Farm. It becomes interesting when we leave the system boundary of the building envelope and broaden our perspective. The Vertical Farm has the potential to take a significant step towards the cycle economy. The structural elements of the current food production system are spread across the globe. The production of fertilizers, herbicides, pesticides, etc., the cultivation of foodstuffs, refrigeration, storage, processing and packaging are only linked together by long

transport routes. All these elements can be packed into a building or at least located in the immediate urban environment of the Vertical Farm. From an overall energy point of view, this leads to further energy optimization. Material and energy flows can thus be looped.

One of the biggest challenges to be solved is price. The Vertical Farm is a high-tech building that requires large investments. And it stands in the center of the city, where land is expensive. At first glance, these problems do not seem to be solvable, and yet a striking number of advantages of urban vertical food production speak for the implementation of this new structural element in the system of the city of the future. On a social level, we can observe that the debate on food production has been growing steadily for years. The demand for regional products and the desire to know the producers is increasing rapidly. Whether or not food production will become part of everyday urban life is no longer under discussion here. With increased awareness, different participation models can be considered, which no longer depend solely on economic parameters. “Vertical Harvest”, a vertical farm opened last year in Jackson, Wyoming, is a prime example of this. It was developed as a citizen participation project and is run by citizens of the city. However, purely commercial vertical farms such as Skygreens in Singapore show that business models can be developed which can pay off the large investments and increased costs of operation. An essential fact is that on average only 20% of food prices are allocated to the producer, the farmer. The remaining four-fifths are shared by the remaining middlemen, processors and sellers along the value chain between producers and consumers. Of course, this is no longer the case with the Vertical Farm. At the political level, wise decisions on zoning plans and participation models can positively support vertical farming implementations. At European level, vertical farming can become part of the agricultural subsidies system. In other words: Provided that the actual and real costs of food production in traditional



Vertical Farm Innsbruck © 2016 DP

agriculture are taken into account, the Vertical Farm is competitive, even in price. We will be able to prove this in a short time after completion of current research work.

The solution to this problem is therefore complex, and the implementation of vertical farms in an existing urban system faces major challenges. Local production irritates essential functional processes of the modernist city. The Vertical Farm Institute is dedicated to this complexity and sheds light on sub aspects of the new building typology and its consequences for the urban environment.

However, current research work is increasingly revealing the opportunities. Urban farming in general can contribute significantly to the relaxation of existing and future challenges of the city. The idea is not new. The Vertical Farm Institute regularly organizes Vertical Farming Meetups in Vienna to bring together visionaries and start-ups of the scene and to talk about shaping the future. We are already producing our own food in the city in rapidly

increasing quantities. If you look around you will find similar actors and initiatives in many cities. In Vienna, for example, Hut und Stiel takes care of mushrooms, Aquaponic Austria and Ponganic takes care of fish production, Herbeus Greens takes care of microgreens, and even salads, tomatoes and peppers grow in the hydroponics test facility of Prof. Anna Keutgen of BOKU (University of Natural Resources and Applied Life Sciences) at the Technical Museum in Vienna. We have city beekeepers such as Lothar Bodingbauer and city greeners such as Vera Enzi. Strong social interactions take place on roofs, communal areas and large terraces. Food production in cities is already part of everyday urban life. And it is constantly evolving.

But what are the alternatives? The author has dealt with this question in his thesis. It is indeed necessary to question the *raison d'être*. And indeed, we can say that traditional agriculture can greatly maximise its yields to feed the world's population of ten billion in 2075. However, when we look at the

interpolation of historical data from the 19th century to the 20th century, we also see that the energy input from currently 179 exajoules would increase to about 360 exajoules, which we must consider to be extremely critical.

Of course, we currently use only 10% of our land area on earth for agricultural land. This corresponds to approximately 15 million square kilometers. If the UNO's population forecast is correct, we will need an additional agricultural surface corresponding to Australia to supply us with food. A detailed analysis of the soils available for conversion from natural to cultivated land shows that these are mainly found in intact forests. In order to develop these soils, about 900 gigatons of CO₂ would be released, which we cannot accept either.

And, of course, we can also discuss the fact that we could decide at political level to radically reduce meat consumption, which would dramatically ease the situation. We currently feed 57 billion livestock permanently, which requires the majority of the agricultural land.

However, the author sees the implementation of a global regulation to reduce meat production as highly questionable, especially in emerging markets such as China and India, the consumption of milk and meat is increasing rapidly. This trend is likely to continue.

"The new is the oldest thing there is." This quote from Roberto Benigni naturally also applies to the Vertical Farm. Othmar Ruthner, who built the world's first vertical farm in Vienna over fifty years ago, was the pioneer in this field. The Ruthnerturm was displayed on the WIG (Wiener Internationale Gartenschau) 1964 next to the Danube Tower.

The city of the future will have to produce a considerable portion of the food it needs itself. New socio-economic models will be created. New building typologies will be developed, new marketplaces and trading places will be defined, public space will experience a renaissance, energy and material flows will be looped, we will make the city of the future more innovative by implementing vertical farms.



Ruthner Turm Oberlaa, Vienna © 2017 DP

VERTICAL FARMING BUSINESS PERSPECTIVES IN LIGHT OF AQUAPONIC

Gert Zechner BSc MA

An Aquaponic system is the combination of cultivating fish and vegetables in a symbiotic way. The waste of the fish is being filtered and processed in bio-filters. So the nutrients get dissolved in the water and are available for plants. Vegetables can be grown in different variations where soil is not necessary. The vegetables use these nutrients as fertilizer and clean the water for the fish.

This process also takes place in every pond and river so it can be considered natural. The Aquaponic cultivation technique is an amazing way to discover natural circulation. But not just in terms of water – also nutrients are being reused, the CO₂ and O₂ circle is being closed by plants that produce oxygen during the day and fish, that breathe this oxygen to live and further research could also process waste of plants as additive feeding for the fish. So the “Aquaponic-circle” can be seen as basic statement and obligatory conceptual

basement of every vertical farm. Because we live in a time, that demands clever and circular economic solutions.

A vertical farm is common known as a very cost intense project. These costs are results of high-tech installations, opportunity costs of ground in urban areas, the high amount of energy (primary electricity and heating).

But these economic difficulties have to be counted against the opportunities in urban agricultural production. The advantages of Aquaponics in general and vertical farms are: lower usage of water, fertilizer and food, higher and predictable output rates, independency of ecological circumstances (droughts, floods, bad soil, pests,...), no fossil energy is needed, production of food on site (in the city). These Advantages come mainly out of the technical perspective. But producing food “in the neighborhood” has a huge impact on the people who live there.

PONGANIC will build an Aquaponic system into a residential housing with around 35 Apartments. So we will integrate agriculture



“Grüner Markt” © Sandbichler Architekten



"Fischgreissler" © Gert Zechner

into an apartment building. But before the aquaponic system will be opened it is crucial to get to know the customers, which will buy the fish. Therefore, PONGANIC opened the *"Fischgreissler"* a small grocery store in the fifth district of Vienna.

In the moment Aquaponic Systems cannot be certified as organic in Austria. This results mainly from two facts: first the fish grow in tanks, which is not a natural water and second the plants do not grow in soil. All the other arguments for an organic production could be fulfilled. As a Result of customer feedback we realized, that they see "organic" as a label for "nature product". But in a scientific and definition context there can be stated: "Nature ends, where agriculture – even organic agriculture - begins!"

Our customers want organic products because of two reasons: first, because they want healthy food and second they want to make an environmental impact. Both reasons can be covered by a vertical farm with integrated Aquaponic system.

Technically we have closed areas for the fish, biology and plants. But as far as it is possible we integrate walls of glass. This is not just important to use sunlight for the plants. We also want our customers and passersby to have a look into the agricultural production of their food. We will provide a transparent agricultural production site into the city. By giving the customers the possibility to have an eye on our production we will create confidence in our trustworthy production method. So we will not use any pesticides, fungicides, antibiotics or similar "aids". This kind of quality food is exactly what the customers of the *"Fischgreissler"* are asking for.

We also calculated our business case. The numbers tell us, that we can make profit by working in a sustainable way. But the business case also tells us, that we need to use every chance of synergy effects. So we need to reuse waste as good as possible. A crucial factor for a successful economic system is to get the support of the community who are finally our customers. If we provide them healthy food this impact can come back to us, by a stable



GEDGE

and successful society. Nowadays Customer want to know where their food comes from and how it is made. We realize this demand as a rising phenomenon and get this feedback daily by our customers.

For a sustainable future where we don't exploit our planet it is necessary to transfer value chains into value cycles!

LINKING SOCIETY AND URBAN AGRICULTURE 2.0: POTENTIALS OF GREEN ROOF AND LIVING WALL PROJECTS

Vera Enzi

Do vegetables and fish produced in new urban agriculture centers taste different because they do not get in contact with common agriculture soil? Can they get produced and labelled organic and what is the difference to the farmers product I normally buy? Are polluted cities able to produce pollutant-free and healthy food at all?

There are many questions, future customers of local (urban) produced food raise that

we know about already. Not answering this questions properly puts a large barrier up for Urban Agriculture projects because they miss what they need in order to succeed economically: their customers. On scientific base, the cities potential for urban agriculture is proven, many different studies around the globe at city and national scales indicate that professional urban farming and agriculture will soon be moving into our cities and onto our buildings (e.g., Mann 2016 ; Orsini et al. 2014). High level regulations concerning urban production and quality of food are in place. Still, people buy and trust vegetables produced in unknown circumstances at the other end of the world, carrying large scale ecological footprints and mistrust the urban farmers local product.

This clearly leads to the conclusion that it is time to talk openly to current and educate future generations of customers- with methods they can understand, identify themselves and engage with actively.

Numerous different citizen engagement projects all over Europe show that urban green spaces play a vital role in the



ENZI



ENZI

sustainable development and cohesion of our society. Especially green spaces on and in buildings offer a lot of direct opportunities for communication, Co-Creation and engagement. Green roofs at ground and other levels can serve as versatile urban gardening, farming and recreation landscapes. Through joint Urban Green Development, even more possibilities for Urban Farming and Agriculture arise.

An excellent example is an 800 m² large green roof in Paris, “Gymnasium Deshayé” that since its creation has become the focal point for the community (see Fig. 7, D. GEDGE) and was implemented in line with the Greening Programme of the Paris Mayors Office (Direction des espaces verts 2014).

Access and engagement possibilities on rooftops in urban housing development



KORJENIC

play an important role for activation and communication. Interesting examples of integration in Vienna were implemented through the “Oase22” and “Sargfabrik” Project, where inhabitants have excellent possibilities to grow their own vegetables and herbs with supporting infrastructure (small scale Greenhouses, water connection and meeting room for learning and exchange), exploring as well opportunities for wild bee support and honey production. (see Figs 8 and 9; V. ENZI).

Another topic of utmost importance concerns our education systems. The earlier children engage with urban nature and biodiversity, the better future generations will be able to understand and use their new environment. Green Lighthouse Projects like “GrünPlusSchule” in Vienna- a project that integrated living walls in classrooms, in inner yards and biodiverse greenroofs on the school’s gym, are currently spreading. (see Fig. 10; A. KORJENIC)

Green Roofs and Living Walls implemented by city authorities providing public access serve as good examples as well.

To summarize, vertical farming and aquaponic systems have high potentials to feed the city.

In order to be successfully implemented, they have to open prior dialogue processes with their customers. Co-Creation projects like joint urban gardening/farming and greening actions as well as green school buildings can help breaking down barriers for Urban Agriculture 2.0.

BIBLIOGRAPHY

ORSINI, F. et al. (2014)

Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition, security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna.

Springer Science + Business Media Dordrecht and International Society for Plant Pathology 2014

Mann, G. (2016)

Urban farming – natürlich auf Dächern. – Transforming Cities 3.
Triolog Publishers Verlagsgesellschaft München

DIRECTION DES ESPACES VERTS ET DE L’ENVIRONNEMENT PARIS (2014)

Greening Programme of the Mayor of Paris 2014-2020



Milan Expo 2015.
Spanish Pavillion.
C. Diebel

CHAPTER 8

STADSBRUK A WAY TO FINANCIALLY LIVE FROM URBAN FARMING

Lena Friblick and Cyrille Gaubert
Xenofilia

30 new companies in three Swedish cities. Stadsbruk is a new concept to help urban farmers reach their goal: To be able to make a living from farming in the city.

1. INTRODUCTION

The interest around growing food in the city is getting bigger and bigger. In Sweden, there are many urban farming projects to create social enjoyment, social cohesion and a greener city. Some of those who farm in their spare time want to take it a step further and wonder – How can I become an urban farmer?

2. PLANT A SEED

Xenofilia is a company that works with social entrepreneurship in order to contribute to sustainability innovation.

“We saw the will of many wanting to shift farming into something profitable, but the opportunities were not available in the Swedish cities,” says Lena Friblick, founder and CEO of Xenofilia.

In order to be able to live economically from urban farming, Xenofilia identified two challenges: land issues and entrepreneurship. In the Swedish cities, the land is largely owned by local authorities, municipalities. During the 1900s, cultivation in the city has mainly been possible through allotments and community gardens as a way to grow your own food. (1)

Selling vegetables from community garden and allotment lots is not legal. At the same time there are land, even in the larger cities, which are not used but which in the future may be exploited or built. “We identified land in the city and simply asked the authorities if we could use the land for cultivation,” says Lena Friblick.

Together with the city of Malmö and the Swedish University of Agricultural Sciences

of Alnarp, Xenofilia started a whole new farming project, Stadsbruk. Through funding from the Swedish’s Innovation agency, Vinnova,(2) the parties received funding to develop new methods where cities and landowners could get a new way of identifying



Buddha from Los Perros Urban farming on Möllevångstorget in Malmö. He runs Los Perros Urban Farming with his partner Sofia. @jens_nordstrom

land and creating new opportunities for green entrepreneurs.

Soon more cities such as Gothenburg and Växjö joined as well as other associations.

“We identified both land, customers and growers. We saw that we could start something new in the city that benefited everyone. Stadsbruk is a concept that manages the complexity in addressing and valuing both the economical, ecological and social issues in an urban context “says Kristina Santén at the Swedish University of Agricultural Sciences of Alnarp.

Malmö is the third biggest city in Sweden located in the Oresund region. It has a population of around 300 000 people, its metropolitan region is 700 000 and it forms with Copenhagen a metropolitan area of close to 4 million people. It is a former industrial city that since the opening of the Oresund bridge as seen a lot of

development and innovation. It is home of the first carbon neutral district, Västra hamnen. 31% of its population is born abroad and 174 countries are represented. (3)

Gothenburg is the second largest city in Sweden with an urban area of about 1 million people. It is located on the west coast and hosts some of the biggest cultural events in Sweden. It is the largest harbor in Scandinavia and original home of Volvo.(4)

Växjö is a municipality located between Malmö and Stockholm in the Småland province. The municipality has a population of 85 000. It has a strong ecological policy with a goal for the elimination of fossil fuels by 2030.(5)

3. FINDING LAND

One of the project’s objective was to find a new way for landowners such as cities to use their land. In Stadsbruk three types of land

were identified that could be developed, each type with its unique method; urban, soil and countryside.

Stadsbruk Urban means that cultivation takes place in cultivation boxes that can be placed on any substrate. In Gothenburg, the municipality has built cultivation boxes in the harbor area Frihamnen, where housing will be built in the future. *“We use cultivation as a form of place-making, where residents will get a positive image of the district before we get started with the construction”* says Martin Berg at the property management department of Gothenburg City. Through the farming, life and movement are created in the otherwise desolated area.

Rosengård is a neighborhood in Malmö with over 150 nationalities. One of the goals from Malmö city was to use Stadsbruk to contribute to entrepreneurship and security in the city. On the site, Stadsbruk Soil is carried out, where five companies grow in an area close to two hectares. The companies rent between 500 and 2500 square meters of land for cultivation. Many who pass by stay and look at the crops

“We feel that residents in the area are happy to see us grow here,” says Charlotte Nycander, who runs Happy Onion Farm.

One way to use the land around the city is to use the Stadsbruk countryside. Several Swedish cities own land in outer areas of the city. The land was purchased in the 1960s and the idea was to enable continued expansion of the cities. Municipalities such as Malmö and Gothenburg therefore own farmland and farms rented to farmers. “In Gothenburg we want to use the land to develop a new type of entrepreneurship and find the farmers of the future,” says Martin Berg. In Bergum Mellangård outside Gothenburg, three start-up companies share a farm. Here the entrepreneurs can get more land than in the city. In Bergum, the whole farm is about eight hectares.

4. EDUCATION FOR MUNICIPALITIES AND LANDOWNERS

Through the project Stadsbruk, a new method and education has been developed



Farming hub in Rosengård in the middle of Malmö
©jens_nordstrom

for those interested in starting Stadsbruk. “We help landowners on how to reach growers, what investments must be made and make suggestions for contracts,” says Lena Friblick. The interest of municipalities is large, both in Sweden and in other countries. “Many municipalities see that farming in the city can both create jobs but also contribute to biodiversity, security, knowledge and a green attractive city,” says Lena.

5. SUCCESSFUL ENTREPRENEURS

In addition to finding a method for landowners to use their land, the challenge was how to make urban farming profitable. “We had some good international examples, but saw that new methods and ways of thinking were required,” said Cyrille Gaubert at Xenofilia. In order to

help and support the growers, Stadsbruk started Sweden’s first incubator for urban farms. In the incubator, companies can participate as active farmers but also at the project planning stage. “We work before the growing season starts. It’s about studying customers, business models and finding new added values on top of the vegetable growing” says Cyrille.

At present there are 30 companies that are part of Stadsbruks incubator. The companies have different business models; some sell to restaurants, private customers, subscriptions or CSA. “A success factor is if you as an entrepreneur can have different layers of business to stand on, for example sale of vegetables, workshops and lectures. On small spaces it is interesting to have income that doesn’t directly come from your food production. There is a lot of value in the knowledge” says Cyrille.

Example: Happy Onion Farm

Happy Onion Farm was started in 2015 and has grown in size every year. “Now we grow on 2500 square meters and that’s right size,” says Charlotte Nycander, one of the founders of Happy Onion Farm. Together with Isolde Broekmans Krumholt, they run a CSA in the middle of Malmö. In the spring, customers buy a share in the company’s future harvest and during the season, customers receive vegetables every other week.

“For us, it’s good because we get income in the spring and do not have to wait for harvest,” says Isolde. Customers become co-owners of the harvest, which means that they share the risk together with the farmer. “For us, it is also a driving force to get to know and meet our shareholders. They are always welcome to the field which means we also create connection between people in that sense” says Charlotte.

Example: Kajodlingen

William and Jonas started farming in small pallet boxes in the port of Gothenburg. The



Happy onion farm. © Mia TJARNLUND



William and Jonas from Kajodlingen in Gothenburg
©jens_nordstrom



Isolde and Charlotte from Happy Onion farm in Malmö
©jens_nordstrom

first year they tested different vegetables and talked to restaurants in the city. “We aimed at the fine restaurants that have good quality and that are ready to pay our price” says William. The interest was great from the restaurants and when the city of Gothenburg offered the opportunity to rent a larger area in Frihamnen, Jonas and William chose to invest and take their chance.

The farming in Frihamnen takes place in boxes of a total of 250 square meters. In the boxes, William and Jonas grow mainly fast-growing and demanded salad varieties. Before the winter they are able to harvest some vegetables up to four times. “The restaurants build an amazing experience by offering their guests vegetables harvested on the same day,” says William. Through Instagram, Kajodlingen puts up pictures of which vegetables are available and the restaurants order directly. The vegetables are freshly harvested and delivered so that the restaurants that can serve the vegetables within a few hours.

In 2017, Kajodlarna also started direct cooperation with one of Gothenburg’s hotel restaurants, The Clarion Post Hotel. On the roof they built a greenhouse and 20 farming boxes. The restaurant buys the entire harvest and is allowed to decide what to grow. William and Jonas take care of the crops and harvest

for the restaurant. “It’s a way for us to secure income while giving the restaurant a new opportunity to manage goods and get freshly harvested vegetables.” says Jonas

A tip for new city farmers; Try to find a spot where you can be over time, 5-10 years. Maybe a park, maybe a roof top there’s a lot of value knowing that you have “your” space to experiment on.

6. LOOKING TO THE FUTURE

Now that a method has been found and experimented, our new challenge is to give more momentum to Stadsbruk. We believe strongly in collaboration to acquire and spread knowledge and therefore need to attract new cities to join the movement, learn from others and share their experiences. Opportunities and models to follow will therefore be created for urban farmers to run an economically sustainable farm.

BIBLIOGRAPHY

1. <http://kolonitradgardsforbundet.se/>
2. <https://www.vinnova.se/>
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Malm%C3%B6>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gothenburg>
5. <https://en.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4xj%C3%B6>





PARTE 2

TECNOLOGÍA Y DISEÑO

PART 2

TECHNOLOGY AND DESIGN

Edificio itdUPM.
itdUPM



CAPÍTULO 9

FACHADAS VERDES: EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Ignacio Solano

Director de Paisajismo Urbano

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la necesidad de proyectar jardines verticales en nuestras ciudades se está incrementando de manera exponencial, tanto por las exigencias de los ciudadanos que reclaman mayores zonas verdes en las ciudades como por las ventajas que supone en la lucha contra la contaminación y el ahorro energético, cubrir de jardines las fachadas de los edificios. Esta creciente demanda y concienciación es común a todos los territorios del planeta. Por este motivo, y gracias al aumento de la demanda, es cada vez más frecuente a la hora de cotizar proyectos, recibir solicitudes de empresas y gobiernos que se encuentran situados fuera de nuestro territorio nacional.

2. PROBLEMÁTICA DE LA REALIZACIÓN DE LA JARDINERÍA VERTICAL

Sin embargo, y pese a esa aparente globalización, proyectar la realización de una obra de jardinería vertical en el extranjero dista mucho de realizarlo en nuestro propio país.

En primer lugar nos encontramos con las dificultades logísticas. Si en ocasiones diseñar y coordinar un proyecto en nuestro propio país resulta complejo, hacerlo en otro del que a priori desconocemos la legislación referente a campos como la construcción, las aduanas o la gestión de la mano de obra, supone un obstáculo adicional. Y si bien la experiencia previa puede resultar determinante a la hora de salir airoso de esta situación, contar con un colaborador local que pueda proporcionar información de primera mano y realizar los trámites necesarios de manera directa resulta casi imprescindible.

En este aspecto, hay que considerar también la complejidad añadida que supone el envío de materiales de construcción entre diferentes países del mundo. No sólo es necesario tener en cuenta los tiempos de tránsito cuando se realiza la planificación de la obra, sino también la documentación necesaria, dependiendo del destino, para realizar los trámites aduaneros inevitables, y más teniendo en cuenta que los tiempos de las administraciones públicas difieren mucho de los tiempos de planificación de las empresas privadas, así como que cualquier



Jardín vertical en la Federación de Empresarios Privados de Cochabamba, Bolivia. Paisajismo Urbano.

contratiempo en la gestión supone una pérdida económica considerable.

También hay que considerar que, aunque decidamos trabajar con mano de obra local, el proyecto debe estar supervisado en todo momento por, como mínimo, uno de nuestros jefes de obra que lo dirija y se asegure de que el jardín se realiza siguiendo las directrices y estándares de la empresa ejecutora. Desplazar a parte de nuestro personal cualificado a un país diferente y durante semanas o meses supone una dificultad añadida más al proyecto,

así como un coste adicional que debe contemplarse desde la cotización inicial, incluyendo la previsión en tiempo de posibles injerencias que puedan retrasar la obra una vez que los trabajadores se encuentran en el territorio de destino.

Otro de los problemas al realizar un jardín vertical en el extranjero lo encontramos a la hora de realizar la selección de especies que vamos a utilizar. Obviamente no podemos utilizar las mismas que emplearíamos en nuestro país de origen, por lo que a la hora de realizar



Jardín vertical en el Edificio Celebra, Montevideo, Uruguay. Paisajismo Urbano.



Jardín vertical en el centro comercial Open Plaza, Ovalle, Chile. Paisajismo Urbano.

el diseño deberemos adaptarlo a las especies endémicas de la zona. Para ello será necesario realizar un estudio previo de las especies locales que pueden adaptarse de manera exitosa al sistema de jardinería vertical que vayamos a utilizar. Además, esto permitirá aportar al proyecto un valor botánico añadido, puesto que convertimos un simple jardín vertical en un reservorio de flora autóctona.

Por otro lado, también será necesario realizar un estudio del clima de la zona en la que va a realizarse el proyecto, analizando las temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones anuales, horas de sol, etc. De este modo, dentro de las opciones ofrecidas por la flora local, podremos seleccionar aquellas especies que mejor respondan ante las condiciones ambientales a las que van a estar expuestas.

Sin embargo, realizar un estudio adecuado sobre las especies vegetales endémicas, sus características, requerimientos y áreas de crecimiento es imposible desde la distancia. Por

ello, la mejor opción para obtener la información necesaria es realizar una expedición a una zona de interés, siempre que dispongamos de los conocimientos botánicos necesarios. De ese modo podremos comprobar en el propio territorio cómo las diferentes especies seleccionadas a priori van a responder en las condiciones reales que se darán una vez terminado el proyecto de jardinería vertical.

Nuevamente el tiempo es un factor que juega contra nosotros, pues debemos respetar el ciclo biológico de crecimiento de las plantas en las condiciones de temperatura y humedad que seleccionamos en las investigaciones de campo, así como prever las interacciones entre las diferentes especies para garantizar la creación de un ecosistema vertical que perdure en el tiempo.

Una vez realizadas todas las investigaciones previas y conocer cómo se comportarán las diferentes especies es momento de adaptarlo al proyecto real.



Jardín vertical del edificio Santalalía, Bogotá, Colombia. Paisajismo Urbano.

3. ANÁLISIS DE CASO: EDIFICIO SANTALAIIA EN BOGOTÁ

Un ejemplo de esta dinámica de trabajo sería el jardín vertical del edificio Santalaia, ubicado en Bogotá, y que ostenta actualmente el título de “jardín vertical más grande del mundo”.

Con una superficie vegetal de 3.116 metros cuadrados, lo realizamos en 2016, con la colaboración de la empresa colombiana Groncol.

A fin de lograr un óptimo desarrollo de este proyecto fueron necesarios ocho meses de planificación previa en los que se organizó la logística, se realizaron varias reuniones con los arquitectos responsables del proyecto, se coordinaron las actuaciones entre ambos países, se obtuvieron las licencias, autorizaciones y permisos necesarios, se enviaron los materiales y los tramitó la documentación aduanera en el país de destino, se realizaron los primeros bocetos del jardín vertical y se diseñó el sistema de riego que permitiría mantener en perfecto estado las más de 100.000 plantas que formarían parte de la cobertura vegetal.

Para la producción de los ejemplares necesarios para la cobertura vegetal trabajamos siempre con productores locales, por lo que el siguiente paso fue visitar diferentes viveros de la zona para facilitarles el listado de especies requeridas y determinar los tiempos en los que iba a ser utilizada cada especie y en qué cantidad, puesto que dadas las dimensiones del proyecto la plantación tuvo que realizarse en diferentes fases, así como el acopio de plantas. El tiempo final de ejecución fue de ocho meses.

Actualmente, el jardín vertical del edificio Santalaia se ha convertido en una referencia a nivel mundial no sólo por su tamaño, sino por su exitoso desarrollo y el valor botánico que le confiere la presencia de plantas endémicas.

4. BIBLIOGRAFÍA

Briz J, Köhler M, De Felipe I (2016). “Ciudades verdes en el mundo” Editorial Agrícola. Madrid. Bogotá

Solano I (2016) “La guía definitiva del jardín vertical” Editorial Circulo Rojo



Jardín vertical del edificio Santalaia, Bogotá, Colombia. Paisajismo Urbano.



ORLO
SO NITI
BROJIN
LAKSON
KURTI M

ALUMINUM

CAPÍTULO 10

INVERNADEROS EN AZOTEAS: UNA ALTERNATIVA DE FUTURO PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Valentina Oquendo¹, Lucía Muñoz Martín², Luis Ruiz García^{1,2}

¹Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano. ETSIAAB. Universidad Politécnica de Madrid.

²AGROHUERTO. <https://www.agrohuerto.com>

1. INTRODUCCIÓN

Son muchas las posibilidades y ventajas que ofrece la agricultura urbana, como aprovechamiento de las zonas superiores de los edificios, tales como terrazas, cubiertas y azoteas. En este capítulo vamos a ver cuáles son los beneficios de los invernaderos en azoteas y por qué van a ser más importantes en las ciudades del siglo XXI.

Dentro de no mucho tiempo, cultivar en azoteas será una cuestión de necesidad, algo más allá de aspectos estéticos o mera presunción. Quizás por eso es tan importante conocer ahora, en el presente, por qué y cómo deberían ser los invernaderos en azoteas.

Los principales problemas o retos a los que debe dar respuesta la agricultura urbana son el

cómo alimentar a una población mundial en crecimiento y que cada vez está más concentrada en las ciudades.

1.1 Superpoblación mundial

Durante este siglo se espera un fuerte incremento de la población mundial. Según las estimaciones elaboradas por la Naciones Unidas, para el año 2050 la población mundial superará los 9.000 millones de habitantes. Y para el año 2100 seremos ya más de 11.000 millones de personas los que poblaremos el planeta tierra.

1.2. Migración del campo a la ciudad

La población mundial se está concentrando en las ciudades. Según datos publicados por Habi-

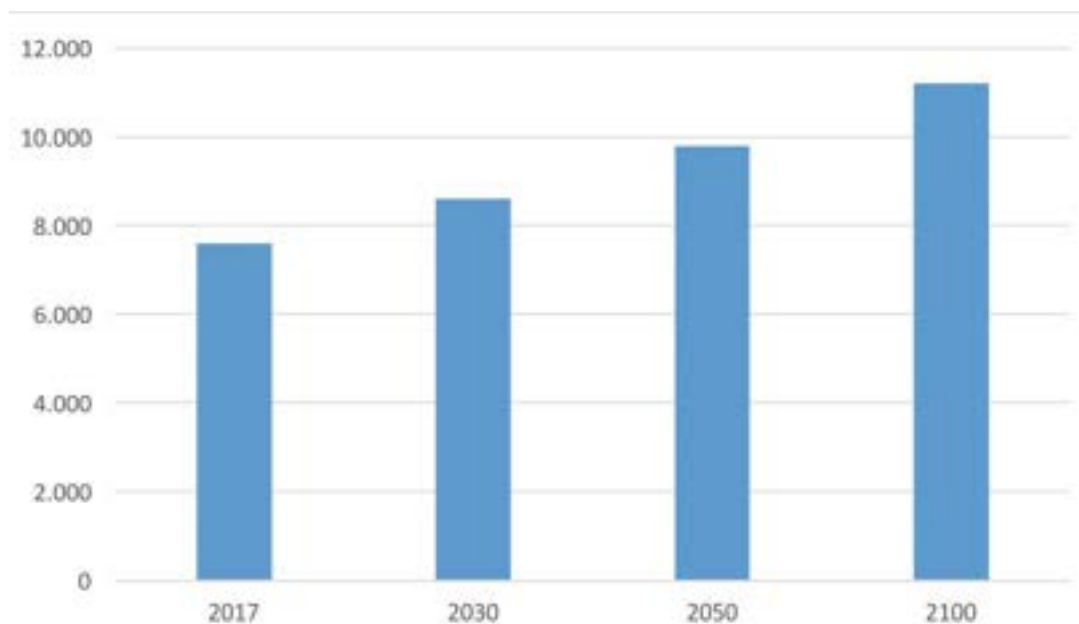


Figura 1: Estimación del crecimiento de la población mundial, en miles de millones de habitantes, según datos de Naciones Unidas

En 2017, la Agencia de las Naciones Unidas para la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible, el 54,5% de la población mundial ya vive en las ciudades, llegando al 75% en Europa y al 82% en Estados Unidos

Además de que la población continuará creciendo notablemente en los próximos decenios, se espera que continúe la migración del campo a la ciudad. Según estimaciones del Banco Mundial, en el año 1950 el 30% de la población mundial vivía en ciudades. Sin embargo, para el año 2050, se estima que el porcentaje de personas que vivirá en las ciudades sea superior al 70%.

¿Cómo podemos producir alimentos de una forma sostenible, para una población cada vez mayor y más concentrada en ciudades?

Una de las soluciones, o formas complementarias de producir alimentos, pensamos que será la agricultura urbana en altura y dentro de ella, los invernaderos en azoteas. Este tipo

de nuevas instalaciones, puede complementar a la agricultura convencional que se realiza en las áreas rurales y a las otras formas de agricultura urbana existentes.

2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN AGRICULTURA URBANA

Dentro de la agricultura urbana en altura, podemos distinguir tres diferentes formas o sistemas de producción:

- Producción al aire libre
- Fábricas de plantas o "Plant factories"
- Invernaderos en azoteas

Veámoslos más en detalle uno por uno.

2.1. Producción al aire libre

La producción al aire libre en terrazas y azoteas tienen múltiples ventajas, como el disponer de iluminación natural, requerir una menor inversión y menor necesidad de conocimientos

técnicos que otras soluciones más complejas como las *"Plant factories"* y los invernaderos en azoteas, que veremos a continuación.

En definitiva se trata de la forma más simple de producir en altura. Otra ventaja es que no necesitan un espacio adicional, pues se desarrollan en superficies urbanas existentes que no se utilizan o que están infrautilizadas, como son la mayoría de las azoteas y terrazas de las ciudades en las que vivimos.

Su principal limitación es debida también a su simplicidad. Al producir al aire libre, y no realizar un aprovechamiento en vertical del espacio, su producción será siempre menor, poco relevante en términos generales, y por lo tanto insuficiente para suministrar alimentos al conjunto de la población de las ciudades. Es fácil entenderlo, si uno se imagina el ejemplo de un edificio de 20 o más plantas, habituales en las ciudades más pobladas del mundo, en el que pueden vivir más de mil personas y solo se dedica a producir alimentos la superficie

correspondiente a la azotea. Esta área productiva no llegaría nunca a cubrir la demanda de alimentos de los habitantes del propio edificio, aunque si podría tener otras funciones como lugar de ocio, convivencia vecinal y bienestar social que también son muy interesantes. Además, su uso extendido en muchos edificios, al incrementar la superficie verde, también ayudaría a mejorar la calidad del aire de las ciudades y a mitigar el cambio climático.

Además, este tipo de soluciones, suelen requerir de suelo natural, lo que supone traer tierra vegetal de fuera de la ciudad, con el incremento de los costes y de la huella ecológica y una pérdida considerable de su carácter sostenible.

2.2. Fábricas de plantas o *"Plant factories"*

Las *"Plant factories"* son un tipo de instalación, de reciente creación, en la que plantas crecen en un ambiente muy controlado, la que se caracteriza por uso muy intensivo de algu-



Producción al aire libre en azotea de edificio en Shanghái (Fuente: Agrohuerto.com)

nos medios de producción como son la luz y el espacio. Los nuevos sistemas de iluminación artificial basados tecnología led, permiten modular tanto la intensidad, como el ancho de banda de la luz que reciben las plantas, reduciendo el tiempo de los ciclos de producción. Otra característica destacable de estas instalaciones, es la utilización de sistemas de agricul-

tura vertical, ya sea mediante estanterías de cultivo, murales, columnas u otros sistemas, que consiguen un mayor aprovechamiento del espacio.

Su principal ventaja es que son capaces de realizar una producción masiva de hortalizas y verduras. Otra ventaja es que no necesitan



Meiji Univesity plant factory



Invernadero Lula Farms en Montreal (Canadá)

suelo, pues suelen emplear sistemas con sustratos artificiales o mediante cultivo hidropónico. Y en cuanto a la logística alimentaria de las ciudades, como estas fábricas de plantas producen alimentos de "kilometro 0" (producidos en la misma ciudad), desaparece la necesidad de transportarlos desde largas distancias, con el consiguiente impacto medioambiental y económico.

Sin embargo, la alta tecnificación que requieren, así como el coste y la complejidad de los equipos que utilizan, las convierten en una alternativa económicamente inviable a día de hoy. Además de la fuerte inversión que se necesita para la construcción y mantenimiento de las instalaciones, hay que añadir el coste de la energía que consumen, lo cual hace que no sean rentables.

Tal vez a medio plazo, los avances tecnológicos que se esperan para los próximos años, y unos menores costes energéticos, podrían hacer que estas instalaciones empezasen a ser rentables.

Otro inconveniente que tiene este sistema de producción es la necesidad de espacio. Están diseñadas para ser instaladas en naves industriales, edificios completos, y si se extiende su uso, la demanda de este tipo de superficie sería enorme y dificultaría su uso en ciudades ya de por sí muy urbanizadas, como las grandes megaurbes de Asia.

2.3. Invernaderos en azoteas

Otra solución de agricultura en altura, y de la que se ocupa principalmente este capítulo, son los invernaderos en azoteas. Los invernaderos en azoteas suponen un punto intermedio y de equilibrio entre los huertos en azoteas y las "Plant factories", vistas anteriormente.

También producen alimentos de "kilometro 0", que consumen donde se producen, como las dos soluciones anteriores, con los que eliminamos la necesidad de transportar desde largas distancias frutas y hortalizas. Y además, el construir invernaderos no tiene necesidad de nuevos espacios, ya que se pueden cons-

truir en las azoteas o terrazas de los edificios existentes, aprovechando espacios infrautilizados, o integrarlos en la construcción de los nuevos edificios de las ciudades.

Ya se han construido los primeros en países como Canadá (ver imagen 3), Estados Unidos, Francia y China. Y hay proyectos para construir más en Holanda, España y otros países europeos.

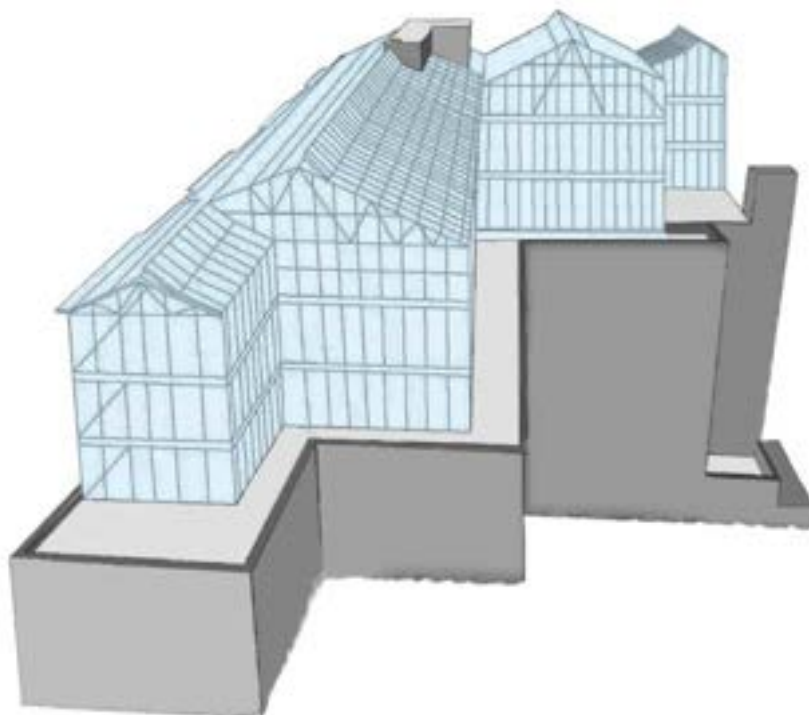
Al disponer de una estructura resistente, se pueden hacer invernaderos de varias plantas, lo cual permite un aprovechamiento del espacio en vertical, que no realizan los huertos urbanos o las cubiertas verdes. Este uso del espacio vertical "sin límites", el poder hacer invernaderos de 3, 4, 5 o más plantas, convierte a la producción en invernaderos en un sistema capaz de producir frutas y verduras de forma masiva, posibilitando cubrir una parte importante del suministro necesario para las ciudades.

Tampoco necesitan suelo natural porque se puede utilizar sistemas de cultivo con sustratos inertes (que pueden ser materiales reciclados), o producir sin suelo con sistemas de cultivo hidropónicos o aeropónicos

Una ventaja de los invernaderos frente a las "Plant factories" es que utilizan por defecto la luz natural, que puede ser reforzada en caso de necesidad con iluminación artificial. Esto hace que la demanda de energía en los invernaderos sea menor y los hace más viables económicamente.

Además, al estar en las azoteas, disponen de mayor luz directa del sol (menos sombra) y mayor viento, que los sistemas de cultivo urbano a ras de suelo. Esto facilita el uso de energías renovables como la fotovoltaica o la eólica. El uso combinado de estas dos fuentes de energía, dependiendo de la latitud y fuerza del viento, podrían llegar a cubrir la necesidades energéticas de los invernaderos, que son

Figura 2:
Esquema de invernadero de varias plantas en azotea de edificio urbano



debidas al consumo de los equipos de control para la ventilación, temperatura, los sistemas de fertirrigación, etc.

Probablemente su principal inconveniente sea la inviabilidad técnica de instalar los invernaderos en los edificios que no disponen de azotea o en los que la azotea existe, pero no sería capaz de soportar el peso de la estructura necesaria.

Otro inconveniente es el desconocimiento por parte de la sociedad de este tipo de soluciones. Con ello hacemos referencia tanto a los ciudadanos que podrían solicitar o demandar la construcción de un invernadero en su edificio, como a otros actores responsables de las actuaciones urbanísticas, como son los políticos, arquitectos o empresas inmobiliarias, que no contemplan de momento incluirlos entre sus actuaciones.

De este desconocimiento, vienen los impedimentos en materia legal o de normativa urbanística, que hacen que hoy en día esté prohibido construir invernaderos en las azoteas de los edificios de muchas de nuestras ciudades.

3. NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA INVERNADEROS EN AZOTEAS

Ya que queremos hacer invernaderos en azoteas, hagamos porque sean lo más sostenibles posible. Hay una serie de nuevas tecnologías, susceptibles de ser aplicadas a los invernaderos, que pueden disminuir su huella ecológica, haciéndolos mucho más respetuosos con el medio ambiente.

3.1. Enriquecimiento de aire con CO₂

La utilización de aire enriquecido con CO₂ (1.000-1.500 ppm) en los invernaderos, se ha demostrado que acelera la producción hortícola, gracias a la reducción de los ciclos de los cultivos. Por ejemplo, una lechuga romana con la que se obtienen 5,9 ciclos de producción por año. Si se cultiva en un invernade-

ro con aire enriquecido con CO₂, puede llegar a los 7,6 ciclos, incrementando un 29% su producción. Varios autores han destacado la utilidad de estos sistemas para la agricultura urbana, como forma de reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera (Cheung, et al. 2014 y Thayer, 2015).

El aire que respiramos tiene una concentración de CO₂ de 800-1200 ppm, que es la adecuada para potenciar el crecimiento de los cultivos. Por tanto, si en los edificios se canalizara el aire respirado por las personas hasta los invernaderos de las azoteas, sería una forma de potenciar el desarrollo de los cultivos y disminuir el CO₂ emitido.

3.2. Energías alternativas/ renovables

Tal y como hemos mencionado, hay dos energías renovables, la eólica y la solar fotovoltaica, que se pueden aplicar a los invernaderos en altura.

En el ámbito de la energía eólica, en los últimos años se han desarrollado nuevos modelos de microturbinas que ocupan poco espacio y pueden ser instaladas en las cubiertas de los invernaderos. Estos nuevos modelos de turbinas son capaces de producir 0.5-1 kW, funcionando con vientos que van desde los 3 m/s hasta 40 m/s (HomeEnergy, 2017).

En cuanto a la energía solar fotovoltaica, también hay nuevos desarrollos que la hacen más útil e interesante para su instalación en invernaderos. Varias empresas han desarrollado paneles solares translúcidos e incluso transparentes, que dejan pasar cierta parte del espectro de la luz solar para que la utilicen los cultivos, y utilizar otra parte para producir energía eléctrica. Esto supone un avance formidable, que posibilita la instalación de este nuevo tipo de paneles en las cubiertas de los invernaderos, sin necesidad de requerir superficies adicionales. Hay varias empresas como www.onyx-solar.com y www.britesolar.com que ya los comercializan.

Con la utilización combinada de estas dos fuentes de energía, en su localización en las azoteas de los edificios, se puede lograr la autosuficiencia energética de los invernaderos, tal y como se ha mencionado.

3.3. Reciclado y captación aguas

Aguas grises

El reciclado y reutilización de aguas grises está adquiriendo cada vez más importancia. Estas aguas, con ligeros y simples tratamientos de filtración y decantación pueden ser utilizadas como agua de riego.

Esto sería de gran utilidad en invernaderos situados en azoteas, ya que para los residentes de los edificios supondría una disminución muy importante del agua que necesitarían tomar de la red pública para regar los cultivos, con el consiguiente ahorro económico.

Captación de agua de lluvia

También sería conveniente, que los invernaderos tuvieran un sistema de captación del agua de lluvia, con el uso de canalizaciones y

aljibes. Esto adquiere aun mayor importancia en países con climas secos, donde el agua es un bien escaso y también en países con lluvias torrenciales, donde la captación de agua en los tejados puede servir para amortiguar o reducir las inundaciones.

Atrapanieblas

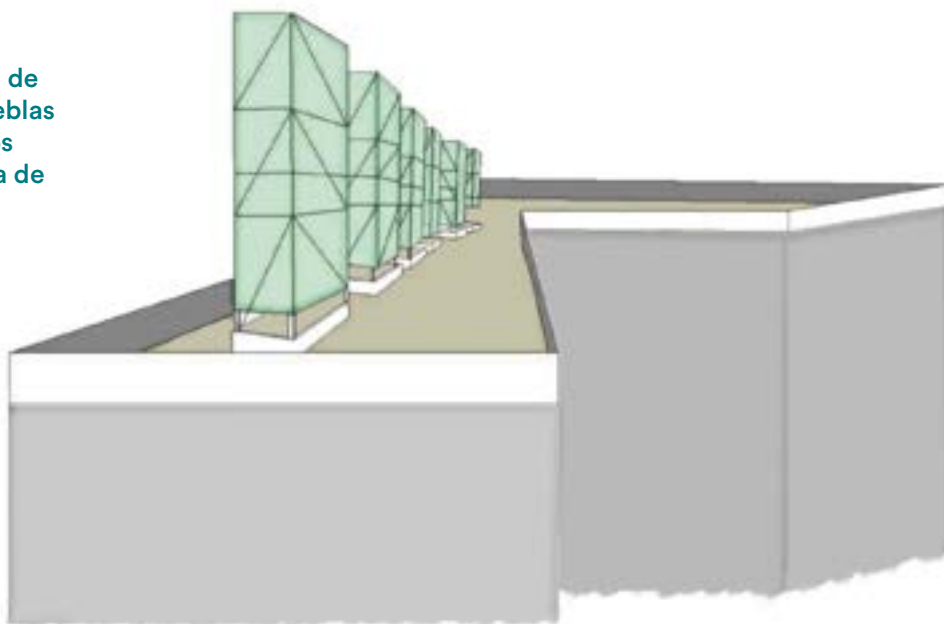
También relacionado con la captación de agua, se han inventado recientemente, diferentes tipos de sistemas que consiguen captar o atrapar el agua de las nubes (ver figura 3). Esto puede ser útil en determinadas ciudades, donde se producen frecuentemente nieblas.

3.4. Optimización del espacio: agricultura vertical

Los nuevos sistemas de cultivo vertical, aplicados tanto en los huertos, como en jardines o en el interior de invernaderos, permiten un uso más eficiente del espacio, al ser posible cultivar en varios niveles (ver imagen 4).

Existen multitud de tipologías, diseños y patentes. En función de las necesidades agronómicas del cultivo será conveniente utilizar unos u otros.

Figura 3:
Esquema de
atrapanieblas
instalados
en azotea de
edificio





Sistema de cultivo vertical en aeropuerto O'Hare, Chicago

4. CONCLUSIONES

Los invernaderos en azoteas son una opción muy interesante dentro del ámbito de la agricultura urbana y que hasta la fecha no ha sido prácticamente utilizada.

Podrían llegar a convertirse en una forma de producción muy relevante para el suministro de frutas y verduras a los habitantes de las ciudades, de una forma sostenible y controlada.

Actualmente, las principales barreras que existen para la extensión de su uso son el desconocimiento de una parte de la sociedad, las normativas urbanísticas municipales y los requerimientos estructurales de los edificios.

Los nuevos avances tecnológicos en cuanto a suministro energético, sistemas de cultivo vertical, utilización de aguas grises, etc., mencionados en este capítulo, pueden convertirlos en una importante contribución para mitigar los problemas de contaminación y cambio climático que sufren nuestras ciudades.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Agrohuerto.com, 2017. Blog sobre huertos y agricultura urbana. <https://www.agrohuerto.com/>*
- Banco Mundial, 2017. Sitio web del Banco Mundial. <http://www.bancomundial.org>*
- Cheung, K P, et al., 2014. Innovative Urban Roof Greenhouses enriched with carbon dioxide breathed out by human beings. International Ecocity and Green Roof Conference, Qingdao, China, 19-22 October 2014. <http://icee.hku.hk/chinachem01.pdf>*
- Home Energy, 2017. Energy ball. <https://www.homeenergy.nl/en-gb/about>*
- Thayer, R. H. 2015. Eco Enterprises. Carbon Dioxide Enrichment Methods https://www.hydrofarm.com/resources/articles/co2_enrichment.php*
- ONU-Habitat, 2017. Agencia de las Naciones Unidas para la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible. <https://es.unhabitat.org/>*
- UN, 2017. Sitio web de las Naciones Unidas. <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>*



*Sistema hidropónico y de agropiscicultura en un invernadero en la azotea.
La Haya. C. Diebel*

CAPÍTULO 11

DISEÑO DE EQUIPAMIENTO VERDE URBANO COMO COMPLEMENTO FUNCIONAL DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDES

Nuria Preciado
Metro Huerto

1. INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en el primer siglo urbano, es decir el siglo en el que los humanos hemos comenzado a ser numéricamente una **especie urbana** (Pickett, S.T.A., 2010). Un siglo que nos depara importantes cambios climáticos que amenazan a las ciudades, con efectos tales como islas de calor o disminución de precipitaciones.

Afrontamos esta situación desde las ciudades que hemos heredado, ciudades extremadamente vulnerables a estos cambios, que fueron diseñadas sin tener en cuenta los elementos naturales como ejes de planificación. Como consecuencia, nuestras ciudades no se benefician de los servicios ecosistémicos que el verde urbano y el de su entorno pueden aportarnos. Algunos de ellos son claves para este trabajo, como la regulación de la calidad del aire, en su capacidad de retener gases y partículas contaminantes y en la regulación térmica; el control biológico que regula plagas

y la polinización que garantiza las cosechas agrícolas y de plantas medicinales; también el conocimiento científico de procesos ecológicos; el disfrute estético de lo natural que supone bienestar e inspiración; o la educación ambiental que permite comprender y valorar el funcionamiento de los procesos ecológicos en la ciudad.

En este entorno, casi nos hemos olvidado de que nuestra especie, a pesar de ser “especie urbana”, es una especie biófila. La biofilia, término acuñado por el ecólogo y sociobiólogo Wilson en 1984 habla del vínculo y del afecto que el hombre mantiene con las plantas y con otros organismos vivos, su predilección inherente por la naturaleza. Incorporar esta tendencia natural humana en el diseño de ciudades supondría pues, el incremento del bienestar del ciudadano y, en último término, de la salud pública. (Wilson. 1984)

La Comisión Europea, sensible a esta situación, desarrolla en 2013 la Estrategia “Infraes-

estructura Verde: mejora del capital natural de Europa". Este hecho supone un punto de inflexión en la relación que las ciudades europeas tienen con su paisaje habitual (Salbitano, F. en prólogo a Calaza-Martínez, P.). En ella se pone el foco en la ecoplanificación de la ciudad que promueve la conexión del sistema de espacios verdes urbanos con los de su entorno; permite integrar los procesos ecológicos, y persigue una articulación física y funcional de lo natural en lo construido, de lo verde en lo gris, de la naturaleza en la ciudad (Calaza, P., Infraestructura Verde. Sistema natural de salud pública.2017).

Se entiende la infraestructura verde urbana, como una red interconectada de diferentes elementos naturales de todos los tamaños y tipologías que incluyen: todo tipo de zonas verdes, parques, jardines, corredores verdes, arbolado urbano, cubiertas verdes, jardinería vertical, huertos urbanos... Si bien el tamaño de los espacios verdes es importante en los beneficios que proporciona a la salud, también los de pequeño tamaño proporcionan beneficios ambientales (Oliveira et al, 2011), que se ven, a su vez, potenciados por el efecto que la capilaridad de lo verde puede ofrecer al conjunto.

En este contexto, el verde urbano se convierte en "una pieza fundamental del cambio de modelo hacia una ciudad para pasear, viva y saludable". Así lo reconoce la ciudad de Barcelona en su Programa de Impulso de las Infraestructuras Verdes (2017). Barcelona, consciente de que la densidad y consolidación de la trama urbana dificultaba su objetivo de aumentar los espacios verdes, ha diseñado diferentes líneas estratégicas, algunas de ellas planteadas desde la escala de intervención a detalle en el escenario urbano que nos interesa en este trabajo:

- Incrementar la infraestructura verde a través de la recuperación de interiores de manzana; el ajardinamiento temporal de solares; la intervención en la vía pública, en cubiertas, azoteas y patios de edificios para incrementar el verde; y el enverdecimiento de muros y medianeras.

- Mejorar la infraestructura verde existente: favoreciendo estructuras para el refugio, alimento y reproducción de la fauna urbana; y naturalizando las balsas ornamentales.

- Es de destacar también la importancia que le otorgan al papel del ciudadano para extender el conocimiento del valor de la naturaleza urbana y para fomentar el verde privado (huertos, balcones, azoteas, cubiertas, muros y patios). Como ejemplo la acción ya puesta en marcha "Quien tiene una azotea tiene un tesoro" que ofrece ayudas económicas a proyectos de enverdecimiento de azoteas comunitarias.

También el Ayuntamiento de Madrid ha comenzado a desarrollar una estrategia de aumento y mejora de la naturaleza en la ciudad, a través de una propuesta denominada Madrid Más Natural, en la que prevé trabajar a diferentes escalas de intervención con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático. De este modo han esbozado un conjunto de acciones con valores para una serie de parámetros: olas de calor, inundaciones, sequía, biodiversidad y calidad del aire. Al nivel más localizado, que interesa para el presente trabajo, destaca:

- Ajardinamiento de plazas duras
- Naturación de azoteas y fachadas, tanto de edificios públicos como privados
- Generación de microclimas de agua y restauración de láminas de agua urbanas.

Estos ejemplos no son aislados, más bien las ciudades españolas grandes y medianas, están experimentando una tendencia de aumentar el verde urbano a todos los niveles, desde las macro escalas de planificación, hasta las intervenciones de acupuntura urbana a escala localizada, en la que aquí nos enfocamos.

Así pues este trabajo espera contribuir a la mejora de la salud de las ciudades, generando elementos que mejoran la calidad del aire que

respiramos, dentro y fuera de los edificios, el agua de nuestros espacios públicos y el conjunto de la biodiversidad urbana, para restablecer las dinámicas naturales y los procesos ecológicos.

2. METODOLOGÍA

En el contexto mostrado, un grupo de profesionales de diferentes áreas (biólogos, ambientalistas, ingenieros y diseñadores de producto), nos unimos para crear un nuevo concepto capaz de ofrecer micro soluciones a la mejora localizada de la calidad ambiental y el confort: el Equipamiento Verde Urbano.

Nuestra intención es desarrollar elementos verdes de pequeño formato, modulables, asequibles y flexibles en su instalación, con los que realizar una acupuntura verde en espacios donde no tiene cabida la vegetación con formatos convencionales, y con capacidad de filtrado de aire, aumento de la humedad ambiental y fomento de la biodiversidad.

Partimos de las siguientes consideraciones a tener en cuenta en el diseño:

- Desarrollar esquemas de plantación con calidad estética, pero orientados por un lado a la mejora de la calidad del aire y por otro al fomento de la biodiversidad.
- Generar capilaridad y conectividad entre las diferentes tipologías del verde urbano en la red de infraestructuras verdes, trabajando a una escala micro de edificio, vía pública o interior de zona verde.
- Ofrecer condiciones para la generación de conexiones funcionales entre individuos de una misma especie en un territorio fragmentado.
- Crear elementos multifuncionales que, además de sus beneficios ambientales, informen y sensibilicen al ciudadano, y puedan ser utilizados para el desarrollo de conocimiento científico.

- Crear elementos modulables, capaces de adaptarse a diferentes espacios e ir creciendo en superficie.
- Instalación sencilla y reversible, de modo que puedan ser aplicados temporalmente a diferentes espacios “calientes” en cuanto a contaminación o biodiversidad.
- Bajo mantenimiento y durabilidad.
- Diseñar a partir de materias provenientes de reciclado para contribuir a la economía circular.

Materiales

Para la plantación utilizamos un geotextil de poliéster elaborado a partir de plástico y textiles reciclados, ya probado comercialmente en sacos de cultivo, que ofrece propiedades muy interesantes: aireación, liberación del exceso de calor, resistencia, inocuidad y estética.

Para la estructura empleamos ferralla de hierro sobre la que se instalan con facilidad todos los elementos necesarios y permite el llenado con diferentes tipos de gavión para obtener estabilidad, estética y de paso un refugio de primer nivel para insectos y reptiles.

En los casos en los que resulte necesario, instalamos oculto en la estructura y el gavión, depósitos de agua con sistema de bombeo y riego automatizado, dimensionados para tener una autonomía de al menos una semana, en las épocas de más calor.

Tipologías

Orientadas a diferentes espacios y funciones, según las demandas que encontramos en la escena urbana:

- a) Naturación de láminas de agua ornamentales y fomento de la fauna acuática.
- b) Creación de muros-hábitat y fomento de aves y mariposas.
- c) Naturación vertical y en cubiertas para mejora de la calidad del aire.

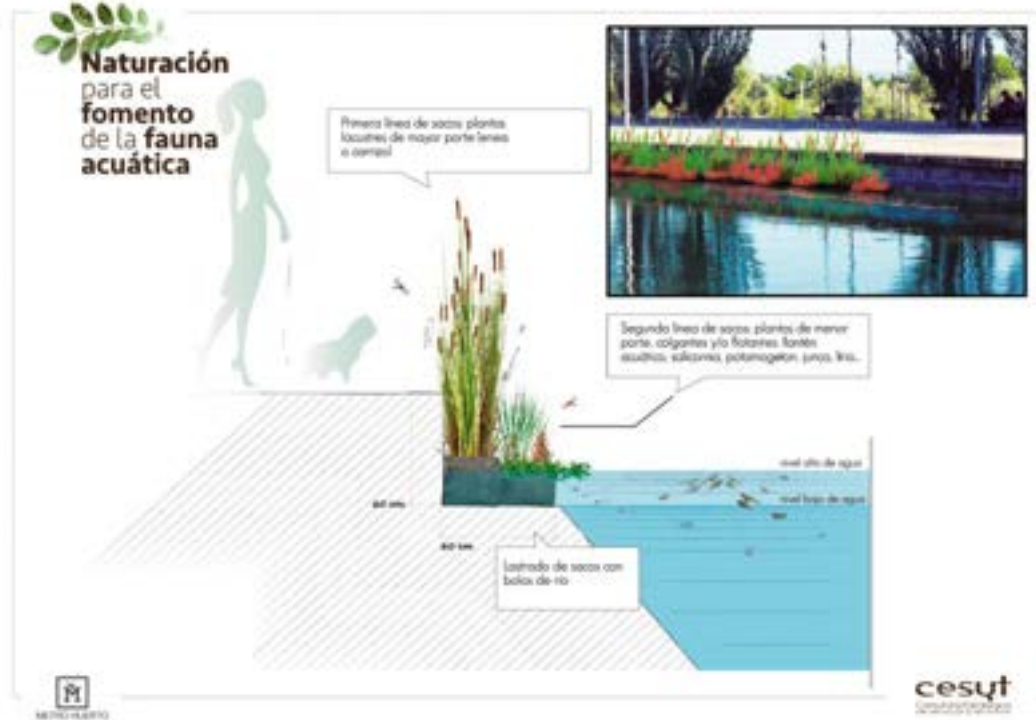


Figura 1

a) Naturación de láminas de agua ornamentales y fomento de la fauna acuática.

Se trata de un sistema de plantación muy sencillo a base de sacos de geotextil porosos, pero resistentes a la perforación por parte de las fuertes raíces de las plantas lacustres. Se sumergen en las láminas de agua, pudiendo adaptarse en su confección a los diferentes espacios. La gran ventaja es que las plantas se desarrollan de forma controlada y evita mantenimientos de limpieza costosos, característicos de humedales urbanos. Por otro lado, la porosidad permite que las raíces ejerzan una función depuradora. El esquema de plantación utilizado ofrece refugio y alimento a la fauna acuática (anfibios, insectos y alevines), por lo que se convierte en un elemento de gran valor para el fomento de la biodiversidad. Figura 1.

b) Creación de muros-hábitat para fomento de aves y mariposas.

Hemos creado elementos que pueden ser instalados unitariamente apoyados sobre muro o bien exentos, lo que duplica su superficie funcional. También se pueden articular varias unidades para componer elementos de mayor superficie. El esquema de plantación desarrollado toma en cuenta las especies que mejor se adaptan a las duras condiciones urbanas y que ofrecen fruto para aves frugívoras en otoños, invierno y verano, así como alimento para orugas de algunas mariposas que pueden desarrollarse bien el medio urbano. Se completa con planta melífera que aporta alimento a los insectos polinizadores.

El conjunto se puede completar con diversos elementos como diferentes tipos de cajas nido

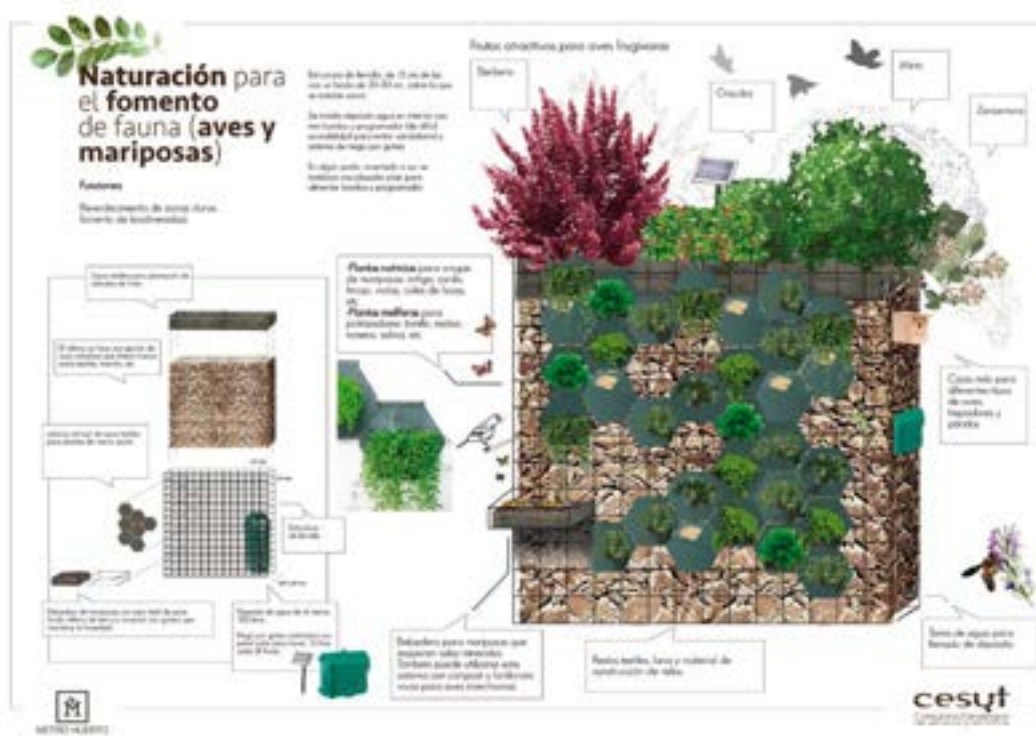


Figura 2

para pájaros y murciélagos, materiales para la construcción de nidos, bebederos para licénidos, comederos con lombriz para insectívoros, etc. Figura 2.

c) Naturación vertical y en cubiertas para mejora de la calidad del aire.

Sobre estructuras diseñadas para cada una de estas tipologías se fijan sacos de geotextil con sustratos muy ligeros (piedra volcánica, sphagnum) y capaces de absorber agua y dejarla disponible para las necesidades de la planta. Las estructuras verticales se diseñan para espacios en la vía pública, como barandillas de separación de aceras y calzadas, medianas o isletas no transitables entre calzadas, etc. Las estructuras de cubierta para azoteas, cubiertas de marquesinas y otros elementos urbanos. La estructura eleva el saco de cultivo

de modo que las cubiertas no han de ser impermeabilizadas, si no que el sobrante de los sacos desagua por el drenaje existente de la cubierta. Sin embargo ofrecen todos los beneficios de las cubiertas verdes (amortiguación de la temperatura del edificio, retención de agua de lluvia, mejora de la calidad del aire, etc). El esquema de plantación se diseña a base de plantas crasas con pilosidad y alto índice foliar para retener el máximo de partículas PM10. Figura 3.

3. CONCLUSIONES

Las ciudades están cambiando su modelo de integración del verde en el espacio urbano. Los responsables municipales y los ciudadanos están cada vez más concienciados de la necesidad de trabajar hacia modelos de ciudades saludables. Para ello se hace necesario

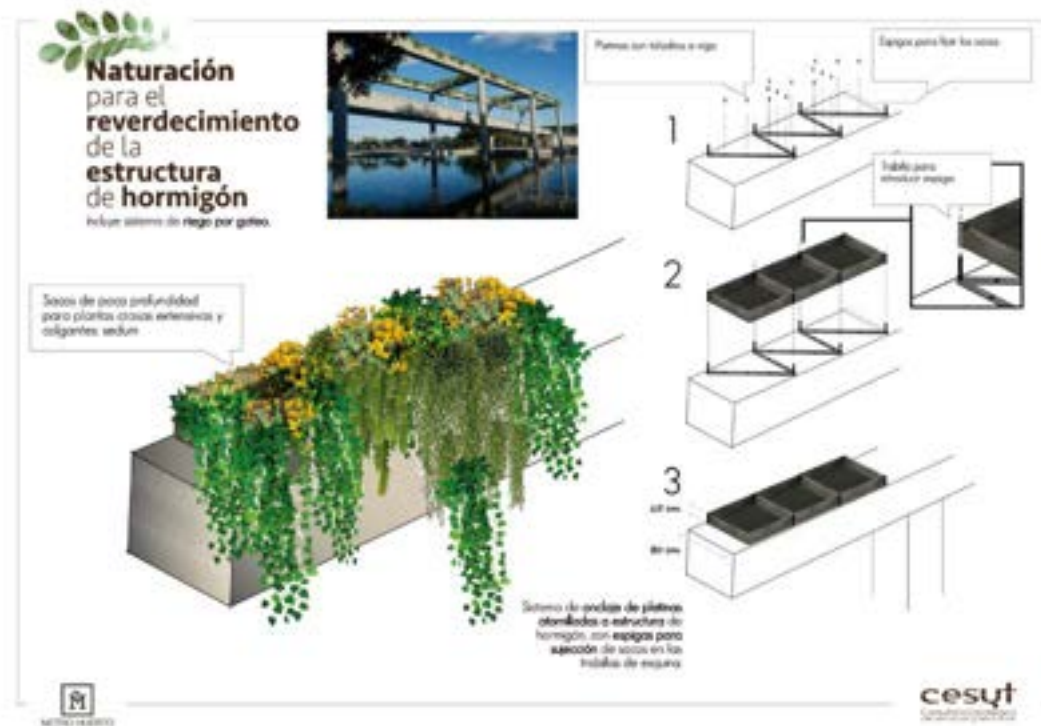


Figura 3

desarrollar nuevas formas de naturar, centradas en complementar y mejorar los servicios ecosistémicos de los espacios verdes.

Se abre un importante camino a la investigación y desarrollo de elementos innovadores, tanto en su estructura e instalación, como en la selección de las plantas más adecuadas.

El avance sobre estos desarrollos generará un incremento paulatino de la capilaridad funcional del verde urbano. A mayor capilaridad, mayor efecto sobre la calidad del aire local y la biodiversidad urbana.

4. BIBLIOGRAFÍA

Ayuntamiento de Madrid. "Madrid Más Natural. Adaptación al cambio climático basada en la naturaleza"

Comisión Europea. 2013 "Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa". Bruselas

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2016.. "La evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Guía para comunicadores y periodistas. Fundación Biodiversidad

"Programa de impulso de la infraestructura verde urbana". 2017. Ajuntament de Barcelona.

Calaza-Martínez, P. 2017. "Infraestructura Verde. Sistema Natural de Salud Pública".

Oliveira, S., Andrade, H. & Vaz, T. 2011. "The cooling effect of Green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case of study in Lisbon".

"Users Manual on the Singapur Index on Cities Biodiversity". Chan, L., Hillel, O., Elmgvist, T., Werner, P., Holman, N., Mader, A. & Calcatera, E., 2014.

Wilson. (1984) Biophilia. Harvard University Press.

CAPÍTULO 12

SUSTRATOS DE CULTIVO EN LA AGRICULTURA EN ALTURA

Alberto Masaguer

ETSIAAB. Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura urbana, entendida como el conjunto de prácticas agrícolas para la producción de alimentos y plantas ornamentales realizadas en el interior de las ciudades, ha permitido el desarrollo local, mejorar la calidad, recuperar espacios urbanos y mejorar el paisaje urbano. Pero se puede dar un paso más, ayudados por la técnica y la tecnología, para conseguir un incremento de la superficie utilizable y acceder al cultivo en altura. Esto implica hacer cultivos en las cubiertas de edificios y en sistemas verticales.

Este tipo de agricultura urbana incorpora la vegetación en las ciudades con la finalidad de amortiguar el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente. Por lo que se sugiere el diseño de ciudades sostenibles donde se implemente la vegetación, se recicle, se reduzcan y se reutilicen los residuos orgánicos generados en el propio ámbito urbano, al mismo tiempo que se producen alimentos dentro de la propia ciudad con un consumo cero en el transporte, cosechando en

el momento justo de madurez y consumiendo el producto de forma inmediata, ganando por tanto en calidad organoléptica.

En el caso de la agricultura urbana la producción es normalmente escasa, por lo que la función principal de estos espacios es su impacto en la cohesión social y la generación del sentimiento de pertenencia a la comunidad casi inmediatos. Sin embargo, los beneficios de los huertos urbanos podrían ir más allá, pues las redes socio-culturales que se establecen no solo contribuyen a cambios comportamentales puntuales y a corto plazo, sino que podrían llevar a cambios estructurales de calado. (Sanz y col., 2017).

Uno de los elementos a considerar en la construcción y éxito de los cultivos en contenedor para plantas hortícolas, aromáticas, culinarias y ornamentales son los sustratos de cultivo, de igual manera que lo son los suelos naturales en la producción agrícola convencional. El sustrato de cultivo requiere estar constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que ésta



Huerto en la terraza del Hotel Wellington de Madrid.

toma el agua, los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para la actividad productiva (Masaguer y col. 2014).

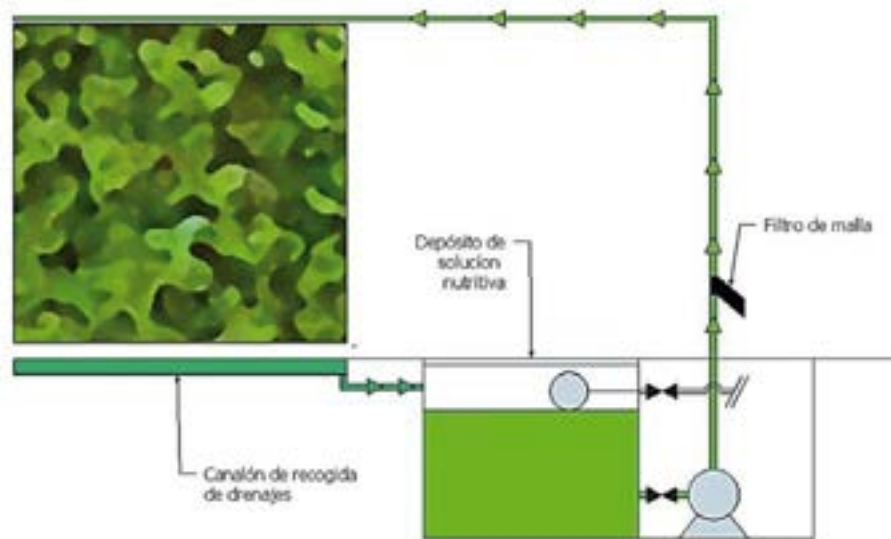
En los proyectos de agricultura en altura se puede optar por diferentes soluciones constructivas que condicionan la selección del sustrato. En relación al tipo de sustrato utilizado se distinguen: sistemas basados en métodos hidropónicos con sustratos inertes y el tradicional sistema utilizando medios de cultivo orgánicos.

Inicialmente la turba de *Sphagnum* fue el medio de cultivo más utilizado para la producción de plantas en macetas ornamentales. Sin embargo, ya desde hace más de 40 años, ha habido una búsqueda mundial de productos sustitutos de la turba. Razones económicas y ambientales, incitan a indagar sobre la utilización de materiales alternativos que contribuyan al uso en menor escala o casi a la eliminación de

la turba, recurso procedente de ecosistemas valiosos y con una escasa capacidad de renovación.

2. SISTEMAS DE CULTIVO Y SELECCIÓN DE SUSTRATOS

Como se ha mencionado, existen dos sistemas de cultivo muy diferentes que repercuten directamente en la selección del sustrato: los sistemas hidropónicos y los sistemas en sustratos orgánicos. Los sistemas hidropónicos emplean en unos casos sustratos inertes como la arena, gravas volcánicas, perlita o lana de roca, y en otros casos se emplea directamente una disolución fertilizante recirculante que realiza un aporte continuo de nutrientes. En casos de jardinería vertical se han desarrollado también sistemas que emplean como soporte mecánico pequeños contenedores realizados con dos capas de fieltro reciclado, dichos geotextiles retienen la humedad y soportan el cepellón



Esquema genérico de un sistema hidropónico con recirculación de disolución nutritiva aplicable a producción hortícola o jardinería vertical (Grinea®, 2017)

de la planta. En estos casos, el sustrato empleado tiene un volumen muy limitado, unos pocos centímetros cúbicos donde se desarrolla el sistema radicular de la planta. El mantenimiento de este tipo de soportes requiere una vigilancia continuada, puesto que fallos en el suministro de la disolución fertilizante repercuten directamente sobre la planta, provocando daños que implicarían la pérdida de plantas y fracaso del cultivo.

El sustrato para hidroponía centra sus propiedades en aspectos físicos, puesto que los nutrientes son aportados por la disolución nutritiva y las raíces crecen en un medio poroso adecuado para mantener el nivel de humedad. Debe ser inerte, o sea que no exista interacción con el aporte de nutrientes ni contenga sustancias que reaccionen con la solución nutritiva y las plantas. Entre los sustratos empleados más comúnmente en hidroponía se pueden mencionar la lana de roca, arenas de diferente granulometría, gravas volcánicas, silicatos de aluminio tipo perlita y vermiculita y fibras textiles que actúan como soporte.

Estas últimas en ocasiones se combinan con pequeños espacios que se complementan con sustrato orgánico donde se implanta el cultivo, este sistema es habitualmente utilizado en jardinería vertical.

La otra alternativa es realizar el cultivo sobre medios de cultivo orgánicos, que han demostrado ser los materiales por excelencia de cultivo en contenedor. Dejando muy patente que se debe reducir al máximo el empleo de turba, por el impacto ecológico debido al transporte desde las zonas de extracción y a la alteración de las turberas. Existen múltiples productos orgánicos, muchos de ellos procedentes del reciclaje que estabilizados mediante compostaje, dan lugar a materiales muy interesantes (Masaguer, 2011).

Para que el éxito de la agricultura en altura sea posible es importante la implantación del cultivo y que el desarrollo de la vegetación se realice sobre medios de cultivo adecuados (Gracison y col., 2014) que contribuyan a reducir el peso del sistema de naturaleza utilizado (jar-

dín vertical o cubierta verde) y minimicen su efecto sobre la capacidad de carga del edificio o pared (FLL, 2008).

El empleo de sustratos ecológicamente amigables es perfectamente viable como alternativa a otros medios más tradicionales como la lana de roca, turba o perlita. Por lo tanto, el objetivo será conseguir mezclas de materiales con propiedades físicas e hidrofísicas adecuadas para la producción y desarrollo de plantas, y responder a la creciente demanda de sustratos de cultivos potenciales para naturación urbana, específicamente para jardinería vertical y/o terrazas vegetales. Pero para una correcta selección de los materiales es necesaria una caracterización y conocimiento de sus propiedades y ensayos sobre un jardín vertical y una terraza vegetal con el fin de establecer su comportamiento y necesidades de manejo. Hasta el momento los datos obtenidos en dichos ensayos han permitido considerar qué materiales orgánicos evolucionan bien a lo largo del tiempo sin un deterioro importante en las características, lo cual garantiza la duración y la estabilidad de los sustratos en el tiempo (López-Rodríguez y col., 2017). De las propiedades estudiadas se resalta la necesidad de bajas densidades, elevadas porosidades y estructura estable.

Entre los posibles materiales orgánicos destaca la fibra de coco, se trata de un residuo reciclado y que a su vez, puede ser un candidato sustitutivo a la turba, por lo tanto más sostenible. La fibra de coco es un material residual que se origina durante el desfibrado

de la nuez del coco procedente del mesocarpio de la misma, consiste en fibras largas que se emplean para diversas actividades y un subproducto de mezcla de fibras más cortas y polvo con aspecto similar a la turba (Burés, 1997). La fibra de coco presenta buenas propiedades físicas como sustrato de cultivo, con buena retención de agua y elevada porosidad.

Otro componente interesante en la elaboración de sustratos de cultivo son los compost procedentes del reciclado de materiales orgánicos. Las propiedades físico-químicas deben de ser adecuadas a la utilización del compost como sustrato. Por tanto, la elección de los materiales a compostar se debería centrar en subproductos con características a priori favorables (Cunha-Queda y col., 2007). De los compost que se producen en la actualidad, las propiedades físico-químicas (pH y salinidad) son las que más limitan la proporción de los mismos en las mezclas (Carmona y col., 2012). Idealmente, se requieren niveles de pH entre 5,3 y 6,5 para asegurar la absorción de la mayoría de los nutrientes (Abad y col., 2001). La salinidad, en términos de conductividad eléctrica (CE), debería ser menor de 0,5 dS m⁻¹. Si la salinidad es alta, ésta puede reflejar que la solución del sustrato posee un nivel de fertilidad óptimo y equilibrado, pero lo más habitual es que la salinidad elevada se deba a la presencia de iones tóxicos para la planta como el sodio o los cloruros, a parte que posea una cierta concentración de macronutrientes.

Entre los subproductos orgánicos compostables con resultados satisfactorios destacan los



Presentación de fibra de coco deshidratada y cultivo hortícola en bancales de fibra de coco



El proceso de compostaje permite el reciclado de materiales orgánicos y obtener sustratos de cultivo muy adecuados en la agricultura en altura.



Cubiertas intensivas con sustrato de compost vegetal y grava volcánica

restos de poda, que proceden de las zonas verdes de la propia ciudad y que pueden ser reutilizados tras un acondicionamiento correcto. Se trata de un material con un alto porcentaje de compuestos ligno-celulósicos que aseguraría una importante estabilidad del compost final (Benito y col., 2006). Existen muchos más ejemplos de productos orgánicos utilizados con éxito, como pueden ser cortezas de pino, subproductos orgánicos de la industria agroalimentaria, restos de poda agrícola, que con los tratamientos correctos cumplen a la perfección con la misión de aportar a la planta las condiciones de cultivo óptimas.

La mayoría de los sustratos fabricados en la actualidad son mezclas de dos o más componentes, pero las propiedades físicas y químicas del producto final no siempre son similares a la suma de las partes (Masaguer y col, 2014).

Las características que debe reunir un componente o sustrato de cultivo, varían en función de las necesidades del material vegetal a utilizar, del objetivo del cultivo, de los medios de control disponibles en la explotación y de las incidencias de factores no controladas (Teres, 2001). Antes de la utilización de un sustrato es muy importante conocer las propiedades intrínsecas que le definen como tal. La caracterización física e hidrofísica de los sustratos envuelve principalmente el estudio de su granulometría, densidades tanto de partículas como aparente, la porosidad o distribución de agua y aire en el espacio poroso. Una vez conocidas las características y propiedades, si resultan no ser óptimas para una aplicación en concreto, pueden mejorarse corrigiendo la granulometría, el pH, lixiviación de sales en exceso o la mezcla con otros materiales (Carrion, 2006).



Cultivo vertical de lechugas (Grinea®) y sistema vertical de cultivo de fresas

Por lo que hemos visto, podemos utilizar multitud de materiales como sustrato en los proyectos de agricultura en altura. No existe una fórmula maestra para seleccionar un material u otro, sino que esta decisión vendrá determinada por la ubicación, las dimensiones, la complejidad de la estructura y las especies seleccionadas en cada uno de los casos (Solano, 2016).

3. EJEMPLOS CONCRETOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

Cubiertas verdes

Se distinguen dos tipos de cubiertas: las extensivas que son una alternativa directa a las cubiertas convencionales, pero con el enfoque ecológico de restituir con unas plantas de muy bajo mantenimiento la superficie verde utilizada en la edificación y, por otra parte, las intensivas que podemos decir que son comparables a construir un jardín en la cubierta.

En el primer caso el sustrato debe ser muy ligero y con buena retención de agua para aportar a las especies, tipo Sedum, vivaces y algunas gramíneas, las condiciones adecuadas para su supervivencia con un mantenimiento mínimo (1 ó 2 veces al año). En este caso mezclas de compost con gravas volcánicas suponen una

alternativa perfecta. El compost aporta una retención de agua y nutrientes para la planta y la grava, en ocasiones situada en superficie, ayuda a mantener la humedad del sustrato e impide un levantamiento del sustrato por la acción del viento.

Las cubiertas intensivas son más multifuncionales y por tanto requieren sustratos más diversos. En estos casos el edificio debe poder soportar mayores cargas y el volumen de sustrato será mayor. Sobre la base de ajustar los sustratos a las necesidades de cada cultivo se puede recurrir a compost y fibras de coco para establecer una estructura orgánica con capacidad de intercambio catiónico para la retención de nutrientes y aligerar en material bien con perlitas, gravas volcánicas o arcilla expandida cocida con estructura esférica de diversos tamaños.

Cultivos verticales

Considerando siempre los requerimientos propios de las especies cultivadas se deben seguir los siguientes criterios. En el caso de sistemas hidropónicos la lana de roca puede ser un soporte muy adecuado si se regula la disolución fertilizante al tipo de cultivo, permitiendo una recirculación del agua y presentando buenos resultados.

Los sistemas con bolsas de cultivo, bien de polietileno como con geotextiles, con poco volumen de sustrato, necesitan sustratos orgánicos muy ligeros y bien aireados. Se puede recurrir a la fibra de coco con perlita, controlando siempre la conductividad eléctrica en el caso de riego con agua con algo sales.

Cultivos hortícolas en bancales o contenedores en azoteas

El primer criterio en la selección de materiales de cultivo para contenedor será recurrir a fabricantes que aporten información completa sobre los productos empleados en la elaboración de los sustratos, lo que supone un índice de calidad y una preocupación por ayudar al cliente a una utilización adecuada del sustrato. Este primer dato debe ser analizado sin prejuicios y con valores objetivos, no por tratarse de materiales de carácter residual tienen que infravalorarse como componentes de sustratos, en muchas ocasiones son subproductos con excelentes características. Un segundo aspecto a considerar es conocer las características del cultivo: condiciones climáticas, infraestructuras disponibles, especies a cultivar e incluso el tipo de contenedor a emplear. Todo ello puede condicionar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los sustratos que debemos emplear. Dichos aspectos están relacionados de forma multivariante y pueden llegar a condicionar el éxito del cultivo.

Estos dos puntos anteriores permiten aplicar el tercer criterio que se refiere directamente a las propiedades de los sustratos. El comportamiento físico de un medio de cultivo se puede resumir a través de su curva de humedad que describe la correspondencia humedad-aireación. Cuando el sustrato está insuficientemente aireado, las raíces se agrupan en la parte superior del contenedor donde hay más aireación, se produce entonces un desarrollo radicular horizontal que continúa por la pared del contenedor. Esta falta de aireación se traduce en un débil enraizamiento. En relación a la granulometría es importante que el material

mantenga cierta homogeneidad y evitar que los rangos de partículas sean muy dispares. Esto acarrea una reducción del espacio poroso por reordenación de las partículas más finas entre las gruesas y con el tiempo provoca retenciones excesivas de agua y falta de oxígeno en las raíces. Por ello, en algunas ocasiones, la granulometría por sí misma no tiene validez y debe ser complementada con la curva de retención (Masaguer, 2007).

Las propiedades químicas de los sustratos son generalmente las más conocidas y más fáciles conceptualmente de entender, puesto que difieren poco de las propiedades tradicionales de los suelos naturales. El complejo de cambio es un factor destacado en el estudio de la fracción sólida de los sustratos. La naturaleza mayoritariamente orgánica de los sustratos, implica que se trata de materiales con una alta fijación de cationes en las estructuras de las sustancias húmicas, así los equilibrios de adsorción-desorción del complejo regularán el aporte de nutrientes a la disolución del sustrato y por consiguiente a la planta.

Un último criterio, que por desgracia se aplica casi siempre en primer lugar, es el económico. Sorprende como sólo se incide en un dato numérico sin tener en consideración la calidad de material y de los rendimientos o aspectos morfológicos del cultivo y comerciales.

4. CONCLUSIONES

Como conclusión al capítulo destacar lo que se denomina el paradigma del sustrato ideal. No existe el sustrato ideal, el mejor sustrato de cultivo en cada caso, varía en función de numerosos factores de tipo: vegetal (especie, semilla, esqueje, planta), climático, tamaño y forma del contenedor, sistema de riego y fertirrigación y sobre todo experiencia en el manejo de un sustrato concreto. Pensar, por otra parte, que una vez instalado el huerto en la cubierta o en el sistema vertical, se pueden cambiar plantas, aportar o no riego y mejorar el contenido en nutrientes, pero cambiar el sustrato es tremendamente costoso

Por lo tanto, la base del éxito de la horticultura en altura pasa por una selección adecuada del sustrato de cultivo, lo cual requiere solicitar a los suministradores la mayor información sobre las propiedades y por otra realizar experimentaciones propias para ajustar el manejo a las necesidades concretas. De la misma manera que cada especie, o incluso variedad, requiere un sistema de cultivo específico, es importante asumir que no todos los sustratos se deben regar o abonar de la misma manera, cada uno tiene sus características.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., Noguera, P., Burés, S., 2001. *National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain*. *Bioresource Technology* 77, 197-200.
- Burés, S., 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342pp.
- Benito, M. Masaguer, A., Moliner, A., De Antonio, R. 2006. *Chemical and physical properties of pruning Waste compost and their seasonal variability*. *Bioresource Technology* 97(2006):2071-2076.
- Carmona, E., Moreno, M.T., Avilés, M. Ordovás, J. 2012. *Use of grape marc compost as substrate for vegetable seedlings*. *Scientia Horticulturae* 137(212):69-74.
- Cunha- Queda, A.C., Ribeiro, H.M., Ramos, A., Cabral, F. 2007. *Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark*. *Bioresource Technology* 98(2007):3213-3220.
- Graceson A, Hare M, Hall N, Monaghan J (2014). *Use of inorganic substrates and composted green waste in growing media for green roofs*. *Biosystems Engineering* 124:1-7.
- FLL, 2008. *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Introduction to the FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing Edition of the Green Roofing Guideline 2008*.
- A. Sanz-Cobeña, I. Puigdueta-Bartolomé, Á. Larruscain, Inma Borrella, Sergio Álvarez, José Luis Cruz, David Pereira, Javier Mazorra, Jaime Moreno, Ana Iglesias, 2017. *Los huertos urbanos como herramienta de transformación socio-agroalimentaria y medida de mitigación de GEI: el caso de Madrid*. V Workshop REMEDIA. Caldes de Montbui, Barcelona.
- López-Rodríguez G., Pérez-Esteban J., Ruiz-Fernández J., Masaguer, A., 2017. *Caracterización física e hidrofísica de sustratos orgánicos sostenibles potenciales para naturaleza urbana*. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 7, Nº1: 33-40.
- Masaguer A., 2007. *¿Qué sustrato elegir?* *Revista Horticultura*, 201:40-42.
- Masaguer A., 2011. *Retos tecnológicos en la fabricación y manejo de sustratos de cultivo*. X Jornadas Grupo de Sustratos de la SECH. Santiago de Compostela.
- Masaguer A., López-Fabal A., Carmona E., Fornés F., Ordovás J., Gómez M.A., Moreno M.T., Marfá O., Cáceres R., López R., Belda R., 2014. *Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor. De residuo a recurso. El camino de la sostenibilidad*. Red Española de Compostaje. Ed. Mundi-Prensa.
- Solano, I., 2016. *La guía definitiva del Jardín Vertical*. Editorial Círculo Rojo. 279pp.
- Terés, V., 2001. *Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego*. *Metodología de laboratorio y modelización*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 483pp.

CAPÍTULO 13

RIEGO DE JARDINES VERTICALES

Leonor Rodríguez Sinobas, Daniel Alberto Segovia Cardozo y Sergio Zubelzu Minguez
Grupo Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid "Hidráulica del Riego"

1. INTRODUCCIÓN

Los jardines verticales, o en altura, son cada vez más habituales en la fisonomía de las grandes ciudades dado que entre otras cosas, mejoran la estética de la ciudad así como producen el beneficio ambiental a la vez que promueven una población más saludable.

Los componentes principales de un jardín vertical son: las especies vegetales, el soporte para las mismas (sustrato,...) y el sistema de riego. De todos ellos, el último es al que menos atención se le dedica y sin embargo, tiene una misión importante para el desarrollo óptimo de las especies vegetales que, en gran medida, depende de la uniformidad en la aplicación del agua por los emisores de riego.

Cómo todo jardín, es necesario aportar agua sobre todo en los meses más secos. El riego por goteo es el más utilizado puesto que, entre los métodos de riego, aplica el agua de forma localizada. Además, en el jardín vertical se produce un aporte de agua, de arriba abajo,

procedente del drenaje de las zonas altas. Así, aunque el riego se programa para aportar un mismo volumen de agua a todas las plantas del jardín, las colocadas en su extremo inferior recibirán más agua que las del superior. Este hecho hace que la distribución del agua sea más compleja que en riego por goteo convencional.

Los elementos del sistema de riego de un jardín vertical coinciden con los del sistema tradicional de goteo. La instalación más simple, requiere una toma de agua con presión (pequeña) y una fuente agua sin elementos en suspensión o disueltos. En caso contrario, sería necesario colocar un filtro. Así mismo, se debe recoger el agua de drenaje en el extremo inferior del jardín y conducirla hacia su destino final. Éste puede ser tanto el sistema de drenaje convencional del edificio o al suelo o también a un recipiente de almacenamiento para su posterior reutilización u análisis. Dado que se dan riegos frecuentes (sobre todo en los meses estivales y con dosis pequeñas, se suele disponer de un programador que automatice la operación del riego.

Por otra parte, la programación de los riegos del jardín se realiza una vez estimado el calendario de riego que determina la cantidad de agua a aportar por riego y cuando aportarla. Las fuentes de agua pueden ser tanto convencionales (red urbana) como no convencionales (redes de aguas urbanas regeneradas u otras).

En las siguientes secciones de este capítulo se expondrá, brevemente, los elementos que componen el sistema del riego de un jardín vertical, la estimación de las necesidades hídricas de las especies del jardín vertical, la programación de riegos, los resultados de la medición de la distribución del agua en el jardín y finalmente, se dedica una sección destinada a asesorar sobre el riego de estos jardines. Los resultados presentados hacen referencia al jardín vertical del edificio del Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid, en la Ciudad Universitaria (Madrid).

2. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE RIEGO DE UN JARDÍN VERTICAL

El método de riego del jardín vertical es el goteo y la red de riego la componen las tuberías y los emisores de riego, aparte de los elementos necesarios para unir tuberías (codos, tés, manguitos...).

El riego por goteo se caracteriza por una aplicación del agua lenta y localizada a la planta. Los emisores de riego (por donde sale el agua) se denominan goteros que se insertan en tuberías de polietileno de baja presión. Este riego

permite obtener una buena uniformidad en la aplicación del agua siempre y cuando: el sistema de riego esté bien pensado, los goteros bien seleccionados y se realice un mantenimiento de la instalación. Dado que las secciones de paso del gotero son reducidas y sensibles a la acumulación por precipitación de sales y otros elementos, se debe de tener un equipo de filtración adecuado y realizar operaciones de limpieza tanto del filtro como de la instalación.

Las aplicaciones de riegos frecuentes y con dosis bajas son adecuadas para el riego de los sustratos (que sujetan las especies vegetales) con escasa capacidad de retención del agua. Así, la variación del contenido de humedad del jardín se mantiene dentro de un margen estrecho evitando fluctuaciones de tensión extremas. Los riegos suelen programarse a través de programadores específicos para riego.

Asimismo, algunos sistemas de riego pueden incorporar los nutrientes junto con el agua del riego, caso de ser necesario. Por otra parte, el riego por goteo permite utilizar aguas de mala calidad, como la procedente de la regeneración de las aguas residuales.

2.1. Goteros y tuberías de riego

Los goteros más utilizados en el riego de jardines verticales son los de tipo “pinchado” que se insertan directamente sobre la tubería de polietileno (ver Fig. 1) con un rango de caudales (volumen de agua por unidad de tiempo) entre 0,5 a 2 L/h. El agua atraviesa secciones de pa-



Figura 1: Goteros: (a): tipo “pinchado”; (b): detalle de inserción en la tubería de polietileno y orificio de desagüe y (c) obstrucción de las secciones de paso debido a la formación de “biofilm” desarrollado por la utilización de aguas regeneradas.



Figura 2: Elementos del sistema de riego: (a) Manómetro Bourdon; (b) Contador volumétrico de agua tipo “Voltman” y (c): Regulador de presión.

so pequeñas con recorridos largos y tortuosos, por lo general con forma de laberinto, donde se disipa toda la presión de la tubería. La velocidad del agua en el orificio (os) de salida es muy pequeña por lo que se deposita dentro de un entorno próximo al punto de desagüe.

Los goteros se dividen en dos grandes categorías: compensantes y no compensantes. Los primeros, mantienen el caudal constante dentro del rango de compensación especificado por el fabricante, generalmente entre 5 a 30 mca ($\approx 0,5$ a 3 bar), gracias a la presencia de una membrana elástica, el elastómero. Ésta se deforma con las variaciones de presión modificando la sección de paso del agua según varíe la presión de la tubería. Además, suelen ser antidrenantes. Los segundos, modifican su caudal en función de la presión así, el caudal del gotero es el que daría si trabajara a 10 mca (≈ 1 bar).

Los goteros se insertan en una tubería, por lo general de polietileno PE de baja densidad, que se denomina porta goteros y cuyo diámetro exterior oscila entre 12-20 mm con espesores de 1 a 1,2 mm. Aparte, se requiere otra tubería, que puede ser también de PE, que conecta a la porta goteros con la fuente de agua (toma, depósito) cuyo diámetro varía, generalmente, entre 15-40 mm.

2.2. Cabeza del sistema de riego

La cabeza del sistema o estación de control se coloca tras la acometida en la red principal a presión, o tras una bomba que proporcione la presión necesaria. Está formada por llaves de paso, contadores (para medir la cantidad de agua u caudal) y manómetros (para medir la presión). Algunos modelos se muestran en la Figura 2.

Los goteros no compensantes necesitan una presión (aproximadamente 10 mca, ≈ 1 bar) para desaguar su caudal por lo que la toma de riego debe tener al menos esa presión. En cambio los goteros compensantes mantendrán su caudal dentro del rango de compensación por lo que la presión en cabeza de la tubería portagoteros puede ser menor de 10 mca.

Si se cuenta con una acometida de agua urbana, la presión es variable dentro de un intervalo. En la Ciudad Universitaria de Madrid dicho intervalo oscila entre 3-9 bar (30-90 mca) por lo que es necesario colocar un regulador de presión que límite la altura de presión aguas abajo a 10 mca (≈ 1 bar). En caso de necesitar una bomba, ésta proporcionará al menos los 10 mca.

Cuando el agua lleva elementos en suspensión requerirá también la colocación de un filtro

de malla u anillas para retener las partículas sólidas, suspendidas en el agua, y evitar la obstrucción de los goteros. En la elección del tipo y de la capacidad del filtro, se tendrá en cuenta la calidad del agua y el tipo de gotero. Por lo general, se requiere un grado de filtración menor a 100 μ .

Los jardines con fertilización contarán, además, con dispositivos de almacenaje y aplicación de los fertilizantes. En riegos automatizados, el programador de riego abre y cierra las llaves cuando corresponde aplicar el agua y fertilizantes.

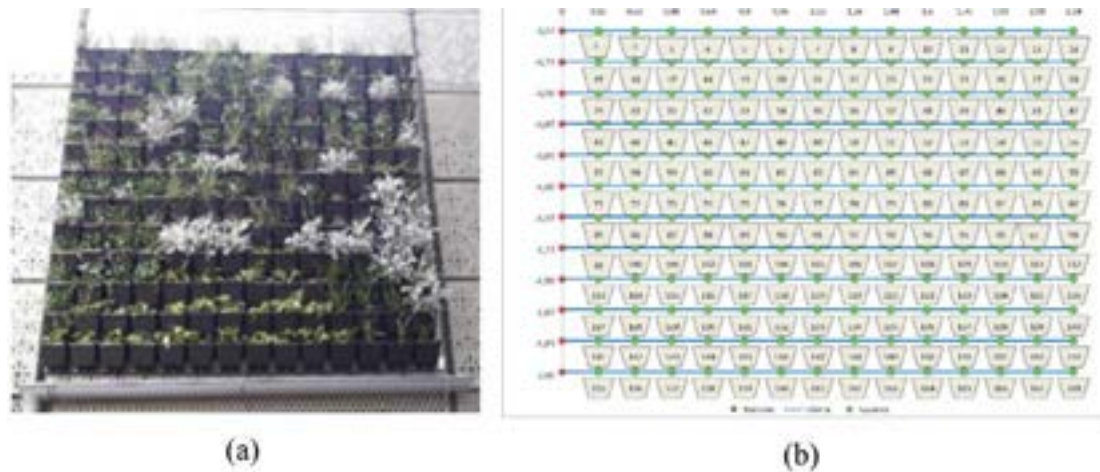


Figura 3. Jardín vertical itdUPM. (a): Vista del jardín el día de su instalación y (b): esquema del sistema de riego

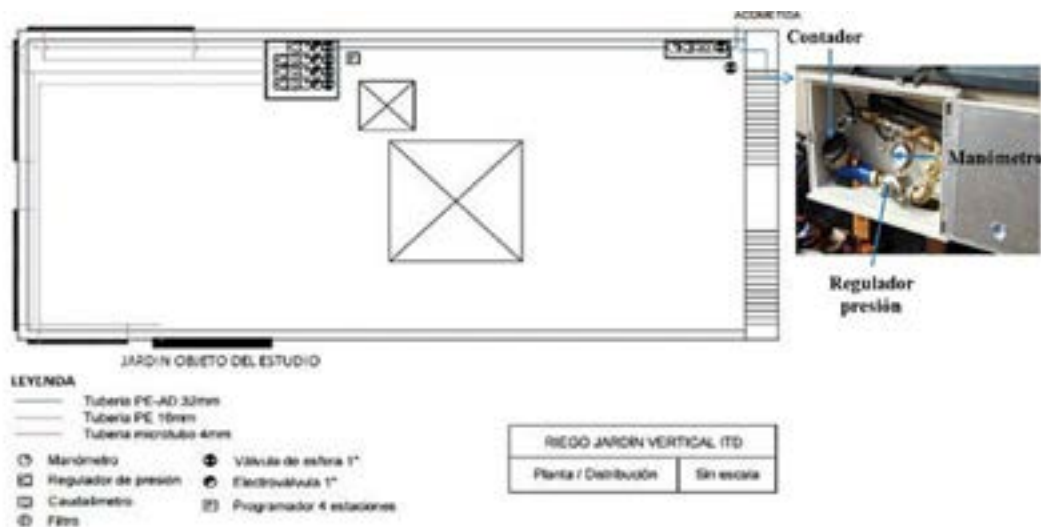


Figura 4. Trazado y sistema de riego de los jardines verticales del edificio itd-UPM en la Ciudad Universitaria (Madrid), con detalle de una arqueta que alberga los elementos del sistema.



Pared verde Tokio. I. de Felipe

2.3. Sistema de riego del jardín vertical del itd-UPM

La figura 3 muestra uno de los jardines verticales del itd-UPM de la Ciudad Universitaria (Madrid) y su sistema de riego. El jardín está dispuesto en una malla de 12 filas y 14 columnas, que componen 168 macetas rellenas de un sustrato que contiene los nutrientes necesarios. En cada maceta se coloca una planta regada por un gotero compensante y antidrenante de 2 L/h.

El agua de riego procede de la red de abastecimiento de agua potable de la Comunidad de Madrid y se toma desde una acometida cercana al edificio. La Figura 4 muestra los elementos y el trazado del sistema de riego que consta de cuatro tuberías de distribución para regar los cinco jardines verticales colocados sobre a fachada del edificio itd-UPM. Una de ellas, con diámetro 16 mm, aporta el agua a los doce ramales del riego del jardín de la Figura 3.

Los elementos del sistema de riego: llaves de esfera, electroválvulas, filtros, reguladores y manómetros se alojan en dos arquetas de

plástico, revestidas interiormente con lana de roca, para protegerlos de las fluctuaciones de temperatura exterior.

El riego se programa con un controlador horario que abre y cierra la electroválvula según el tiempo de riego asignado. Además, el jardín vertical cuenta con un sistema de desagüe formado por una canaleta que recoge el agua excedente del riego en la parte inferior de las 14 columnas de macetas y la conduce, mediante una tubería, hacia el alcantarillado de la red general.

3. PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS

Antes de programar el riego del jardín, se debe de estimar las necesidades hídricas de sus especies vegetales. Para ello, se debe estimar la evapotranspiración real ET de las mismas a partir de la expresión siguiente:

$$ET (mm) = Kc ET_0 (mm) \quad (1)$$

Donde: ET_0 es la evapotranspiración de referencia y Kc es la evapotranspiración del cultivo.

La ET_0 utiliza una pradera de gramíneas verdes, de altura uniforme (12 cm), y crecimiento activo, que cubre completamente el terreno y se le aporta todo el agua que necesaria en cada momento (Allen et al., 1998). Su valor suele ser proporcionado por las páginas web de información meteorológica y/o asesoramiento a los regantes. Para su cálculo se parte de los valores de temperatura, radiación solar, humedad registrados en una estación meteorológica cercana a la ubicación del jardín.

El coeficiente de cultivo K_c se define como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar y la evapotranspiración de referencia:

$$K_c = ET_c(mm)/ET_0(mm) \quad (2)$$

Este coeficiente refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Como las características de un cultivo cambian con las distintas fases fenológicas, los valores del coeficiente de cultivo describen una curva a lo largo del ciclo del cultivo cuya forma refleja los cambios en la vegetación y en la cobertura vegetal.

3.1. Coeficiente de jardín

Debido a la gran variedad de especies vegetales del jardín, se hace prácticamente imposible establecer un valor de coeficiente de cultivo (K_c) para cada una de ellas, por lo cual se utiliza un valor general denominado coeficiente de jardín (K_j).

El coeficiente de jardín describe las necesidades hídricas de las especies vegetales teniendo en cuenta: el estado fisiológico, la densidad de siembra y las condiciones microclimáticas. Según Martínez G. (2014), el K_j se calcula a partir de un coeficiente de especie (K_e), un coeficiente de densidad de plantación (K_d) y un coeficiente que depende del microclima (K_{mc}).

$$K_j = K_e * K_d * K_{mc} \quad (3)$$

Dado que la variación de K_e suele ser muy pequeña, se suele tomar un valor de K_e medio o un el valor de K_e de la especie más exigente. Los valores de K_d y K_{mc} se seleccionan de la siguiente tabla:

Tabla 1. Categoría definidas para los factores K_d y K_{mc}
FUENTE: Martínez G. 2014

Categoría	Rango K_d	Rango K_{mc}
Alta	1,1 - 1,3	1,1 - 1,4
Media	1	1
Baja	0,5 - 0,9	0,5 - 0,9

En zonas sombreadas, $K_{mc} = 0,5$ y en zonas expuestas al sol $K_{mc} = 1,4$ (Martínez, 2014).

La Tabla 2 presenta la disposición de las especies vegetales en el jardín del itd-UPM. El consumo de agua en el jardín itd-UPM fue variable en función del microclima con valores de $K_j = 0,6$ (verano) y $K_j = 0,36$ (invierno).

3.2. Necesidades de riego

Las necesidades netas de riego (N_{nr}) son las que debe ponerse a disposición de las raíces de las plantas del jardín. Se calculan sustrayendo la precipitación efectiva (P) a la ET . Sin embargo, el agua que debe aportar el sistema de riego, necesidades brutas de riego (N_{br}), es mayor a las N_{nr} y considera la eficiencia de la aplicación del riego (E_a) y, aparte, se añade una porcentaje de agua destinado al lavado de sales que se incluye como fracción de lavado de sales (FL). (Ruiz, 2014)

$$N_{br} = N_{nr}/E_a * 100 \quad (6)$$

$$N_{br} = N_{nr}/E_a * (1-FL) * 100 \quad (7)$$

En el jardín itd-UPM, la ET_0 del periodo de estudio (106 días, de marzo a junio) fue muy variable debido a la variabilidad climática. El valor mínimo fue 0,74 mm/d y el máximo, 8,5 mm/d. Como era de esperar, su valor incrementó conforme se aproximaba el verano.

Tabla 2. Colocación de las diferentes especies vegetales en el jardín vertical del itd-UPM

		COLUMNA													
FILA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		1	3	5	5	3	6	2	3	3	5	3	5	3	3
2		1	1	2	3	6	2	6	2	1	4	6	1	1	3
3		1	1	1	3	2	6	3	5	5	3	5	1	5	6
4		6	1	1	2	5	1	6	2	3	1	3	6	4	3
5		6	1	1	5	3	6	2	3	3	1	2	3	6	5
6		4	2	3	2	6	5	5	2	1	3	5	4	1	4
7		6	6	6	6	2	2	6	4	2	6	4	4	5	6
8		5	6	6	4	4	4	4	2	7	7	4	4	5	5
9		6	6	6	6	5	5	5	7	7	5	5	5	5	5
10		6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	3	3	5	5
11		6	7	7	7	7	7	7	5	7	7	3	3	3	5
12		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	1	1

LEYENDA		
1	Lampranthus spectabilis	20
2	Luzula nivea	15
3	Tulbaghia violacea	29
4	Carex oshimensis	14
5	Cineraria maritima	29
6	Vinca minor	32
7	Cyrtornium falcatum	29
TOTAL		168

4. UNIFORMIDAD EN LA APLICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO Y DEL CONTENIDO DE AGUA DEL JARDÍN

4.1. Uniformidad en la aplicación del agua de riego

En el riego del jardín se necesita aplicar la misma cantidad de agua en todas sus plantas. Dado que se programa el riego durante un tiempo dado, la variación de caudal entre los los goteros del jardín no debiera superar el 10% para tener una uniformidad en la aplicación del agua mayor de 90%. Sin embargo, el caudal del gotero en los modelos no compensantes depende de la presión de trabajo y, en los compensantes se mantiene constante dentro de un rango de presiones determinado por el fabricante. Además, para tener estas uniformidades se aconseja seleccionar goteros con un coeficiente de variación de manufactura $CV \leq 0,05$.

En la mayoría de los jardines, las longitudes de las tuberías de riego son pequeñas por lo que las pérdidas de presión debidas a las pérdidas de carga por rozamiento son despreciables. Sin embargo, la mayor diferencia de presión entre los goteros del jardín puede deberse a las diferencias de cota, que dependerá del tamaño del jardín.

El modelo del gotero del jardín itd-UPM es pinchado, compensante y antidrenante con $CV = 0,038$. La variación de la presión del sistema de riego depende, principalmente, de las alteraciones en la red de abastecimiento y por la diferencia de cota en la tubería porta ramales. El efecto de esta última es despreciable siempre y cuando la presión no baje de 0,04MPa (presión de inicio del cierre antidrenante de los goteros). Si esto sucede el goteo comenzará su cierre y el agua aportada será menor. Con el manejo actual del jardín la uniformidad de aplicación del agua es baja (81%) para lo que correspondería a un riego por goteo y deberían aproximarse al 90%. Este valor tan bajo puede deberse al efecto de borde y al intercambio de agua entre macetas por percolación.

Por otra parte, la eficiencia de aplicación del riego $E_a = 83\%$ también es baja.

4.2. Distribución del agua en el jardín

El contenido de agua del jardín puede medirse con sensores de humedad comerciales y, así, una vez conocido, se puede ajustar mejor el momento de aplicar el riego. En el mercado hay varios modelos comerciales de sensores de humedad del suelo, con más o menos precisión, que pueden utilizarse.

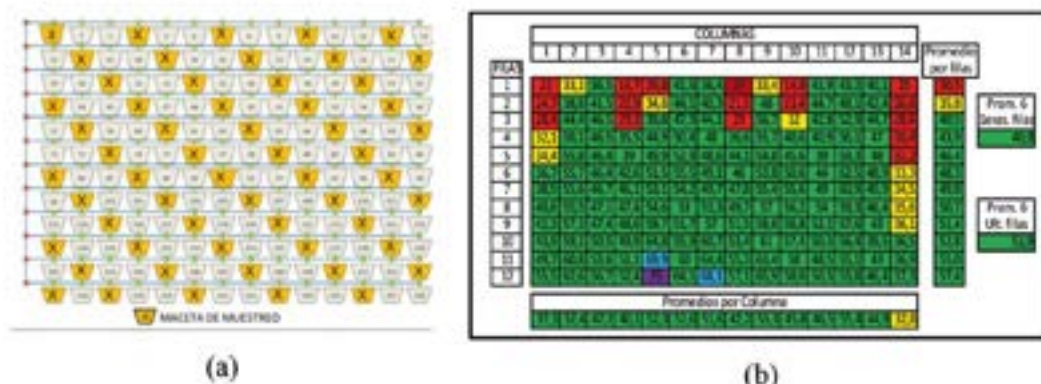


Figura 5. Macetas del jardín itd-UPM. (a): Muestra elegida para medir el contenido de agua del sustrato y (b): distribución del agua en el jardín.

En el caso del jardín del itd-UPM, se utilizó un sensor de humedad del suelo con un error de medida $\pm 2,5\%$. La distribución del contenido de agua del jardín, que fue medido en una muestra de 57 macetas (Figuras 5a), se muestra en la Figura 5b. La muestra elegida representa el 33,9 % de la superficie del jardín así, el nivel de confianza de la medida es el 95 % con una probabilidad de error de 5%. Se aprecia una gran diferencia de contenido de agua entre la parte superior e inferior del jardín; mientras apenas hay diferencia entre la mitad derecha e izquierda.

La distribución del agua del jardín presenta dos hidrozonas, con características diferentes. Una zona deficitaria en la parte superior y otra, cuyo contenido de agua es elevado, en la parte inferior puesto que recoge el agua de la percolación de las macetas del extremo superior del jardín.

Con el riego actual la hidrozona inferior se encuentra muy próxima al límite de humedad recomendado. En cambio, la hidrozona superior presenta mayor número de macetas con problemas de déficit hídrico. Este problema no solo se limita a las filas superiores sino que se extiende por los bordes laterales superiores.

Un buen manejo del jardín debiera lograr un equilibrio entre las dos hidrozonas ya que el

incremento del riego disminuiría el déficit en la hidrozona superior pero incrementaría los riesgos de asfixia radicular en la hidrozona inferior y viceversa.

5. ASESORAMIENTO EN EL RIEGO DEL JARDÍN

En el jardín del itd-UPM, la aplicación de riegos más frecuentes y cortos son adecuados para reducir la aparición de hidrozonas (zonas con diferentes contenidos de agua en el sustrato) como consecuencia de la percolación de las macetas del extremo superior hacia la parte inferior. Así mismo, estas medidas mejorarían la uniformidad de la aplicación del agua de riego.

En concreto, para mejorar la distribución del contenido de humedad en el sustrato y evitar la formación de hidrozonas dentro del jardín, sería recomendable cambiar los goteros de la zona superior (cambiando de modelo de gotero), aumentando su caudal. No se recomienda cambio alguno en los goteros de la última fila porque ella recibe el agua drenada de las macetas superiores, y esta es muy variable tanto entre columnas como en el tiempo (en función del contenido de humedad, clima, volumen de sustrato, etc.); por lo que es difícil de controlar y lograr un contenido uniforme.

Así mismo, si se evitasen situaciones desfavorables como la variación en la presión de trabajo por cambio de presión en la red general de distribución del agua se podría mejorar la eficiencia del riego.

Si con las sugerencias anteriores se llega al 90% de eficiencia, en el jardín del itd-UPM se ahorraría 351 L de agua al año, además de disminuir 1 h/año el tiempo de aplicación de riego. Todo ello permitiría también un ahorro de energía y un efecto positivo sobre el desarrollo del conjunto del jardín.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano, de la Universidad Politécnica de Madrid itdUPM, <http://www.itd.upm.es/>, por el apoyo prestado en la realización del estudio del riego del jardín vertical. Así mismo, quieren agradecer a la empresa Paisajes Urbanos la donación del material de riego para su estudio en laboratorio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Allen, G.R., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements* - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 281 pgs.

Martínez, G. (2014). *Estrategia para la Evaluación Agronómica, Hidráulica y Energética en Jardinería. Aplicación a la Gestión de Jardines Públicos. Trabajo fin de Master Universitat Politècnica de Valencia.*

Ruiz Zarzuelo S. (2014). *Manual de Riego de Jardines. Disponible en: https://issuu.com/sergiruiz0/docs/manual_riego_jardines_libro.*

Segovia Cardoso, D. A. (2017). *Sistema de riego en jardín vertical: Evaluación y manejo. Tesis de Master Agroingeniería, Universidad Politécnica de Madrid.*



*Jardín vertical.
Hotel Santo Domingo.
Madrid.
M. Pasquín*

CAPÍTULO 14

PAREDES VERDES CON BAJO COSTE

Manuel Pasquín Agero

Paisajista. Director de Semper Veris

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2011 se me encarga la consolidación de un Jardín en Altura de grandes dimensiones dentro del Equipo Multidisciplinar de la construcción de un Hotel en el centro de Madrid, España.

Las exigencias de la Propiedad eran muy claras: máxima sencillez de ejecución, mantenimiento posterior de las plantas sencillo, económico y bajo consumo de agua.

A todo esto, había que añadir una buena relación calidad/precio y un efecto visual inmediato, ya que se trataba de un Hotel a punto de reinaugurar sus instalaciones.

Dados estos condicionantes, se decidió la utilización del andamio de la construcción del Hotel como soporte de un Gran Jardín Colgante, en el cual se fijaban jardineras con sustrato vegetal y plantaciones arbustivas, trepadoras y colgantes.

Durante la ejecución del jardín, el paisajista, trabaja como un pintor delante de un cuadro, mezclando los colores en la paleta y con ellos va pintando un lienzo; de la misma manera, la selección de la planta se hacía directamente en los viveros en función del efecto que se perseguía en cada ubicación. Se buscaban las plantas por sus colores, floraciones, tolerancia al sol o a la sombra, necesidades de agua y nutrientes, resistencia a enfermedades y plagas, así como su crecimiento y su futuro mantenimiento.

Una vez que la planta estaba ya en obra, se realizaron las composiciones y montajes “in situ” de las plantas para los distintos maceteros, comprobando así los diferentes efectos desde los diferentes puntos de visión, dirigiendo a los operarios en la plantación. El seguimiento y dirección de obra fueron muy intensos.

2. DATOS

Ubicación: Hotel Santo Domingo, C/ San Bernardo, 1. Madrid, España



Patio interior Hotel Santo Domingo (en construcción)

Patio Interior del Hotel.

Superficie: Muro y zonas aledañas, superando en total los 1.000 m².

Altura: 6 plantas del Edificio, 25 metros de altura.

Cultivo: Contenedores con sustrato.

Visual: 70 habitaciones del Hotel que dan al Patio Interior.

Salón inferior con cúpula acristalada.

Terraza; Azotea-Piscina-Eventos del Hotel.

Cascada artificial de 20 metros de altura integrada en jardín.

Control de plagas: Sólo lucha integrada. No insecticidas, ni fungicidas.

Riego: Por goteo autocompensante localizado en las jardineras.

Plantaciones: Gran mezcla y biodiversidad. (Plantas-Anexo 1)

3. METODOLOGÍA

Una vez instalado y fijado el andamio, se adaptan las barreras de seguridad para fijar las jardineras, ocupando la mitad del paso del andamio con las mismas.

Se genera entonces un paso de trabajo y mantenimiento entre el muro del edificio y las jardineras, para así poder trabajar con total seguridad y perfectamente accesible en cualquier momento.

De esta forma generamos igualmente una gran cámara de aire, protegiendo el muro del edificio y creando una magnífica "piel verde" que funciona como aislante.

Las Jardineras utilizadas eran de resina plástica resistentes a los rayos UV de dimensiones 100x40x40; esto nos da un cubicaje de 160 litros de tierra para el crecimiento de las plantas.

Todos los desagües de las jardineras van entubados y unidos a un colector general para evitar goteos incontrolados.

Para aprovechar al máximo los recursos hídricos disponibles y minimizar el gasto de agua, se recoge el agua de las habitaciones del hotel, se filtra y depura para reutilizarse nuevamente en el jardín o en los fluxores de los inodoros.

La mezcla de plantación utilizada fue sustrato vegetal comercial suministrado por el vivero proveedor de las plantas, mejorado con humus de lombriz y abonos órgano-minerales complejos. Con esta mezcla equilibrada se consigue un óptimo desarrollo vegetativo a corto plazo, e igualmente al crear vida microbiana en el sustrato, nos garantizamos un correcto desarrollo de las plantas en el tiempo.

El riego se realizó con goteo localizado auto-compensante a cada jardinera y con fases independientes en función de la ubicación de las plantas.

Fases de zonas altas, con gran insolación y plantas más expuestas al viento.

Fases de riego intermedias, con más sombra y plantas menos expuestas.

Fases de riego bajas, con gran cantidad de sombra y plantas muy poco expuestas.

Esto nos permite adaptarnos a distintas intensidades y dotaciones de riego en función de las necesidades y del tipo de planta que tenemos en cada una de ellas.

El concepto de riego en un jardín de este, en vertical, es diferente al riego de un jardín convencional en tierra y en horizontal. Las plantas al estar “encerradas” en contenedores

no tienen opción de extenderse más que en el espacio que le hemos facilitado. Los riegos tienen que centrarse en mantener la humedad del sustrato sin encharcar y sin llegar al extremo de dejarlo secar generando entonces “stress hídrico” a las plantas. Para ello y de modo general, la secuencia a seguir es regar poca cantidad de agua varias veces. Con ello conseguimos mantener la humedad y evitar los goteos excesivos de las jardineras, que terminan lavando los sustratos y derrochando agua innecesariamente.

Al separar las fases por alturas, nos permite regar varias veces las plantas más expuestas en las zonas altas, regar menos e incluso tener días sin riego en las más bajas, ya que las condiciones en esos puntos son mucho más frescas.

Dentro del sistema de riego se instaló igualmente un dosificador de abono para poder abonar a la vez que regamos. En este punto, es importante destacar que esta instalación no tiene el cometido al que estamos acostumbrados en agricultura o viveros productores. En estos casos, se aplican gran cantidad de abonos para llevar la producción y crecimiento al máximo, ya que hay que vender frutos o plantas de un cierto tamaño. Aquí, una vez que ya está consolidada la vegetación, no nos interesa que crezca en exceso, eso nos provocaría más necesidades de poda y de control de las plantas. Igualmente, cuando abonamos en exceso, las plantas lignifican menos y son menos resistentes. Por esto, el jardín sólo se abona 2 veces al año con abonos orgánicos (guano) disueltos en el agua de riego, aprovechando la primavera para el crecimiento inicial y el otoño para acumular reservas durante la parada vegetativa.

Abonado y control de podas: Los restos generados por las podas, se trituran y se aportan nuevamente a las jardineras a modo de mulch, manteniendo así la humedad del sustrato, favoreciendo la vida microbiana y controlando a su vez las malas hierbas espontáneas.



Hotel Santo Domingo. Madrid

Otro de los puntos fuertes de este jardín ha sido la selección de especies, (anexo 1).

El 90% de las plantas utilizadas, son las plantas clásicas de los jardines y terrazas de Madrid, por lo que son plantas más que testadas y adaptadas a la climatología de la ciudad. Principalmente plantas autóctonas y alóctonas.

La plantación se hizo en estratos de arriba abajo ya que tenemos tres zonas fuertemente diferenciadas. La zona alta, precisa plantas de gran resistencia y de clima mediterráneo. La zona intermedia, es una zona de transición con una mayor mezcla de plantas y posibilidad de plantas de mayor frondosidad. Finalmente, la zona inferior, es mucho más fresca y umbría con plantación de sotobosque.

Del mismo modo, la plantación ha sido diferente a lo que convencionalmente se suele realizar, no se han generado grandes masas de una misma planta como si fueran grandes manchas de color, sino que se ha plantado

mezclando los diferentes tipos de plantas. Con ello conseguimos mayor biodiversidad y una barrera natural de defensa contra plagas y enfermedades. El efecto ornamental obtenido de esta manera es el de una gran floresta de diferentes tonos de verdes, formas y colores.

Nos hemos dejado “sorprender” por el jardín y su evolución. Respecto a las plantaciones, se realizaron del modo comentado y a lo largo de los años posteriores, el propio jardín ha seleccionado las más fuertes e idóneas, desarrollando y ocupando cada una su espacio. Algo parecido nos ha ocurrido con las plagas y enfermedades; el jardín no se ha fumigado nunca, durante los dos primeros años se detectaron algunos focos de insectos atacando algunas plantas, estos se controlaron con lucha integrada (suelta de insectos depredadores). Todas las primaveras repetimos esta acción para el control de las plagas. En la actualidad existe un equilibrio natural y no se aprecian ataques importantes de plagas en el jardín.



Pared Verde. Hotel Santo Domingo. Madrid

Otros amigos han ido apareciendo y habitando poco a poco el jardín como mirlos y otros pájaros que se comen los insectos; libélulas, abejas... Se ha generado un pequeño ecosistema a modo de "isla verde" en el interior de la ciudad.

4. CONCLUSIONES

¿Por qué un sistema de jardineras sobre una estructura fija?

- **Por la accesibilidad:**

Uno de los principales problemas y costes son la ejecución y mantenimiento posterior de un jardín en vertical. En el momento de la construcción del mismo se da por asumido el alquiler de equipos, maquinaria y personal especializado, pero posteriormente, según pasa el tiempo, estos costes se hacen cuesta arriba. Una gran corporación o entidad pueden asumirlo, pero si queremos "democratizar" este tipo de cultivos en vertical, hay que hacerlos accesibles a su mantenimiento, simplificarlos y ajustar sus costes. En España, la mayoría de

los casos en los que se han realizado en bloques de vecinos, se han dejado morir tras su abandono. Principalmente por problemas técnicos y/o por su coste de mantenimiento.

- **Por el clima:**

Madrid, en el interior de España, tiene un clima que se puede considerar de transición entre el clima semiárido frío (BSK) y el clima mediterráneo (Csa). Las precipitaciones rondan los 400mm. anuales. Con estas características, el riego es totalmente necesario y sobre todo es importante tener en cuenta el calor ambiente y la sequedad que hay en este clima durante varios meses al año. La selección de plantas (anexo 1) debe ir enfocada a estos condicionantes.

- **Por el riego:**

En otros sistemas de jardinería vertical (geotextiles con hidroponía) las plantas demandan entre 15 o 20 riegos fertirrigados diarios (sobre todo en verano). El mínimo fallo de unas pocas horas de estos sistemas en verano puede acarrear graves problemas al jardín. En

un clima como Madrid, al sol en verano la desecación es muy rápida. Todo esto se puede solventar con un control tecnificado, pero ello vuelve a incrementar los costes de ejecución y de mantenimiento (no todos los clientes pueden pagarlo). Estos jardines no deben ser elitistas.

La ventaja de plantar en jardineras con sustrato es que la planta puede aguantar espacios de tiempo mayores (incluso varios días) si se produce algún problema en el riego; da tiempo a observarlo y solucionarlo antes de que se mueran las plantas o al menos gran parte de ellas.

• **Por el mantenimiento del jardín:**

Los trabajos posteriores de mantenimiento del jardín; podas, limpiezas, plantaciones, nuevos aportes de sustrato o de mulch, abonados, revisiones y controles de riego; todo ello, se puede hacer con total seguridad y de manera sencilla al ser accesibles las plantas por la plataforma hasta las jardineras. Gracias a esto existe un gran ahorro de costes en el mantenimiento.

• **Por su sostenibilidad y ecología:**

La mayoría de estos puntos son comunes a todos los jardines verticales, por lo que es importante ponerlos en valor.

Aislamiento térmico y acústico del edificio; en nuestro caso, de gran seguridad ante humedades (tanto por riego como por condensación), ya que la cámara de aire existente es muy amplia al ser el paso de mantenimiento del personal.

Absorción de CO₂ del aire funcionando como pulmón verde de la ciudad.

Favorece la biodiversidad y la fauna urbana, los pájaros anidan en el interior del propio jardín y existe una rica variedad entomológica al no utilizar insecticidas.

La ciudad se embellece al cubrir de plantas las fachadas.

Disminuye del calor de la ciudad por la transpiración de las plantas.

• **Por experiencia:**

La humanidad lleva plantando en macetas desde hace miles de años, por lo que son sis-



Pared Verde. Hotel Santo Domingo. Madrid

temas de cultivo perfectamente conocidos y controlados, únicamente se han puesto de manera vertical en una estructura transitable adosada a una pared.

• **Concepto de plantaciones:**

En este jardín se ha procurado imitar a la naturaleza, realizando plantaciones con mezcla de diferentes tipos de plantas, creando biodiversidad. Esto nos ha demostrado que es mucho más efectivo en el tiempo, ya que los jardines son más resistentes y tienen menos daños por ataques de plagas, realizando incluso una lucha integrada sin necesidad de aplicar productos fitosanitarios químicos al jardín.

La gran mayoría de plantas seleccionadas son plantas con un alto poder de regeneración y con una gran capacidad para rebrotar. A fin de cuentas, no dejamos de estar plantando jardinerías en altura; por lo que las plantas necesitan ciertas podas de control y deben volver a rebrotar de nuevo.

Por ejemplo, en el caso de un arbusto tipo “Vi-

burnum”, con nueve ramas que brotan desde su base se realizan podas de aclareo controlado. El primer año podamos tres ramas desde su base, de forma fácil y controlada desde el interior. Nos quedan seis ramas que cubren el jardín, ese mismo año aparecerán pequeños brotes en la base que van a crecer muy poco. Al segundo año quitamos otras tres ramas, durante esa primavera y verano, las ramitas que brotaron débilmente el año pasado, crecen con fuerza ocupando la base del arbusto. Finalmente, el tercer año podamos las tres últimas ramas antiguas, por lo que el arbusto se ha regenerado de nuevo y todo el hueco está cubierto. Le dejamos un año sin podar antes de que se desmadre de nuevo y al año siguiente repetimos la operación de poda controlada de tres años.

• **Otros usos:**

Este sistema sería muy fácil adaptarlo para uso de Agricultura Urbana en edificios en el interior de las grandes ciudades.

ANEXO 1

LISTADO PRINCIPAL DE PLANTAS UTILIZADAS

ÁRBOLES ORNAMENTALES:

- *Acer palmatum* (varias variedades).
- *Eucalyptus* (varias variedades).
- *Lagerstroemia indica* (varias variedades).
- *Liquidambar styraciflua*.
- *Magnolia grandiflora*.
- *Prunus cerasifera nigra*.
- *Rhus typhina*.
- *Taxodium distichum*.

PALMÁCEAS:

- *Brahea armata*.
- *Fenix canariensis*.
- *Trachycarpus fortunei*

CONÍFERAS:

- *Cupressus sempervirens “Stricta”* (en forma de árbol).
- *Juniperus* (varias variedades).
- *Picea glauca “Conica”*.

- *Picea pungens “Glauca globosa”*.
- *Pino mugo “Mughus”*.
- *Pinus pinea*.
- *Taxus baccata*.
- *Thuja occidentalis* (varias variedades).
- *Thuja orientalis* (varias variedades).

TREPADORAS:

- *Clematis* (varias variedades).
- *Hedera helix* (varias variedades).
- *Jasminum nudiflorum*.
- *Parthenocissus quinquefolia*.
- *Parthenocissus tricuspidata*.
- *Plumbago auriculate*.
- *Rhynchospermum jasminoide*.
- Rosal trepador *banksiae* (varias especies).
- *Wisteria sinensis*.

ARBUSTOS HOJA PERENNE

- *Abelia floribunda*.

- *Acanthus mollis*.
- *Agapanthus africanus* (varias variedades).
- *Arbutus unedo*.
- *Aucuba japónica*.
- *Buxus sempervirens* (varias variedades).
- *Callistemon laevis*.
- *Calluna vulgaris*.
- *Camellia japónica*.
- *Ceanothus thyrsiflorus* "Repens".
- Coronilla.
- *Cotoneaster* (varias variedades).
- *Elaeagnus ebbingei*.
- *Elaeagnus pungens* "Maculata aurea".
- *Escallonia rural* "Marathas".
- *Euonymus japonicus* (varias variedades).
- *Fatsia japónica*
- *Grevillea juniperina*.
- *Hebe* (varias variedades).
- *Hypericum calycinum*.
- *Ilex auditorium* (varias variedades).
- *Laurus nobilis*.
- *Ligustrum japonicum*.
- *Mahonia aquifolia*.
- *Myrtus communis*.
- *Nandina domestica*.
- *Nerium oleander*.
- *Phorhium tenax* (varias variedades).
- *Photinia x fraseri* "Red robin".
- *Phyllostachys aurea*.
- *Pittosporum tenuifolium*.
- *Pittosporum tobira* "Nana".
- *Prunus laurocerasus*.
- *Rhododendron japonicum*.
- *Viburnum lucidum*.
- *Viburnum tinus*.
- *Vinca mayor*.

AROMÁTICAS:

- *Lavandula angustifolia*.
- *Mentha piperina*.
- *Origanum laevigatum*.
- *Rosmarinus officinalis*.
- *Rosmarinus officinalis* "Postratus".
- *Salvia officinalis*.
- *Thymus vulgaris*.

ARBUSTOS CADUCOS:

- *Berberis thunbergii* "Atropurpurea".
- *Buddleja davidii*.

- *Cercis siliquastrum*.
- *Cotoneaster horizontalis*.
- *Deutzia gracillis*.
- *Euonymus alatus*.
- *Fosythia intermedia*.
- *Hibiscus siriacus*.
- *Hydragea macrophylla* (varias variedades).
- *Perovskia blue spire*.
- *Philadelphus coronaries*.
- Rosales injertados de flor (varias variedades).
- *Spiraea bumalda* (varias variedades).
- *Spiraea vanhouttei*
- *Syringa* (varias variedades injertadas).
- *Syringa vulgaris*.
- *Tamarix gallica*.
- *Viburnum opulus*.

HERBÁCEAS, BULBOS Y VIVACES:

- *Ajuga reptans* "Atropurpurea".
- *Campanula portenschlaginata*.
- *Erigeron Karvinskianus*.
- *Fertuca glauca*.
- *Fresia* (varias variedades).
- *Gaura lindheimeri* (varias variedades).
- *Geranium vivaz* (varias variedades).
- *Gladiolus callianthus*.
- *Heuchera*.
- *Hosta* (varias variedades).
- *Hyacinthus orientalis* (varias variedades).
- *Iris* (varias variedades).
- *Lamium maculatum* (varias variedades).
- *Lilium* (varias variedades).
- *Liriope muscari*.
- *Lobelia* (varias variedades).
- *Miscanthus* (varias variedades).
- *Muscari armeniacum*.
- *Narcissus* (varias variedades).
- *Ophipogon planiscapus*.
- *Pennisetum alopecuroides* (varias variedades).
- *Rudbeckia fulgida*.
- *Sedum spectabile*.
- *Senecio cineraria*.
- *Soleirolia helxine*.
- *Tulipa* (varias variedades).

PLANTAS DE FLOR:

- Begonias de flor (varias variedades).
- *Bellis perennis*.
- *Brassica ornamentalis* (varias variedades).

- *Calendula*.
- *Calibrachoa hybrida* (varias variedades).
- *Cyclamen Hederifolium*.
- *Erigeron* (varias variedades).
- *Gaillardia*.
- *Gazania* (varias variedades).
- Geranios de flor (varias variedades).
- *Impatiens* (varias variedades).
- *Lantana camara*.
- *Margaritas* (varias variedades).
- *Osteospermum* (varias variedades).
- *Petunia* (varias variedades).
- *Primula* (varias variedades).
- *Salvia fulgens*.
- *Surfinias* (varias variedades).
- *Viola* (varias variedades).

ANEXO 2

• Jardín Vertical más grande de Europa (más de 1.000 m²)

Hotel Mercure Santo Domingo - Madrid. Record Guinness

Cultivo en vertical de masas arbustivas y arbolado en un edificio de más de 6 alturas en pleno centro de Madrid.

Aplicación de últimas tecnologías en riego localizado y fertirrigación, así como en control de plagas por medio de lucha biológica.



CAPÍTULO 15

UN MODELO DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA AGRICULTURA EN ALTURA EN LA CIUDAD DE LEÓN, ESPAÑA

Fernando Barriuso¹, Fernando González-Andrés², Beatriz Urbano¹

¹Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad de Valladolid. Avenida de Madrid n°57, 34004 Palencia, España.

²Grupo de Investigación IQUIMAB. Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad. Universidad de León. Avenida de Portugal n°41, 24071 León, España.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en altura constituye una adaptación de los sistemas de producción agrícola al medio urbano. La adaptación conlleva la utilización y mejor aprovechamiento de los recursos de la ciudad en donde se ubican los proyectos de agricultura urbana. Con ello se contribuye al ahorro y eficiencia energética, que mejora la competitividad y favorece el desarrollo energético sostenible. El desarrollo energético sostenible utiliza energías renovables, tecnologías de generación más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, combustibles menos contaminantes y mecanismos de captura y almacenamiento del CO₂. Este capítulo presenta un modelo de agricultura en altura en la ciudad de León (España) donde se utilizan el agua de lluvia para el riego de los cultivos, placas solares para im-

pulsar la bomba que hace circular el agua de riego, constituyendo un modelo de ahorro y eficiencia energética en la agricultura urbana en altura.

2. LA AGRICULTURA EN ALTURA Y LA NATURACIÓN URBANA

La agricultura en altura constituye una adaptación de los sistemas de producción agrícola a las condiciones de las ciudades. Mientras que el cultivo de alimentos se inicia en las ciudades, a raíz de las guerras mundiales y como consecuencia de la escasez de alimentos en los centros urbanos (Pudup, 2008), no es hasta mediados de los años cincuenta cuando surge una preocupación por el desequilibrio entre el crecimiento de las ciudades y el medio ambiente, que lleva a buscar soluciones para crear zonas verdes en la ciudad (Alonso et al.,

2009). El objetivo, es mejorar las condiciones ambientales y el equilibrio de los ciclos atmosférico, hídrico, del suelo, de residuos urbanos, etc. y con ello el entorno social y salubre de sus habitantes. Surge por primera vez el concepto de Naturación Urbana como la acción de incorporar o fomentar la naturaleza mediante la recuperación de la flora y fauna autóctonas de una manera aceptable y sostenible en el entorno urbano y periurbano (Briz, 1999; Briz y de Felipe, 2005). Se debe añadir a este fenómeno la aparición y proliferación de programas de huertos comunitarios, desde los años 70 hasta la actualidad, con fines ocupacionales, terapéuticos, ambientales y de seguridad alimentaria, entre otros. Como ya ocurriera en el desarrollo de los sistemas de Naturación se buscan soluciones adaptadas a las condiciones de medio urbano, en las que el factor suelo es costoso y/o escaso. Aparecen soluciones que aprovechan las construcciones como soportes de la vegetación y de los cultivos, y que se ajustan a los espacios, condiciones y recursos disponibles en la ciudad.

3. RETOS DE LA AGRICULTURA URBANA

Uno de los principales retos de la naturación y agricultura urbana es la adecuación de los soportes urbanos para albergar la vegetación y cultivos sin problemas de filtración, humedades y exceso de carga. En este sentido, el ahorro y eficiencia energética son factores que deben estar muy presentes en el desarrollo de soluciones de naturación y agricultura urbana. La crisis energética y económica obliga a replantear el modelo de ciudades, y es aquí donde los espacios verdes y, de forma específica, la agricultura urbana aprovechando los recursos de la ciudad deben encontrar su espacio. Para Fernández et al. (2012) el principal reto actual de la Naturación en el compromiso medioambiental reside en gran medida del modelo de ciudad a desarrollar, particularmente en lo que se refiere a la relación entre desarrollo urbano y consumo de recursos ambientales. Como menciona, muchas instalaciones incumplen muchos parámetros de



Cultivo en cubierta de una cisterna de aguas en el concejo de Ribadedeva (España).



Olivos sobre la cubierta de un aparcamiento en Oporto (Portugal).

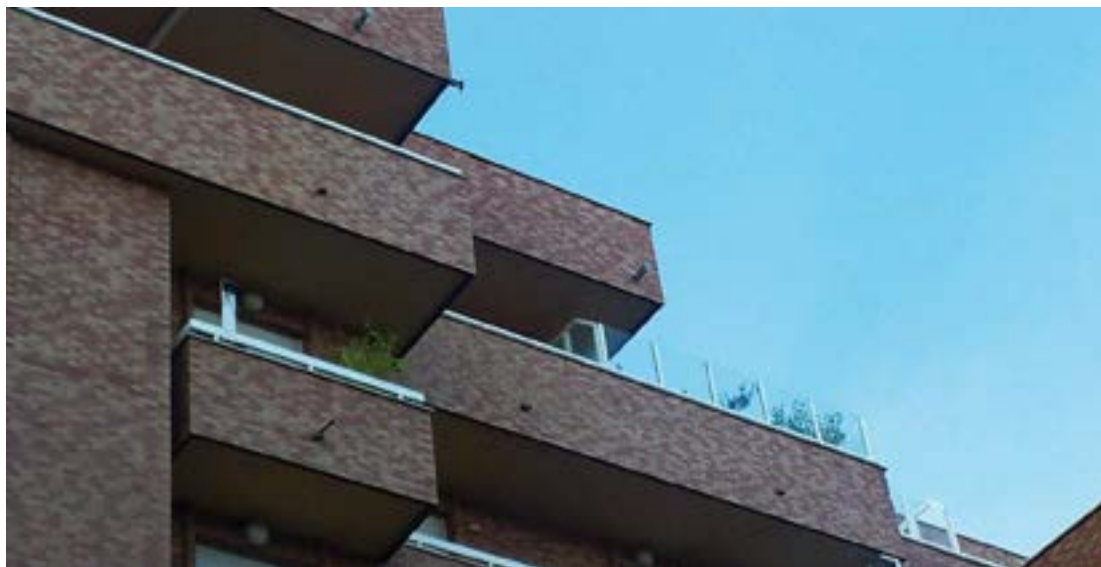
sostenibilidad. Para el autor es necesaria una adecuada selección de los materiales, considerando su huella ecológica; una reducción del consumo energético, fomentando el uso de renovables; una mayor potenciación de la biodiversidad; y la utilización de sistemas de control biológico de las plagas. Montero et al. (2014) en su ensayo de riego con aguas jabonosas en cubiertas ajardinadas semintensivas indican que en el sudeste español se ha comenzado a implantar cubiertas ajardinadas, siendo el clima y la disponibilidad de agua el principal reto para el desarrollo sostenible de la agricultura urbana.

Urrestarazu y Burés (2009) apuestan por líneas de trabajo de sistemas integrados, redes hidráulicas, fertirriego y recirculación, consumo energético, sumideros de CO₂, consumo de agua, vertidos sobre el medio, vegetación adaptada y aclimatada, tecnología sensorial clima-planta-sustrato.

4. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

La alta dependencia en la Unión Europea, entre el 50% y el 80%, de las importaciones energéticas del exterior, hace imprescindible la búsqueda de métodos de reducir el consumo por unidad de actividad económica, con la finalidad de mejorar la competitividad global de la economía mediante un uso eficiente de la energía.

El ahorro y eficiencia energética también tiene una incidencia directa en el objetivo de desarrollo sostenible, que parte de considerar que la mejora de la competitividad de la economía y la protección del medio ambiente son objetivos compatibles, por lo que todas las actuaciones medioambientales deberán concretarse mediante un análisis coste-beneficio y teniendo en cuenta la mejora de la eficiencia energética y el impulso de las energías renova-



Vista exterior del proyecto de agricultura en altura en las alturas seis y siete del bloque de viviendas.

bles. Un modelo energético sostenible primero debe sustentarse en la eficiencia energética, y luego en las energías renovables, las tecnologías de generación más eficientes y respetuosas con el medio ambiente, los combustibles menos contaminantes, la captura y almacenamiento del CO₂.

Por ello, los distintos países industrializados están adoptando, por sí mismos o en organizaciones supranacionales, diversas medidas que fomentan el ahorro y la mejora de los índices de intensidad energética.

5. EL CASO DE UN PROYECTO DE PRODUCCIÓN EN ALTURA EN LEÓN, ESPAÑA

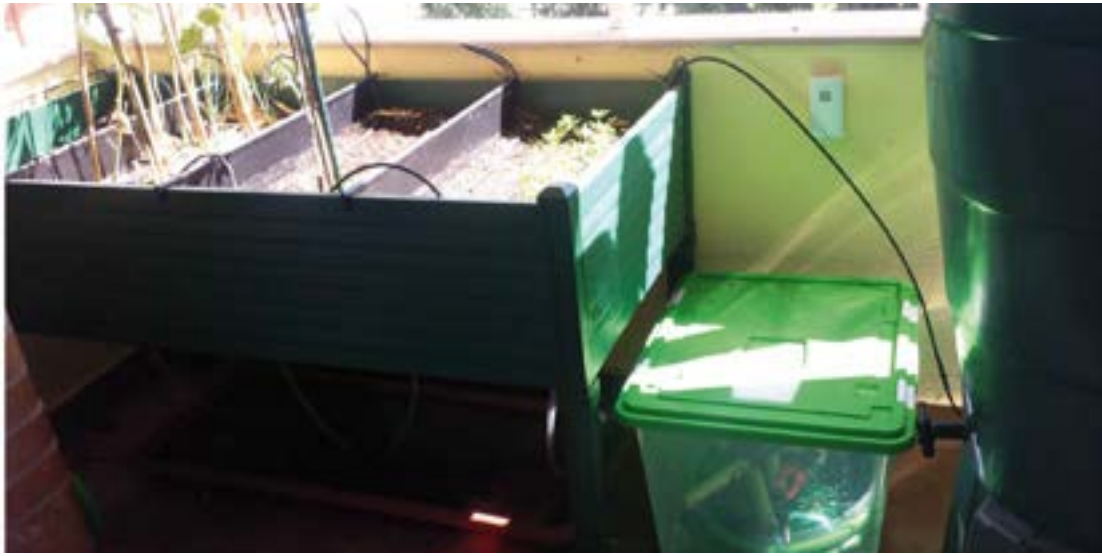
El proyecto presenta una solución de agricultura en altura que aprovecha los recursos de la ciudad, aguas pluviales y energía solar para el riego, adaptado a las condiciones agroclimáticas de la ciudad de León en España. Se trata de una solución para cultivar en terrazas, azoteas y voladizos productos hortofrutícolas, aromáticas y ornamentales para consumo doméstico. El proyecto se localiza en un bloque

de viviendas de siete alturas de la ciudad de León en España y en su diseño se tuvieron en cuenta las condiciones agroclimáticas de la zona, así como el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos, de iluminación e insolaración. La ciudad de León se encuentra a una altitud de 837 metros sobre el nivel del mar en la latitud 42° 35' 56" Norte y 5° 34' 01" Oeste. Cuenta en la actualidad con 142.439 habitantes, llegando a los 200.000 teniendo en cuenta las localidades que conforman su alfoz. Con la llegada del siglo XX, la ciudad experimentó el Plan de Ensanche que provocó la expansión urbanística de León y que convirtió a la ciudad en un importante nudo de comunicaciones del noroeste de España con motivo de la minería del carbón y de la llegada del ferrocarril. La ciudad está ubicada en una terraza fluvial en la confluencia de los ríos Bernesga y Torío. El clima de León es oceánico mediterráneo de tipo Csb de acuerdo a la clasificación climática de Köppen. Las precipitaciones están repartidas de forma muy irregular a lo largo del año, con mínimos en la época estival y máximos durante primavera y otoño. La precipitación media anual es de 556 mm. La ciudad disfruta al año de 2.624 horas de sol y de 78 de lluvia,

además de 16 de tormenta. Las temperaturas son frescas, con una media anual de 11,1 °C con inviernos fríos, siendo frecuentes las heladas (74 días de helada de media al año). La nieve hace acto de presencia en la capital durante 16 días de media al año, si bien las grandes nevadas no son frecuentes. El verano es caluroso, suavizado por la altitud de la ciudad, con temperaturas máximas que rondan los 27 °C.

Diseño del proyecto de producción en altura

El proyecto desarrolla los cultivos en una mesa de cultivo, donde se han instalado productos hortofrutícolas, ornamentales y aromáticas, junto con un huerto vertical en el que se cultivan fresas. Ambos sistemas de cultivo son prefabricados específicamente para el proyec-



Vista del proyecto de agricultura en altura con depósito de recogida de aguas pluviales, circulación de aguas de lluvia para el cultivo y bomba de agua movida por placa solar.

to que permiten a los usuarios trabajar cómodamente en la terraza y realizar las labores de cultivo.

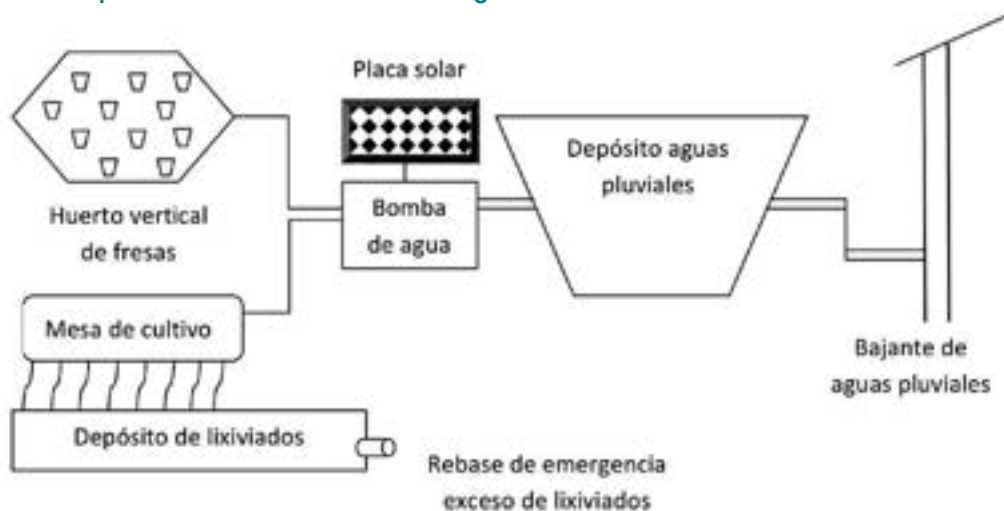
Tanto la mesa de cultivo como el huerto vertical son alimentados por una bomba de agua que suministra el riego (Figura 1) que los cultivos necesitan. La bomba de agua es movida por energía solar mediante su alimentación de una placa solar que aprovecha las horas de sol

de la ciudad de León. La bomba de riego toma el agua de un depósito de recogida de aguas pluviales que es alimentado directamente por gravedad de la bajante del agua de lluvia natural de la ciudad. El depósito dispone de un sistema de protección anti-rebase que deja de coger agua en el momento en que el depósito se llena, evitando inundaciones. Un sensor de humedad ajusta el agua necesaria sin desperdicio.



Detalle del depósito de aguas pluviales, bomba de agua y placa solar para el riego de los cultivos.

Figura 1. Diseño del proyecto de agricultura en altura en la ciudad de León (España) para terraza aprovechando los recursos energéticos de la ciudad.





Detalle del huerto vertical de fresas.

Los soportes de cultivo disponen de sistemas para el drenaje de lixiviados excedentarios y que al contener materia orgánica no puede volver al depósito pues se producirían pudriciones del agua. Para su recogida se ha instalado un depósito de lixiviados y un sistema de evacuación de emergencia para evitar el rebose de dicho depósito de lixiviados (Figura 1).

El proyecto productivo en altura

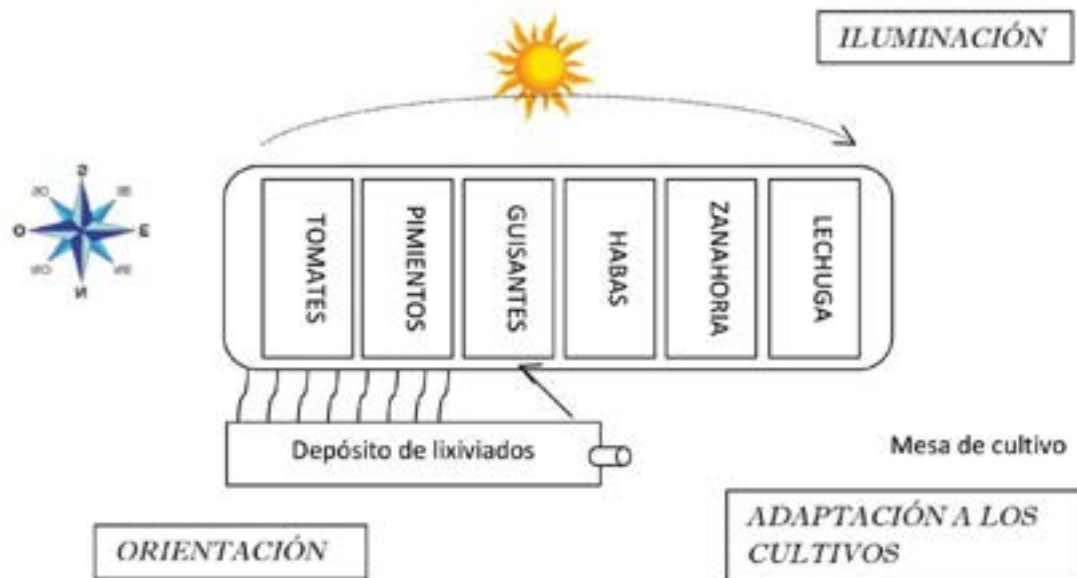
El proceso productivo en altura ha tenido en cuenta las condiciones agroclimáticas de la ciudad de León, la orientación y la iluminación de la terraza permitiendo el mejor desarrollo de los cultivos. En este sentido, durante la campaña 2017 se ha seguido una alternativa de cultivos de zanahorias, lechugas, guisantes, habas, pimientos y tomates, además de las fresas que se cultivan en el huerto vertical (Figura 2).

En enero de 2017 se sembraron las lechugas bajo plástico para proteger el cultivo de las heladas. Durante el mes de febrero se hizo el trasplante de fresas con manta térmica. Entre febrero y marzo se hizo la siembra de las habas



Detalle de la mesa de cultivo con zanahorias y habas en primer plano.

Figura 2. Alternativa de cultivos en altura en el proyecto de la ciudad de León, España, indicando en negrita las adaptaciones al medio realizadas.



y finalmente en mayo se realizó el trasplante de pimientos, tomates y zanahorias. La distribución de los cultivos en la mesa de cultivo y el huerto tuvo en cuenta los ciclos biológicos de cada cultivo, las necesidades de luz, agua y nutrientes específicas de cada uno de ellos y el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles en la ciudad.

El resultado fue la recolección de productos hortofrutícolas para consumo doméstico desde el mes de mayo hasta noviembre, cultivados por los propios habitantes que han realizado una actividad para la producción de sus propios alimentos. Los usuarios han sentido la satisfacción de cuidar y producir en condiciones de su ciudad y según su propia conveniencia, mediante un sistema bien adaptado técnica y agronómicamente a su lugar de residencia.

6. CONCLUSIONES. RETOS Y OPORTUNIDADES

El proyecto de agricultura en altura, adaptado y que aprovecha los recursos propios de la ciu-

dad que se ha desarrollado, demuestra que se puede producir en altura en casi cualquier espacio de la ciudad, siempre y cuando se lleve a cabo un proyecto técnico y agronómico adecuado. El reto está en tener en cuenta los ciclos biológicos de los cultivos, las necesidades de luz, agua y nutrientes específicas de cada uno de ellos y el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles en la ciudad.

El proyecto ha conseguido producir alimentos de consumo familiar a la altura del piso aprovechando los recursos de la ciudad y con ahorro y eficiencia energética que ha contribuido a la mejora de la competitividad y el desarrollo energético sostenible.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, J., Chanampa, M., Vidal, P., Guerra, R., Neila, F. J., Bedoya, C. (2009). *Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades*. Cuadernos de Investigación Urbanística CICR, 67, 49-67. Obtenido de <http://>

www.aq.upm.es/Departamentos/Urbanismo/public/ciu/num/num.html

Briz, J. (1999). *Evaluación del bienestar urbano mediante la naturación*. In J. Briz (Ed.), *Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental* (pp. 65–80). España: Mundi-Prensa.

Briz, J., De Felipe, I. (2005). *Incorporación de la naturaleza en cada rincón de la ciudad: Naturación urbana*. *Arquitectura del Paisaje: Construcción y medio ambiente*, 120, 12–19.

Fernández-Cañero, R., Pérez Urrestarazu, L., Franco Salas, A. (2012). *Assessment of the cooling potential of an indoor living wall using dif-*

ferent substrates in a warm climate. *Indoor and Built Environment*, 21 (5), 642-650.

Montero, J.L., Salas, M.C., Díaz, J.G., Guzmán, M., Heredia, E. 2013. *Evaluación hídrica de cubiertas ajardinadas para su uso en arquitectura bioclimática en zonas mediterráneas de clima árido y semi-árido*. *Actas VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*.

Pudup, M.B. (2008). *It takes a garden: Cultivating citizen-subjects in Organized Garden Project*. *Geoforum*, 39: p. 1228–1240.

Urrestarazu, M., Burés, S. (2009). *Aplicación de cultivos sin suelo en arquitectura*. *Revista de Horticultura Internacional*, 70, 10-15.



China: An urban farming project on top of a shopping mall.
M. Köhler

CHAPTER 16

VEGETABLE ROOFS IN SHANGHAI

Zhaolong Wang

Professor, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University

1. INTRODUCTION

Shanghai is the highest populated cities with 2.415 millions of people living in the urban area. The annual consumption of fresh vegetables reached 5.2 million tons. Currently, about 55% of fresh vegetables produced in the suburbs and 45% from other provinces via long transportation. It takes at least 1 more days from vegetables harvesting in the fields to the hands of urban consumers even under the Vegetable Express Pathway, which makes about 20% vegetable wastes by consumers' pick-up, because the vegetables are not as fresh as the states of harvesting. It is the huge demand for fresh vegetables produced locally, as near the consumers as possible.

The roof areas in urban buildings provide a possible alternative space for local fresh vegetable production. Shanghai has 200 million

m² of building roofs which could potentially supply half of local vegetables if all roofs are transformed into vegetable production fields.

Here we reported some pilot demonstrations in vegetable roofs.

2. METHODOLOGY

2.1 Structure of vegetable roof

Structure of vegetable roofs are usually the same as the extensive green roofs, which includes: 1) soil layer (20~40 cm), 2) water storage and drainage layer, and 3) water proof membrane layer. It is equipped with irrigation system.

Sometimes the water proof membrane may omitted if the building roof already constructed with their own water proof. A simple water storage and drainage plate is layered under the

soil for water storage and drainage purpose, but sometimes it is also omitted if the soil has good infiltration rate.

Soil selection: The soil layer for vegetable production is 20~40 cm thick according to various vegetable types. Thin 20 cm soil layer is for shallow rooting vegetables, such as Pakchoi seedlings, Spinach, and chrysanthemum. Thick 40 cm soil layer is for deep rooting

Table 1. Soil recommendation for vegetable production

Parameters	Recommendation
Bulk density	1.1~1.4 g/cm ³
Total porosity	35~50%
Organic matter	≥15%
Total nitrogen	75~200 mg/kg
Available phosphorus	50~100 mg/kg
Available potassium	150~450 mg/kg
C/N	≥5.0
pH	6.0~8.0
Salt	≤0.25%
Cd	≤0.3 mg/kg
Hg	≤0.25 mg/kg
As	≤20 mg/kg
Pb	≤50 mg/kg

Table 2. Vegetables in Shanghai

Seasons	Vegetables
Spring	Pakchoi seedlings, Spinach, Shepherd's purse, Leek, Celery, Chrysanthemum, Cole, Sickle Alfalfa, Asparagus lettuce, Peppers, Cucumber, Fava bean, Cauliflower, Broccoli, Peas.
Summer	Green/red amaranth, Water spinach, Sweet potato leaves, Lettuce, Cabbage, Tomato, Eggplant, Luffa, Benincasa hispida, Zizania aquatica, Asparagus, Peppers, Cucumber, Green bean,
Autumn	Chinese cabbage, Pakchoi seedlings, Celery, Water spinach, Lettuce, Green beans, Hyacinth bean, Chinese yam, Peppers, Lotus root, Gumbo, Water chestnut, Taro.
Winter	Chinese cabbage, Cabbage, Pakchoi, Spinach, Shepherd's purse, Celery, Coriander, Turnip, Carrot, Asparagus lettuce.

vegetables, such as turnip, carrot, and green beans. Most soil used for vegetable production are sandy loam soils from local fields which meets the quality standard as Table 1

2.2 Vegetables in four seasons

The vegetables planted in four seasons are listed in Table 2

3. BUSINESS MODEL

There are two business models for vegetable production on the roofs of commercial buildings.

3.1 Vegetable production for local members

This is run by professional vegetable production companies. Some professional farmers are employed to take care of all vegetables, including: soil preparation, planting, irrigation, fertilization, pest control, harvesting and delivery. Local consumer members paid annually for the fresh vegetables delivered to their home. Some members may come weekly to take care of their plots and pick up the vegetables by themselves.

3.2 Plant box for demonstration

Vegetable planting boxes are mainly for demonstration purpose. The running



Vegetable production for local members



Planting box for vegetable production

companies sell the vegetables with box, soil and all materials need for vegetable production. The consumer may plant these vegetables in their home with material and technical support from the company, or rent a box on site of the roof for vegetable production.

4. CONCERNS

Current concerns about vegetable production is mainly on the contamination and safety issues. The contamination may come from vehicle exhaust, air pollution such as PM2.5. Another concern is the waste (straws, leaves) from vegetable production.



*Azotea naturada.
Madrid. I. de Felipe*

CHAPTER 17

GREEN DENSITY FACTOR (GDF) & GREEN COOLING FACTOR (GCF): HOW TO CREATE A GREEN URBAN PARADISE

Dr. Ing F.Betzler

1. GREEN DENSITY FACTOR (GDF) & GREEN COOLING FACTOR (GCF)

My approach consists essentially of two factors, one is the GDF: the ratio of the green area and the building ground floor plan, and the other one is the GCF: the ratio of the green cooling performance to the buildings HVAC systems. This calculation resulted out of the growing demand for the quantification of the effects of green volume, especially of roofs and facades (see example, left).

A need to catch up or a success is only to measure after quantifying the existing methods and the current situation.

These two factors make it possible to measure the cooling performance by evaporation of plants and to create a tool for urban planners. Through the sustained and existing

intervention of humanity in the existing ecosystem, we now have destroyed 50% of the natural vegetation zones by e.g. Urban development, agriculture or deforestation.

The known growth forecasts show a rapid increase of the world population. Through the application of building greening in the right place, which are identifiable by my factors, we have the ability to reverse the Heat Island effect. This effect describes the problem of an elevated temperature of the microclimate due to the existing surface sealing and the resulting accumulation of non-evaporated water.

Increased land coverage also means an increased drainage of water, which increases planning costs. The consequence is, in addition to an increased urban climate, an increase in costs for building cooling. The result is the observation of a correlation:

Surface sealing < = > Temperature.

Greening and planting could easily counteract this problem. Plants are biological “power plants”. Plants have the capacity to absorb solar energy, to absorb and supply important nutrients in addition to CO₂.

Evaporation occurs due to the released biomass & water vapor resulting in a cooling effect in the surrounding area. The most efficient use of this cooling capacity is the planting of roofs and facades. In addition to the aforementioned advantages, an installation also offers cost savings by the respective owner through significant savings in incidental costs.

An amortization of the installation and maintenance costs is in any case given. Furthermore, this also applies to a greened urban space where the factors increase exponentially to the green area, i.e. cost savings increase while installation costs per square meter decrease due to economies of scale. Other advantages of a green city are a reduced noise pollution, enriched air and a higher biodiversity, resulting in an increased recreation factor for residents and visitors.

As outlined, there is a sharp increase in demand for electricity and heat in cities. Greening of buildings can help to reduce the heating and energy consumption of buildings (HVAC: heating, ventilation and air conditioning, and electrical consumption) and the heat load injected into the micro-climate.

In the following, the definition and calculation of the Green Density Factor (GDF) and Green Cooling Factor (GCF) will be introduced. The GDF and GCF are applicable for different buildings types in different climate zones.

2. DEFINITION OF THE GDF AND GCF FACTORS

The Green Density Factor (GDF)

The Green Density Factor (GDF) compares the amount of building greenery with the footprint area of the building. A higher degree

of vegetation is reflected in a higher GDF. The numbers needed for the calculation of the GDF are illustrated in Fig. 1.

The parameters used are listed below:

l, w [m]: Length and width of the building's footprint.

FP [m²]: Footprint area of the building = **l * w**.

h [m]: height of a floor in the building and **n:** number of floors in building.

H [m]: Total height of building = **n * h**.

fr: Fraction of roof greenery (e.g. **fr** = 0.8 for 80% vegetated roof).

GRA [m²]: Green roof area = **fr * FP**.

ff: Fraction of facade greenery (e.g. **ff** = 0.25 for 25% vegetated facades).

GFA [m²]: Green facade area = **ff * 2 * (l + w) * H**.

Basic formula GDF:

$$\text{GDF} = \frac{\text{GRA [m}^2\text{]} + \text{GFA [m}^2\text{]}}{\text{FP [m}^2\text{]}}$$

Consequently, higher buildings with vegetated facades have a higher GDF, since the total amount of greened façade area increases. High buildings with moderate greenery can even have a higher GDF as compared to low buildings with a higher proportion of green. A factor of GDF > 1 represents a building that overcompensates the amount of green surface compared to the paved footprint area of the building. Example calculations for the GDF will be presented in the following chapters.

The green cooling factor (GCF)

Based on the GDF considerations, the evapotranspiration cooling energy of the



Fig. 1 Illustration of different greening parameters used to calculate the Green Density Factor (GDF), see list below for details. The footprint of the building is marked as FP, the green façade areas as GFA, and the green roof area as GRA.

plant belt on the outside of the building can be calculated. At the same time, the building releases the HVAC and electrical energy into the micro-climate. The Green Cooling Factor (GCF) relates the cooling energy of the vegetation to the HVAC energy of the building. The relevant parameters for calculating the **GCF** are:

The GCF reflects the total heat load compensation of buildings released into the micro-climate. A value of $GCF > 1$ means that the building releases more cooling energy by evapotranspiration as compared to the heat load as a result of the HVAC usage.

Example calculations of the GCF are presented in the next chapters. The GCF formula can be converted according to demand, as shown below.

$$GCF = \frac{EVE [kWh]}{HVAC [kWh]} = \frac{WC [l] * EEF [kWh/l]}{HVAC [kWh]}$$

My formula allows one to calculate the evapotranspiration energy of the building (cooling of the micro-climate) if the GCF and the building's HVAC are known. For example, a building with $GCF = 2$ and a total HVAC usage of 1,000,000 kWh per year will release 2,000,000 kWh of cooling energy into the micro-climate. This is twice as much as the heat load it releases due to HVAC. The advantage of this calculation is to predict the amount of necessary water supply and the amount of cooling energy (in kWh) that will be released into the cities micro-climate.

The formula allows one to calculate the HVAC energy for a building of which the GCF and the evapotranspiration energy are known. Alternatively, the water consumption WC and the GCF may be known, which also lead to the HVAC usage. The advantage of this calculation is that it allows to calculate the allowance of HVAC for the building in order to operate the building micro-climate neutral ($GCF = 1$) or better ($GCF > 1$).

Evapotranspiration energy (EVE)

If liquid water converts into the steam stage it extracts thermal energy from the environment which is known as evapotranspiration cooling (adiabatic cooling) (Ouldboukhitine et al. 2014). If the absorbed energy is equal to the energy needed to turn water in vapour at the given temperature, it is described as “latent heat”

The energy needed to convert liquid water into steam (EVE) mostly depends on the temperature of the water (and to some weaker extent on the humidity and air pressure of the surrounding environment). One litre of water at a temperature of 20 °C evaporates to 1673 litres of steam, which requires 0.68kWh/l. Water with a higher temperature requires a lesser amount of evaporation energy. Other authors (Betzler 2012b; Kravcik et al. 2008) calculate/use with slightly different values, ranging from 0.63-0.68 kWh/l at 20-30°C air temperature (SenStadt 2010a; Pfooser et al. 2013; Schmidt 2008; Sheweka & Mohamed 2012). For the explanations and lectures presented now and onwards the following value will be used, corresponding to a water temperature of 20 °C:

Amount of water evapotranspiration

Studies show that the dominant way (58%) of green roofs to absorb energy from the surrounding micro-climate is evapotranspiration (Feng et al. 2010). This thermal effect on green buildings has attracted more and more attention recently (Ouldboukhitine et al. 2014). Therefore, this study will focus on the evaporative cooling capacity of plants exclusively, as it is the main factor contributing to cooling of the buildings and the surrounding micro-climate.

To know the cooling ability of plants it is necessary to know the water consumption/evapotranspiration. However, the variability is rather high, depending on factors such as the plant species, geographic location of the

building, orientation of the wall with respect to the sun, shading effects, the density of the plants, etc. For the sake of better comparison, a fixed value is used for each of the two regions for which the case studies are presented. In reality, it may vary with the local temperature and types of plants used for the greenery.

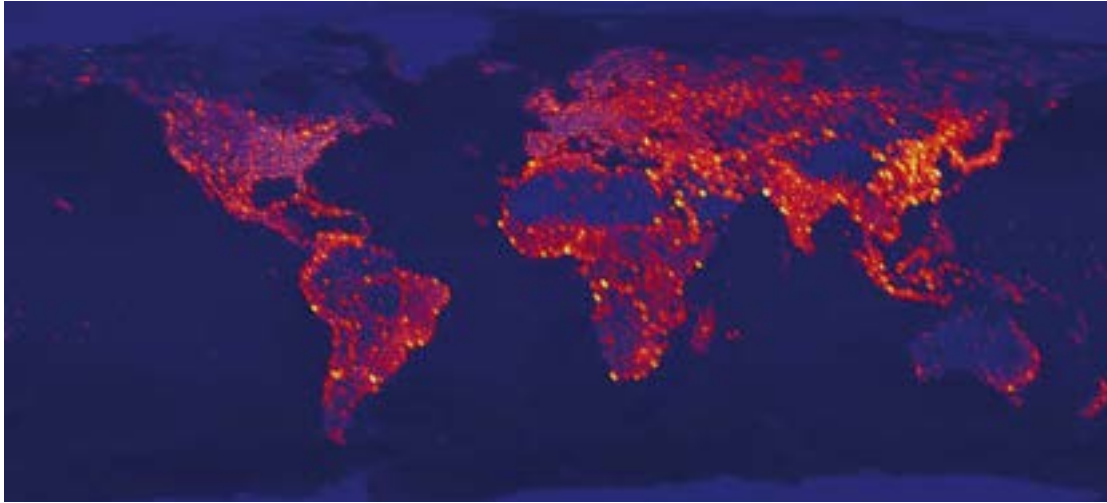
Under the premise of optimal water supply, plants realise their maximum transpiration. Under drought conditions, on the other hand, water consumption will have to be adjusted (Tsang & Jim 2011).

3. ON A WORLD SCALE

The GDF/GCF can also be applied to larger regions than individual buildings, as outlined in the previous excursion). Even the application to the whole world is possible in order to estimate the effects and benefits of vegetated buildings as a global approach to restore the water cycle and address the urban heat island effect.

However, one has to keep in mind, that the world consists of many different climate zones (including different amounts of rainfall) and many different regional characteristics, such as different house sizes, different economies (and therefore different levels of energy consumption), etc. Therefore, a world-wide estimate of the effects of greenery using the GDF/GCF factors can only be used as a rough estimator – the effects will strongly differ in the individual regions.

For example, in some regions, the houses might be too small to be fully vegetated by the desired amount of greenery to compensate the HVAC energy consumption. In other regions, the amount of water needed to compensate for the HVAC heat load release might not be covered by the local rain precipitation. Also, cultural and architectural differences and differences in regulations will require different approaches in terms of a master-plan to transform the corresponding city spaces.



Graphic: heat distribution and usage world wide.

However, a rough estimate on the global effects of vegetated city spaces world-wide can be achieved by the following considerations: the global energy consumption, the estimated surface of sealed city space, and the average rain precipitation. Combining the estimates of these three numbers will allow to calculate a rough handle on the compensation power 'energy usage heat release' versus 'cooling capacity of greenery'.

General approach:

The general working assumption will be as follows: All surface area that is paved/sealed in the city spaces all over the world will cause huge amounts of rain water to be flushed away. Without the paved city spaces, this amount of rain would have been evaporated by forests, grass lands, etc. and caused a corresponding cooling through evaporation cooling. If one manages to capture this amount of lost rain again by means of vegetated buildings and use it locally for evaporation cooling on vegetated buildings, one can support/recover the local water cycles and cool the city spaces and therefore reduce the urban heat island effect observed in cities world-wide. Comparing the world-wide evaporation cooling achievable in this assumption with the world-wide energy

consumption will allow to estimate the GCF factor of the world.

Land cover, sealed surfaces:

The most difficult to obtain number is the land sealing of the world. Different countries are using different methods and data bases to measure the level of sealing which makes it hard to compare or combine the individual results. Recent approaches in satellite-based measurements, however, will help to come to a more solid conclusion about the level of soil sealing and its trends.

The amount of sealed surfaces by human influence was estimated to be (in 2010) around 595,000 km² (Elvidge et al. 2010; Sutton et al. 2010).

More data on land cover can be found at <http://landcover.usgs.gov/globalandcover.php>

Rain recovery and cooling capacity:

Exact estimates of the world-average rain precipitation are challenging and are based (beyond local measurements) on model-based extrapolations and corrections. Therefore, the

numbers quoted in literature differ within a certain range. However, the average amount of rain precipitation seems to be reconstructed in the order of about 1000mm/year (Pidwirny, M. Global Distribution of Precipitation. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. 17 April 2008). This amounts to 1000 l/m²/year.

My Ph.D. thesis developed a calculation framework that relates the vegetation cover of a building to the area of the paved footprint of the building. In a second step, the cooling effect of the building vegetation on the surrounding microclimate is estimated. The introduced factors can be used in terms of town planning regulations in order to standardize environmental parameters for buildings.

The introduced factors are called the Green Density Factor (GDF) and the Green Cooling Factor (GCF).

The aim of this work is to develop the above factors (GDF and GCF) as a quantitative and a qualitative measure of the green volume. These new factors will enable an easy to use tool in urban planning questions. Adequate, for example, to the factors GFZ or GRZ, used in nowadays German city planning. GRZ is the "Grundflächenzahl", a measure for the sealed footprint in relation to the property size (for example: GRZ = 0.4 means that 40% of the property size can be covered/paved with buildings). GFZ is the "Geschossflächenzahl" which informs about the allowance of total number of floors (for example, VII means the building can be constructed with 7 floors maximum).

The factors GDF and GCF, introduced, will address architects (since roofs and façade surfaces will be affected), developers/planners (detailed decisions based on the predictions) and decision makers (politicians) – as well as a variety of specialists working in the fields of water management, city climate and sustainability. The factors allow to adjust/optimize the entire building regarding its

shape, the energy systems and the exterior greenery towards environmental buildings and cities. Furthermore, the factors will allow cities to set guidelines for upcoming construction projects.

The GDF relates the amount of exterior greenery on façades and roofs to the paved footprint of the building. The more exterior areas are vegetated the higher the GDF. Following this approach, the negative effects on the city climate as a result of paved areas can be (over)compensated by exterior vegetation, including other positive consequences that follow. It should be noted, however, that there are other negative effects resulting from paved city surfaces (e.g. on the soil and ground water) that cannot be recovered by vegetated buildings alone.

Based on the GDF, the Green Cooling Factor (GCF) will allow to calculate the cooling impact of the building vegetation. The cooling effect is a result of evapotranspiration of the plants. The cooling capacity measured in kilo-Watt-hour (kWh) per year will be compared to the building energy used in heating, ventilation and air condition (HVAC), as well as the electrical components of the building installation. The HVAC systems produce mainly heat that so far is released into the city spaces. This released heat will be compared with the cooling capacity. Again, overcompensation can be achieved as consequences of the vegetation. An overcompensation can directly be read from the calculated GCF value: For example, GCF = 1.5 means, that for each 100kW from HVAC heat load injected into the micro-climate, an amount of 150kW of cooling capacity (150%) are added to the micro-climate by the building vegetation.

The factors are applied to different example buildings located in the climate zones of Hamburg (Germany) and Hong Kong (China) in order to illustrate their general capabilities – since both cities require a different focus in terms of sustainable city planning. In these

cases, a 25% vegetation cover of facades and an 80% vegetation cover of roofs is assumed. It is shown, that in both cases the amount of local rain precipitation is sufficient to feed the evapotranspiration of the vegetated facades and vegetated roofs to achieve a cooling that overcompensates the heat load injected by the building into the micro-climate. Furthermore, the factors are used to estimate the potential to compensate the heat load caused by the energy consumption of the whole cities of Hamburg and Hong Kong. Therefore, the factors allow to easily predict cooling energy capacities for different regions and different sized areas.

Both, the GDF and the GCF will be factors that provide specialists with a clear framework at the very beginning of the planning procedure. Architects and city planners (e.g. governmental city planning agencies) can determine the degree of exterior greening and the expected cooling using these factors. Therefore, all the benefits for each city quarter can be included/predicted individually. Using this approach, architects and city planners are able at a very early stage to include it into a life-cycle-assessment of the building and increase its value through the benefits of the exterior greenery. An outlook for a potential implementation of the factors into the city planning process is discussed based on the

example of the “Hafen City” Hamburg at the end of the thesis.

Combining this world-wide amount of rain precipitation with the surface area of sealed soil, one can calculate the total amount of rain water that is lost per year:

$$\begin{aligned} \text{Lost rain} &= 595,000 \text{ km}^2 * 1000 \text{ l/m}^2/ \\ \text{year} &= 5.95 * 10^{11} \text{ m}^2 * 1000 \text{ l/m}^2/\text{year} \\ &= 5.95 * 10^{14} \text{ l/year} \end{aligned}$$

If captured using vegetated buildings and city spaces and used for evaporative cooling, this huge amount of rain water will lead to a cooling capacity of:

$$\begin{aligned} 0.68 \text{ kWh/l} * 5.95 * 10^{14} \text{ l/year} \\ = 4.05 * 10^{14} \text{ kWh/year} \end{aligned}$$

In other regions, the rain might be strong in a rainy season, but dry periods would let plants on vegetated buildings suffer. Therefore, it can be expected, that the overall efficiency of the cooling mechanism will be compromised to some degree. However, the general order of magnitude (that a compensation is achievable) will probably hold true. More detailed predictions for individual regions will require to take into account the local parameters (rain, climate, energy consumption, etc.) of the corresponding region.

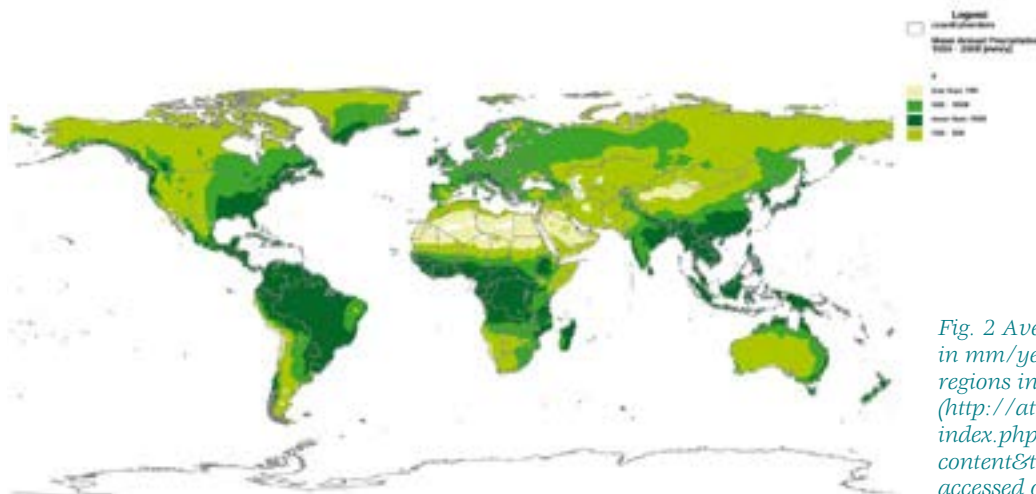


Fig. 2 Average precipitation in mm/year for different regions in the world (http://atlas.gwsp.org/index.php?option=com_content&task=view&id=94, accessed on 29.03.2016)



CAPÍTULO 18

INNOVACIÓN EN ÁREAS VERDES URBANAS: RETOS Y OPORTUNIDADES

Joaquín Sicilia

Arquitecto, Director de Sicilia y Asociados Arquitectos

Julián Briz

Catedrático Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid

1. ANTECEDENTES

El progresivo proceso de urbanización está llevando a las ciudades a más de 70% de la población mundial, dando origen a grandes núcleos, con serios problemas de contaminación, abastecimiento de materias primas y creación de residuos entre otros aspectos. El modelo urbano actual no es viable, con una degeneración de la calidad de vida de sus habitantes, lo que obliga a soluciones viables y sostenibles a lo largo del tiempo. (Briz J., Köhler M, De Felipe I. 2015).

La naturación urbana, como incorporación de la naturaleza a nuestro entorno, tiene efectos individuales y comunitarios en los ámbitos socioeconómico, ambiental y recreativo. A nivel individual hay una apreciación estética, un menor coste de funcionamiento de la vivienda con menor consumo energético, y mayor duración de los materiales de construcción, aunque se elevan los costes de mantenimiento.

No podemos menospreciar la oportunidad empresarial de nuevos negocios, con beneficios directos y una responsabilidad social corporativa (Laureau X., 2015).

En el aspecto comunitario además de la mejora ornamental, se produce un impacto medioambiental de la calidad del aire, disminución de la isla de calor, y mejora energética y gestión del agua de lluvia.

La biodiversidad se ve impulsada por las condiciones de las paredes y cubiertas verdes, dado que la escasa profundidad del sustrato favorece biotopos de pantas débiles autóctonas que compiten con otras plantas más fuertes y que en terrenos más fértiles tienen más capacidad de arraigo. Estos ecosistemas urbanos asientan también una fauna local de pájaros, mariposas, invertebrados e insectos. En los edificios abandonados se aprecia la progresiva invasión de la naturación a través de líquenes, musgos, gramíneas y otras especies nativas.



Edificio itdUPM. J. Sicilia

Exponemos en este capítulo algunos elementos básicos para la sostenibilidad urbana, las líneas de trabajo para aplicar innovaciones que aborden los problemas, y finalmente a título de estudio de caso, el laboratorio de Arquitectura Sostenible y Agricultura Urbana (LA-BAU), ubicado en el campus de Moncloa de la Ciudad Universitaria de Madrid (www.green-roofs.com, 2017) donde se plantean líneas de trabajo tanto técnicas como socioeconómicas.

2. MODELO URBANO SOSTENIBLE: INDICADORES DE EVALUACIÓN

Para que una ciudad sea sostenible, debe contemplar su evolución histórica, la situación actual y futura, partiendo de los recursos disponibles, (United Nations Public Administration Network (2014)) como préstamo recibido de generaciones venideras, no como herencia recibida.

Hay una serie de escenarios que podemos identificar:

- Nivel de autoabastecimiento y dependencia externa de recursos naturales (energía, materias primas)

- Calidad del entorno (aire, acústica) expresando los niveles deseables y los realmente existentes. Índice de gases CO₂, NO_x partículas en suspensión, entre otros elementos.
- Calidad del espacio, como equilibrio y distribución del mismo con zonas verdes y de recreo con su grado de accesibilidad
- Ocupación del territorio, como relación entre el volumen edificado sobre la superficie urbana total.
- Nivel de eficiencia en el metabolismo urbano, evaluando los flujos de entrada y salida de productos y servicios
- Interacción social, entre diversas culturas, profesiones, edades y grupos de vecinos en general
- Estructura organizativa, tanto desde el punto de vista administrativo para resolver los problemas de la comunidad, como por los equipamientos disponibles y organización de eventos.

Para todos ellos, la naturación urbana tiene una capacidad de respuesta, con unos pará-

metros de sostenibilidad entre los que podemos señalar.

a) El espacio verde urbano disponible, diferenciando entre la naturación en el suelo y en altura: La superficie verde se mide en metros cuadrados y el volumen de arbolado en metros cúbicos. Un índice del Espacio Medio Urbano sería la relación entre (Superficie + Volumen) Verde/(S + V) Total

b) Proximidad de los espacios verdes a los ciudadanos (parques, jardines, cubiertas y fachadas verdes) con un índice de:

- En el suelo: Superficie > 1000 m² a menos de 200 m

- En el suelo: Superficie > 5000 m² a menos de 750 m

- En el suelo: Superficie > 1 Ha a menos de 2 Km

- En el suelo: Superficie > 10 Has a menos de 4 Km

Cuando se trata de naturación en altura (en el propio edificio o colindantes) estará en función de la superficie y características del vecindario

c) Estructura de las zonas verdes:

Cada ciudad puede establecer una dotación mínima por habitante, una evaluación general (superficie verde/superficie total), teniendo en consideración la contaminación aérea y acústica de la zona, demografía y salud. Se requiere una dotación mínima de 10 m² de espacio verde por habitante aunque es recomendable tener 15.

d) Nivel de biodiversidad y espacios verdes subyacentes

Las zonas verdes son el punto de base para la biodiversidad. Se plantea mantener las zonas a nivel de suelo y en altura, aprovechando la interconexión de las masas verdes ya existentes en los corredores aéreos que permiten las cubiertas, con suelos permeables y abundante biodiversidad. Las cubiertas extensivas, de bajo mantenimiento, deben priorizar especies autóctonas, resistentes a plagas y policromáticas, lo que fomentará la creación de ecosistemas naturales.

Teniendo en consideración la permeabilidad de los suelos y la existencia de los ecosistemas naturales, el índice biótico puede tener los siguientes coeficientes: A) Suelos permeables de tierras agrarios parques y jardines (1). B) Suelos semipermeables de solares y descampados (0,5). C) Suelos cubiertos verdes, de sustratos vegetales en cubiertas (0,8). D) Suelos impermeables, sin funciones naturales (0).

La naturación en los edificios tiene efectos individuales y colectivos. A nivel individual, siguiendo las tradiciones de los jardines en la antigüedad, periodo romano y medieval, los promotores y propietarios tienen apreciaciones de tipo económico (productos alimentarios, reducción gasto energético, mayor duración de los materiales de construcción), mejora del entorno ornamental y paisajístico. En el ámbito comunitario, la vecindad se beneficia de una mejor calidad del aire, disminución de la isla de calor, gestión y ahorro de agua de lluvia, reduciendo las escorrentías. El aumento de la biodiversidad se ve impulsado por las condiciones de las CE, (Whitelaw E, Matsuzaki 2015)

Una buena valoración de un edificio tiene una repercusión socioeconómica en el mercado con imagen social positiva, como muestra de preocupación por el medio ambiente, atrayendo a empresas e instituciones con una responsabilidad social corporativa. De ahí, que existan varios sistemas evaluadores que identifican aspectos esenciales, y puntúan la incidencia en el entorno

Así por ejemplo, pueden ser objeto de una evaluación positiva: materiales y recursos utilizados con mayor duración, el ahorro energético y mejora del clima, la innovación y diseño, ambiente interior. Para ciertos autores (Kula R 2005) las cubiertas verdes pueden lograr hasta 15 puntos.

Una vez evaluado el modelo urbano, se requiere una dinámica de cambio, lo que conlleva a impulsar las innovaciones

3. INNOVACIÓN EN NATURACIÓN URBANA

Considerando que el modelo actual de ciudad no es sostenible, el reto es buscar soluciones en diversos ámbitos, tanto tecnológicos como socioeconómicos que permitan resolver los principales problemas planteados. El proceso innovador, parafraseando a Bertrand Russel es inevitable, sin embargo sus consecuencias no son siempre lo más deseable. Así, hemos ido dando alojamiento en cierta medida a la fuerte demanda de los nuevos inmigrantes urbanos, pero sus condiciones de habitabilidad no son adecuadas, hacinados en colmenas de cemento y acero, dando origen a fuertes conflictos sociales y falta de integración.

La naturación urbana puede jugar un papel estratégico en este contexto, de aquí el interés en estimular y canalizar los esfuerzos hacia un patrón básico $I+D+i$ con una corresponsabilidad compartida del sector público y privado (Hendrickson M K , Porth M 2012).

La innovación (i) debe contemplar las diferentes disciplinas que participen en la naturación urbana. El diseño y la construcción han permitido ampliar el horizonte de la agricultura urbana en altura. Los edificios son capaces de soportar jardines e invernaderos en las cubiertas y enverdecer las fachadas sin problemas de humedades. Las técnicas agronómicas permiten seleccionar las plantas adecuadas con sustratos ligeros o técnicas aeropónicas e hidropónicas.

Los profesionales han venido respondiendo a lo largo de la historia con tendencias y modalidades diversas. A título de ejemplo, en arquitectura, Le Corbusier resalta en sus proyectos la importancia de las zonas verdes en sus edificios y su entorno. Sostenidos sobre columnas se libera un espacio en la base para jardinería, y en las cubiertas se implantan invernaderos y espacios verdes. Se recupera una tradición milenaria identificada con los jardines colgantes de Babilonia, y que es mantenida por otros grupos de arquitectos.

La AUA es la última frontera para ciudades con alta densidad de edificación. De un 15 a un 35 % de la superficie urbana lo constituyen las cubiertas, hoy día desaprovechadas con tendedores, antenas de TV, chimeneas y tubos de aire acondicionados (Peck S 2017).

Todo ello sin tener en cuenta las fachadas e interiores de los edificios, factibles también de aprovechar.

Hay que estimular las ideas innovadoras que permitan utilizar estos espacios infra-aprovechados, en función de las oportunidades y requerimientos de la sociedad. Se pueden crear oasis urbanos que reduzcan las escorrentías de los aguaceros y tormentas, disminuyan la isla de calor y purifiquen la atmosfera aprovechando las propiedades de las plantas como ha diseñado el arquitecto vietnamita Hung Nguyen.

A gran escala, las cubiertas verdes pueden utilizarse como verdaderas granjas productoras de alimentos, que se venden al vecindario de forma directa. En Chicago, Gotham Greens gestiona un invernadero azotea de 7000 metros cuadrados, mediante cultivos hidropónicos, con una producción equivalente a una granja de 20 Has. Las zonas verdes, pueden además emplearse como áreas de recreo, con especial interés en ciudades como Hong Kong, Tokio, donde hay paseos, gimnasios, tenis.

Otra opción es reciclar las infraestructuras abandonadas en las calles para el tráfico a distintos niveles, como ha ocurrido en "NY High line" o galerías subterráneas en "NY Low Line" que utilizan luz solar canalizada por sistemas ópticos.

Las cubiertas verdes además de invernaderos y áreas de recreo, pueden alojar producciones ganaderas, como son la avicultura que abastece de huevos frescos a hoteles en NY y cooperativas en Seattle. Hay también producción de miel, mediante apicultura en colmenas, ubicadas en azoteas, como ocurre en Paris o NY, con marca comercial de la propia ciudad.

La recogida de agua de lluvia de los tejados, ha venido siendo una tradición en países mediterráneos y climas áridos. Habitualmente se almacenaba en pozos y estanques, y aunque no es potable se utiliza para el riego y servicios higiénicos. En la ciudad además de estos destinos sirve para regular los aguaceros, en lo que se denomina zonas esponja. En ciudades alemanas, y algunas norteamericanas como Filadelfia, existe un impuesto municipal sobre el aporte de agua de lluvia de las cubiertas, del que quedan exentos los edificios con cubiertas verdes.

Las placas solares y térmicas, son otro posible aprovechamiento de las azoteas, al tener una exposición directa al sol, sin obstáculos. La nueva tecnología permite aumentar su eficiencia, al adaptar sus formas y hacerlas translúcidas lo que las hace compatible con el cultivo de plantas debajo de las mismas.

Además de la ocupación del espacio de forma complementaria, hay una mejor regulación de la temperatura aumentando el rendimiento de las placas solares. Así, podríamos seguir mencionando innovaciones específicas y relevantes, como se indica en el punto siguiente.

4. LABORATORIO DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y AGRICULTURA URBANA DE MADRID

El LABAU aborda las dimensiones anteriormente indicadas tanto de forma directa como en colaboración con otras instituciones y organizaciones sociales y responde a la necesidad de configurar un metabolismo urbano eficiente en varios escenarios, analizando la autosuficiencia funcional y metabólica de los sistemas aplicados a través de diversas áreas:

- Fachadas y cubiertas verdes tienen un sistema de sensores que recogen datos sobre temperatura, humedad, huella de carbono, que remiten a un sistema central para su posterior análisis y estudio.
- Optimización de la gestión del agua, aprovechando tanto las pluviales como las aguas grises, excluyendo las negras. Las cubiertas verdes utilizan el agua reciclada para su mantenimiento tratando de lograr un mínimo de autosuficiencia del 50%, aunque con una fuente estacionalidad, según época de



Pared verde experimental. Madrid. J. Sicilia

lluvias o segura. El Índice de autosuficiencia hídrica sería el % del agua reciclada sobre la demanda total. Simultáneamente disminuyen el grado de escorrentía que se vierte al alcantarillado. La gestión del agua controla el consumo de cada panel o modulo, identificado por sus tipos de plantas, sustratos, sistema de cultivo entre otros. En nuestro caso, tanto el agua de lluvia como la reciclada se utilizaría en el riego de zonas verdes, incluido el invernadero.

- Optimización de la gestión energética, disminuyendo el consumo y aumentando la oferta. Para ello se recurre a sistemas de construcción bioclimática, mediante aislamiento, materiales adecuados y enverdecimiento. El uso de energías renovables (fotovoltaica, térmica, eólica y biomasa) son opciones de interés. La gestión energética se aborda a través del funcionamiento de placas solares fotovoltaicas y térmicas, existentes

en las cubiertas experimentales de los Departamentos de Economía y Fitotecnia. En el LABAU, El empleo de placas fotovoltaicas translucidas facilitarán la autosuficiencia energética del sistema.

- Optimización de la gestión de residuos mediante la reducción, reutilización y reciclado de los mismos. El material orgánico y vegetal puede reciclarse mediante el autocompostaje que se utiliza para la sostenibilidad de los espacios verdes. En el proyecto se experimentará sobre las posibilidades del reciclado de productos orgánicos y utilización de productos como la lana de oveja, en el sustrato.
- En colaboración con otras instituciones se analizan aspectos de integración social, desarrollo de cursos, publicaciones, seminarios, pagina web (www.pronatur.es) y otras actividades de difusión.



Casa del jardinero Lázaro Vela. J. Sicilia



Foto Jardín Delicias. Zaragoza. Autor. J. Sicilia.

- Programa de contaminación aérea. Los análisis se realizarán en los gases del medioambiente y en los desprendidos de la caldera de calefacción. El CO₂ será remitido al invernadero de la azotea, al igual que el NO₂, previa su descomposición en N y O, y absorbido por el componente planta sustrato.
 - El calor desprendido de la caldera servirá para calefacción del invernadero, sin emisión a la atmosfera y reduciendo con ello el efecto isla de calor en el centro de la ciudad.
 - La biodiversidad es otro aspecto a considerar. El proyecto estudiará las especies vegetales que ofrezcan ventajas de adaptación al medioambiente y sostenibilidad en el mantenimiento.
 - Experimentación sobre especies vegetales productoras de alimentos y ornamentales que puedan ser de mayor utilidad en Madrid.
 - El equipo investigador tiene una patente en Agricultura Urbana, y el proyecto fue seleccionado como preferente dentro del Programa Actúa UPM.
 - Además de los aspectos señalados, la Agricultura Urbana Integral ofrece una serie de bienes públicos intangibles, que benefician a la sociedad tales como el paisaje, lugares de recreo, punto de encuentro de relaciones sociales. En el LABAU, se fomentarán los encuentros entre investigadores, actores sociales (ONG, Agrupaciones de Huertos urbanos,) funcionarios, empresarios, desarrollándose seminarios y conferencias, tanto nacionales como internacionales.
 - Colaboración con otras estaciones experimentales ubicadas en campus universitarios, centros públicos y privados.
- Con todo ello podemos afirmar que LABAU es un exponente de edificio en permanente



evolución. Esa es su génesis conceptual. Parte de unos principios básicos tras la renovación de las naves de mantenimiento de la ETSAAB (Agrónomos) de la Politécnica de Madrid, y desde ahí, a partir de la interrelación disciplinar, pretende convertirse en un exponente de la investigación de la economía verde. Incorporando todos aquellos elementos y sistemas correctores que lo conviertan en un referente de edificio bioclimático capaz de evolucionar constantemente y mostrar los efectos y resultados de diferentes sistemas experimentales.

La envolvente tecnológica planteada es en sí misma un edificio laboratorio, contemplada como un sistema activo capaz de configurar a la carta e incorporar todos los avances que la tecnología vinculada a la economía verde pueda plantear. Se desarrolla a partir de una estructura acoplada al edificio con carácter reticular modulado para flexibilizar al máximo la incorporación de los diferentes elementos, sistemas y materiales a utilizar, logrando una perfecta integración entre componentes naturales y artificiales.

Esta envolvente, constituye en sí una nueva piel del edificio, configurándole una imagen tecnológica abierta en constante proceso de evolución, acorde al concepto pretendido para el laboratorio bioclimático de agricultura urbana integral, suponiendo un enfoque innovador en el diseño del lugar.

Su presencia pone en valor el conjunto de espacios públicos de la actual Escuela y se significa como un elemento referencial en las circulaciones del campus universitario para ser un icono de innovación tecnológica, pero también una pieza que integra sutilmente los elementos de la naturaleza con las texturas y variaciones a partir de las diferentes luces del día en la fachada.

Naturación en su más pura expresión que interrelaciona la naturaleza y el mundo de los símbolos y los sentidos a través de los propios materiales.

Nuevamente, estos parámetros, han convertido un lugar a través de su presencia en un espacio público de encuentro, reconocible por sus usuarios, esta vez dentro del campus de universitario excelencia de la Moncloa Madrid, en el corredor verde experimental de naturación urbana.

BIBLIOGRAFIA

Briz J., Köhler M, De Felipe I. (2015). Green cities in the World. Second edition. Ed. Agricola

Hendrickson M K , Porth M (2012)"Urban Agriculture: Best practices and possibilities" University of Missouri Extension

Kula R 2005. "Green roofs and the LEED green building rating system" Proceedings in the 3rd Green roof conference Washington DC 2003. Toronto Cardinal Group

Laureau X. (2015). "Agricultures urbaines: Un vivier d'opportunités entrepreneuriales" Pour pag159-166

Peck S. (2017) "7 ways cities are transforming urban rooftops" Megan Barber 5 September.

United Nations Public Administration Network (2014)" Socioeconomic governance and management" www.unpan.org/DPADM/ socioeconomic

Whitelaw E , Matsuzaki "Introductory manual for greening roofs for public works and government services in Canada" Toronto Public works and government services

www.greenroofs.com, Project of the week; November 2017



Bosco Verticale(c).
Restuccia Giancarlo

CHAPTER 19

MEASURABLE BENEFITS OF GREEN FACADES

Martin Pauli

Senior Architect, Arup

Rudi Scheuermann

Global Leader Building Envelope Design, Arup

1. MOTIVATION AND AMBITION

In ever denser cities the space for “green infrastructure” such as parks, green recreational spots and trees in street canyons is being depleted. What is often considered and belittled as an expensive “green architectural decoration” is however an important element in our built environment which must not be underestimated. Besides the many health and well-being aspects resulting in significant stress relief for human beings, there are a number of effects which have serious influence on the micro-climate in our built environment and the sustainability of building operation which could justify higher upfront investments.

A global Arup research study provides insights into the impact of green building envelopes on our urban ecosystem. An ecosystem which is subject to drastic changes regarding available space, mobility, food, water and the general

way people live in cities. More than fifteen Arup specialists around the globe aimed to quantify the frequently discussed benefits of green building envelopes regarding their potential to mitigate urban noise, air pollution and heat. Five global cities – Berlin, Hong Kong, Melbourne, London and Los Angeles – have been evaluated. Unsurprisingly, both the morphology and the geographical and climatic context have a significant impact on noise, pollution and heat. Working with a variety of digital tools, our teams were however able to prove the positive contribution made by green envelopes to our urban ecosystems.

2. KEY FINDINGS

The study proved that green façades can result in local reductions in concentrations of particulate matter, typically between 10 and 20%. Moreover green façades can reduce sound levels from emergent and traffic noise sources by up to 10 dB(A). Green façades are

most effective in reducing UHI in cities with a height-to-width (H/W) ratio greater than 2 – very dense urban city centres like Hong Kong or Melbourne fall into this category – peak temperature reductions of up to 10°C having been modelled. However the most important finding is that green urban infrastructure, no matter where it is applied or how large certain areas are covered, there is always a positive resonance of people which appreciate the visual quality and all associated benefits which have a positive impact on the quality of their daily life.

3. AIR POLLUTION

Background

The policy initiatives to date have concentrated on the reduction of emissions at source (i.e. from vehicle exhausts) but these have failed to reduce concentrations in large urban areas sufficiently to below standards set nationally and by the World Health Organization. As a result, further measures are required to reduce concentrations of particulate matter in cities; the use of green façades is an approach that offers the potential to provide significant mitigation, as the leaf surfaces of the plants intercept and remove particles from the atmosphere. The main mechanism of particle filtration in plants is the deposition of particles on the surfaces of leaves. This is a complex phenomenon that is not yet thoroughly understood, because it depends on many factors related to the particle matters, the properties of the plants, the pollution distribution in the urban context, and the structure of the wind field.

Methodology

This study has used computational fluid dynamic modelling to determine the effectiveness of green envelopes to reduce pollutant concentrations. It has examined how the different street and building configurations in five major world cities (London, Berlin, Melbourne, Hong Kong and

Los Angeles) affect the air flow at street level and over a green façade, and then predicted the level of removal for particulate matter from the atmosphere. CFD simulations were undertaken for a reference wind of 4 m/s from the west. The simulations are based on a simplified street canyon configuration, with west wind over the buildings. Additionally, two pollutant sources were included in the model: a) pollution drifted by the urban wind which could be considered as the background pollution, and b) pollution from car exhausts.

Influencing factors

The local impacts of air pollutant releases vary widely according to the local meteorological conditions. Wind speed is an important factor in diluting pollutant releases, and wind direction is crucial for determining which location pollutant emissions may impact. In urban configurations, the wind speed inside street canyons depends on the aspect ratio of the streets and their relative orientation to the prevailing wind direction.

While the particles size (and shape) and the meteorological parameters are generally dictated by the context, the plant species selection and the plant configuration inside the urban context are factors that should be seriously considered during the urban design. From the filtration capacity point of view, one of the most interesting characteristics that should be considered during the selection of the plant is the density of leaves, otherwise known as the leaf area index.

Results

The biggest advantage of green façades is their capacity to reduce air pollution inside the street canyons without increasing pollutant concentrations at pedestrian level. This is because green façades represent large green areas that do not interfere in the wind structures created inside the street canyons, and are aligned with main flows that carry the pollutants. Green façades can result in local



BIQ Haus mit Algenfassade (c) Bernadette Grimmerstein

reductions in concentrations of particulate matter, typically between 10 and 20%. The reductions are localised within the street canyon, and overall reductions on the air mass in the city as a whole will be much lower. However, green envelopes do provide an opportunity to improve air quality in selected areas.

Melbourne - has a high urban density. The typical street canyon has an average aspect ratio of $H/W = 2.5$. The wind inside the street canyon forms a vortex that does not penetrate the whole depth of the street, leaving the part near the ground unaffected. Pollutants from traffic sources are concentrated at the bottom of the street canyon in the leeward side, and ascend through the leeward façades. Pollutants above the roof level are brought into the street canyon in the air passing down the windward façade.

Berlin - the case of Berlin is similar to that of London. The urban configuration has a typical street canyon aspect factor of $H/W = 1.2$. The air forms a single recirculation vortex inside the street canyon, going down through the windward façade and up through the leeward.

The pollutants perform identically to those in London in our test case.

4. ACOUSTIC NOISE

Background

Street canyons are typically made up of hard and dense materials such as concrete, brick, asphalt and glass that are sound reflecting and increase the overall noise level on the street. While green façades cannot effectively mitigate direct sound, they can absorb sound that would otherwise be reflected between building façades or bend round their corners, reducing the overall level of noise. Green façades have the potential to reduce both ambient noise, i.e. the background sound of a city made up of many noise sources, and noise from individual sources such as motorcycles, sirens and construction equipment that exceed the ambient level.

The acoustical benefits of green façades go beyond measurable reductions in noise level. They can create a psychological perception of quiet that complements physical reductions of sound energy. They can also introduce and

unmask sounds of nature, creating a more pleasing soundscape. A recent survey of 105 people living in apartments facing a noisy ring road in Ghent, Belgium, found that residents with a view of vegetation were five times less likely to report annoyance due to noise than residents without any greenery in their view. In lab studies, the colour green alone has been shown to reduce perceptions of loudness compared to other colours.

Methodology

To gain an initial understanding of how green façades reduce noise in different cities, Arup experts carried out two independent computer modelling studies, the first isolating the acoustical effect of individual urban variables and the second predicting their combined effect on typical urban layouts in Hong Kong, Berlin, London, Los Angeles and Melbourne. In a first modelling study, the specialists from Arup investigated the impact of different architectural and urban variables on a green façades effectiveness at reducing street-level noise using the acoustic computer simulation programme CATT. The purpose of the study was twofold: first, to determine the general range of sound level reductions

likely to be achievable with the installation of green façades, and second, to assess the relative significance of the individual variables. Computer modelling studies were conducted on a range of different streetscape and building configurations to evaluate the effect of building and block depth, height, length, and road width on urban noise. Point sources (single noise events) and line sources (continuous streams of traffic) were studied in each configuration.

Influencing factors

For our base condition, we modelled a 300-m-long street canyon representing the typical block structure of Wan Chai, a densely populated neighbourhood in Hong Kong with narrow streets and tall buildings. Two scenarios were tested, the first representing a typical street canyon with hard, sound-reflecting façades, and the second a street canyon treated with green façade modules with sound-absorbing properties.

Three block lengths were tested. The base condition resulted in sound level reductions of 3 - 6 dB (A) starting about a third of the way down the first block and continuing almost to



Citigroup Data Center, Frankfurt (c) Christian Richters



City of London skyline. London. UK ©Daniel Imade Arup

the end of that block. The long block condition resulted in a similar pattern, with a slightly longer area of 3 - 6 dB (A) reductions. In the short block condition, 3 - 6 dB(A) reductions were limited to a small area at the end of the first block and around the intersection into the cross street.

Three street canyon widths were tested, one 10 m narrower than the base Hong Kong condition and one 10 m wider. The narrower condition resulted in 3 - 6 dB (A) reductions starting somewhat closer to the source than in the base condition and continuing until the very end of the first block. In the wider condition, no reductions greater than 3 dB (A) were observed. Overall, the results of this test show that street width can have a moderate impact on emergent source noise reduction, with narrower streets resulting in greater reductions spread over larger areas.

Two façade geometries were tested, the base condition flat and the second condition featuring three 3-m-deep balconies at 10m vertical intervals up the façade. Significantly greater levels of sound reduction were observed in the balcony condition, with reductions of 3

- 6 dB (A) extending round the corner of the first intersection and partway down the second block, and reductions of 6 - 10 dB (A) covering a large area of the first block. The results indicate that in a street with balconies or other overhangs, applying a green façade will have a much more noticeable acoustical impact than in a street with relatively flat façades. This is likely because horizontal façade elements trap more sound energy at street level than those of a flat, vertical façade.

Three green façade coverage patterns were tested. In the base condition, the entire façade was covered in green façade modules. In the second condition, only the bottom 10 m of the façade was covered. In the third condition, the top of the façade was covered, excluding the bottom 10 m. The first two conditions resulted in an almost identical coverage pattern, while the third condition showed no sound level reductions exceeding 1 dB (A).

The results suggest that to efficiently reduce noise levels, a green façade must cover the base of a building but need not cover upper levels. This finding is only valid, however, for sources and receivers at street level.

For sources and/or receivers located above street level, sound reflections from the upper façades of buildings in the street canyon will contribute to the overall sound level. If priority is given to reducing noise reduction for building occupants rather than streetlevel occupants, or if elevated noise sources such as aircraft dominate the soundscape, a greater green façade coverage area will likely be needed to provide noise attenuation.

Results

Green façades can reduce sound levels from emergent and traffic noise sources by up to 10 dB (A). They do not significantly improve noise level reduction close to a noise source, but show greater improvements with increasing distance from the source up to the point where ambient noise begins to dominate. Green façades are unlikely to have a noticeable acoustical impact when a neighbourhood's sound environment is dominated by distributed sound sources.

In general they are likely to have a greater acoustical impact during the night, when ambient noise levels are lower and the soundscape is dominated by emergent sound sources.

5. URBAN HEAT ISLAND

Background

The Urban Heat Island (UHI) effect describes an urban area whose temperature is considerably warmer than the surrounding suburbs and rural regions. Metropolitan hardscapes are the primary cause of this effect: concrete sidewalks, asphalt roadways, steel and glass façades, and other solid surfaces which radiate rather than absorb heat. This increased heat takes a toll on urban spaces, buildings and the community, and may result in increased peak energy demands, amplified air pollution levels, poor water quality, higher cooling costs, modified wind and precipitation patterns, heat-related illnesses and an

increase in mortality rates. The United States Environmental Protection Agency advises that an urban area with a population exceeding 1 million may be 1 – 3°C hotter in the daytime and up to 12°C warmer in the evening than surrounding areas. Each decade since 1900, New York City's temperature has increased at a mean rate of 0.16°C; a rate that is expected to speed up in coming years. The New York Panel on Climate Change predicts that the average temperature in NYC will increase by 2.3 - 3.2°C by 2050; at which point residents will experience a tripling of heat waves.

Innovative methods to document and calculate rising temperatures in cities continue to emerge. One such example is the work recently completed at Monash University in Melbourne, where researchers are utilizing drone technologies to map the urban forms contributing to UHI.²³ This detailed examination will provide the basis for future designers and builders to gain thorough knowledge of the causes of UHI and drive them to develop innovative solutions. Nature is the best and most recognised method of remediation. Plants absorb the sun's energy, provide shade and perform evapotranspiration – evaporation from the leafy parts of the plant – 24 resulting in lower urban temperatures, cooler surfaces and cleaner air. So increasing the quantity and quality of vegetation, parks and open green spaces within a city can reduce urban temperatures.

Methodology

In this study the climatic impact of green building envelopes for buildings and cities has been examined in order to quantify a potential mitigation of the Urban Heat Island effect. For both cases a CFD modelling approach was chosen, and the results have been compared with recent studies found in the literature.

Building level - to assess the reduction in building energy consumption, a typical office building for each city was modelled within its typical surrounding. Office occupancy,

equipment, lighting and building constructions are based on the California standard Title 24. It is understood that building construction and schedules vary between different cities and countries. However, for the benefit of relative comparison and as a first pass, it was decided to keep the modelling inputs the same for all locations.

Urban level - to calculate the effect that vertical green façades would have on an urban scale would require a relative comparison for a city with and without green façades. The effect of the green façades would most likely be perceived in a reduction in air temperature over the urban landscape, typically referred to as the Urban Heat Island (UHI) effect.

Results

Arup experts found that there is a variety of city-associated parameters like the grid, solar radiation, canyon height-to-width ratio,

thermal mass and the percentage of green space that influence the effect independent of green envelopes.

Some of the main trends that were identified suggest that:

- Green façades increase benefits for pedestrian circulation. They effectively remove 50% of the solar radiation (typical reflected shortwave + longwave radiation).
- Green façades are most effective in reducing UHI in cities with a H/W ratio greater than two. Very dense urban city centres would fall into this category (e.g. Hong Kong, Melbourne, Madrid etc.). Reductions in peak air temperatures of the order of 10°C were predicted.
- Mean reductions in UHI are much less than peak reductions. For most areas the mean reduction is a fraction of a degree



Green Islands in the city(c) HansChris



Green Walls (c) Pavel Losevsky

compared to the peak. This is in line with UHI observations that tend to be extreme during heat waves.

- For cities that are already fairly green, such as Berlin, green façades are of limited benefit compared to cities that have more concrete and are denser (e.g. London, Madrid, Hong Kong).
- Cities with wide streets and lowrise buildings (Los Angeles) would benefit from more greenery at street level since those areas trap most of the solar gains.
- Green façades have the biggest impact on reducing building energy consumption in cities where the H/W ratio of the street canyons is less than one and even more so in sunny climates.

Several studies claim that energy reductions of 20 - 50% are possible with green façades.

This study was not able to align with those results. According to the Arup research results for most typical office buildings a reduction in mean and peak energy consumption of 2 - 8% can be achieved. The reduced effects are likely due to the facts that:

- Building walls are well insulated and solar gains are less critical.
- Most of the environmental cooling demand enters through the windows.
- Since that was left unchanged, the cooling reductions are minimal.
- Internal loads tend to dominate cooling demand for most office buildings with a decent construction.

The amount of energy reduction can be categorised by climate and building topology. A reduction of 8% was predicted for a low-rise

office building in Los Angeles, whereas denser European or Asian cities only saw reductions of 2 - 3% in annual and peak cooling energy.

6. SUMMARY

The existing green infrastructure, such as parks, street trees, gardens and green recreational spots, already provides significant ecosystem services to cities. But as greater stresses on cities is applied through increased urbanisation, climate change impacts and uncontrolled development, this will not be enough. Our buildings provide enormous untapped potential in making our cities not only more attractive to live in but also more resilient.

Countries like Singapore have shown that, with limited space and a fast growing population, green infrastructure both horizontal and vertical is essential to attracting and retaining talent. The Sustainable Growth Strategy for Singapore targets 0.8ha of green space for

every 1,000 persons and aims to increase greenery in high-rise buildings to 50ha by 2030.

Apart from the softer benefits in terms of well-being, placemaking and aesthetic enhancement, there is significant scientific evidence to show that this also brings improvements in air quality, Urban Heat Island reduction, noise reduction, stormwater attenuation and urban biodiversity. There is also the potential for energy production and urban agriculture helping to reduce transport waste.

In order to be realised, these benefits require a distributed and managed “green infrastructure” network on both a city and a neighbourhood scale. This can help reduce the load on traditional infrastructure systems. One size does not fit all; the potential green envelope interventions are numerous, often bringing with them multiple benefits in each case.



Pocket Habitat © Thomas Graham Arup

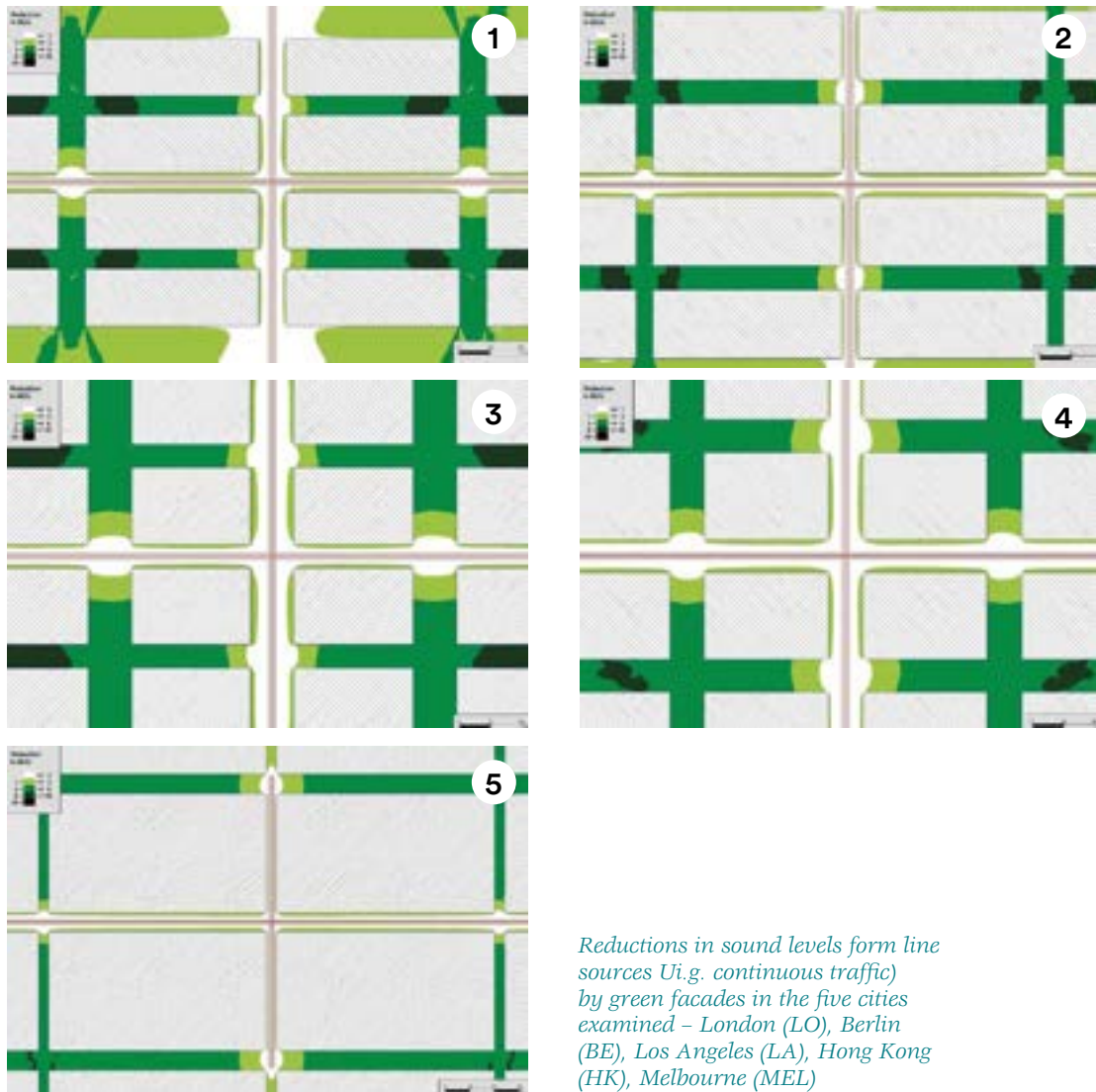
7. OUTLOOK

Current green façade systems are highly innovative and highly technological systems. They are being applied all over the world, however only in very small context. This is mainly due to high prices and effort for maintenance. In order to benefit more widely from the effects discussed above, the application of systems need to be upscaled significantly.

Therefore Arup in collaboration with manufacturers aims to significantly reduce

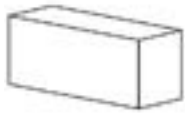
the complexity of green envelope systems. We believe these low-tech systems would require a more reasonable upfront investment, moreover they would be more or less self-sustaining over the course of the year. We would select the plants more appropriately to the individual climatic and geographic context. We would design green facade systems so that they allow for a maximum of design flexibility so that architects and designer can adapt it according to their specific design requirements.

ANNEX

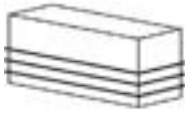


Reductions in sound levels from line sources (e.g. continuous traffic) by green facades in the five cities examined - London (LO), Berlin (BE), Los Angeles (LA), Hong Kong (HK), Melbourne (MEL)

Base: Flat Facade



Facade with 3m balconies



● 100 dB(A) source ■ 1-3 dB(A) reduction ■ 3-6 dB(A) reduction ■ 6-10 dB(A) reduction 0 25 50 m

Impact of overhangs on noise reduction from the application of green facades

Base: 19 m-wide canyon



9 m-wide canyon



29 m-wide canyon



● 100 dB(A) source ■ 1-3 dB(A) reduction ■ 3-6 dB(A) reduction ■ 6-10 dB(A) reduction 0 25 50 m

Impact of street canyon width on noise reductions from the applications of green facades

Base: 150 m-long block



250 m-long block



50 m-long block



● 100 dB(A) source ■ 1-3 dB(A) reduction ■ 3-6 dB(A) reduction ■ 6-10 dB(A) reduction 0 25 50 m

Impact of different block lengths on noise reductions from the application of green facades

Base: Full facade coverage



10 m coverage at base



Upper facade coverage



● 100 dB(A) source ■ 1-3 dB(A) reduction ■ 3-6 dB(A) reduction ■ 6-10 dB(A) reduction 0 25 50 m

Impact of green facade coverage area on noise reduction from the application of green facades



Kunming, China
 "A rooftop farming
 project".
 M. Köhler

CAPÍTULO 20

REGENERATIVE URBAN AGRICULTURE (A WHOLE SYSTEMS APPROACH)

Interfacing Microbial Ecologies with Vertical Grow-Systems

Ross Eyre

Postgraduate student at the Sustainability Institute
 Stellenbosch, South Africa

PREFACE

“Complexity science is moving us away from a linear, mechanistic view of the world, to one based on nonlinear dynamics, evolutionary development, and systems thinking. It represents a dramatic new way of looking at things—not merely looking at more things at once. Extending our understanding about the dynamics of complex systems into the domain of human systems is the new frontier.” - T. Irene Sanders (executive director and founder of the Washington Center for Complexity & Public Policy).

The aim of this chapter is to provide an introduction to complex systems thinking in relation to the design and implementation of urban agricultural systems (vertical grow-systems specifically). This chapter will explore the importance of **diverse microbial**

ecologies and **regenerative strategies** in urban agriculture (with an emphasis on vertical & rooftop farming), highlighting direct benefits as well as those that extend beyond the immediate, measurable effects within the urban farm's locale. In cultivating a whole-systems perspective to urban agriculture, designers recognise that the best human systems are those that are harmoniously nested within broader natural systems. Because of this nested relationship, the solution space is seen as complex and interaffecting, allowing designers to intuit and generate solutions that are more holistic while simultaneously weeding out solutions that externalize harm. This approach sees agriculture as a fundamental starting point from which to address existing social challenges and to mitigate future risk. The 'optimisation algorithm' for this approach to urban agriculture is to improve human wellbeing in

cities across all metrics by improving local food production, cultivating healthy microbiomes and optimizing ecosystem services (e.g. water & waste management), to name a few. The suggestion is that if urban agriculture designers understand and model their systems on the homeodynamics of living systems (antifragility, regeneration, emergence, etc.), cities can engender greater synergy (and therefore abundance) across the whole system (from soil to cities to the planetary biosphere).

A whole-systems approach to agriculture, which will be referred to as *Regenerative Agriculture* in this chapter, provides not merely a set of design strategies, but a powerful new paradigm that transcends 'sustainability' by aiming to generate processes that make the

entire system (i.e. the planetary biosphere) antifragile. While the greatest positive impact (i.e. planetary-scale) of Regenerative Agriculture will be realized when large-scale/ industrial agriculture and land-use sectors make the transition, we can still reap countless benefits by taking a regenerative approach to urban agriculture.

This chapter will highlight some of these benefits as a means to illustrate the potential of this approach, but will serve mainly as an introduction to the dynamics of living (complex) systems and how we can apply this understanding to vertical agriculture in the form of probiotic amendments and regenerative designs & strategies.

PART 1: A WHOLE SYSTEMS APPROACH TO URBAN AGRICULTURE

1. INTRODUCTION TO COMPLEX SYSTEMS

Cities are one of the flagships of human civilization. They are arguably one of the most complex systems humanity has ever created, and yet our best cities weren't designed by pioneering individuals or large teams of sophisticated urban planners. Christopher Alexander, the influential architect and design theorist, alluded to this in his famous article 'A City is Not a Tree' when he spoke of modern, artificial cities as being "entirely unsuccessful" because they lacked something that natural cities were imbued with. That missing 'ingredient', he suggested, is found in ancient cities that have, over time, constructed themselves around the "patina of life".

What Alexander alluded to in his distinction between 'ancient' and 'artificial' cities could just as well be described using terms borrowed from complexity theory. In this case, emergence describes a characteristic of systems whereby the interactions of its 'parts'

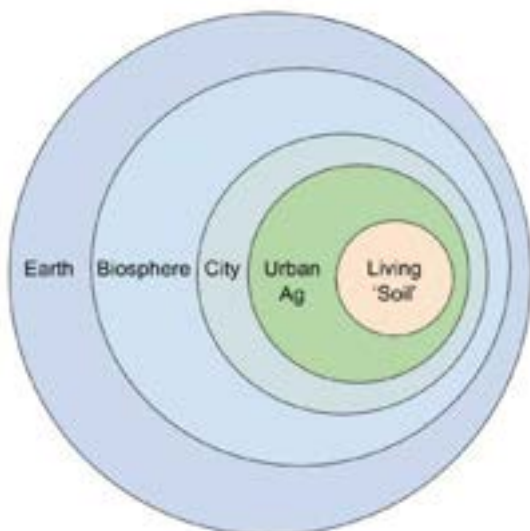
(or, more accurately, its 'subsystems') leads to behaviour or qualities which were not present in or expressed by the parts themselves. One could view this process of emerging complexity as a fundamental impulse of the universe itself. For example: the increasing orderly complexity in atoms over time leading to living organisms. From this perspective, a freeze-shot of an organism at a particular moment in time is the image of the universe at some complex configuration. The 'living' organism is then the total **emergent expression** of a particular cross-section of the universe (i.e. the physical organism and its environment).

So, how does this make us better urban agricultural designers? By utilising the perspectives gained from complexity theory, and specifically the concept of emergence, we become better ontological designers because our thought patterns more closely model the actual behaviour of the universe. The best human systems will be those that synergize with the natural systems that support and give

rise to humans and their systems in the first place, thereby generating positive feedback loops and increasing nature's capacity to consciously (the human aspect) generate higher order complexity. Considering the effects of global food production on the environment and human wellbeing, it is imperative that the dominant systems employed by industrial agriculture undergo a transformative shift towards greater synergy with the natural systems that underlie it.

In complex adaptive systems, the behavior of the whole arises out of a complex dynamic network of interactions, leading to emergent behaviors and properties that are impossible to understand or predict with linear/reductionist thinking. Just as a forest arises out of the innumerable interactions between interdependent systems (e.g. plants and the underground network of mycelium and bacteria, trees and the countless animals that depend on them, etc.), we can similarly view cities as arising out of a complex, interdependent network of interactions.

We have to start seeing human and natural systems as nested inside one another at varying scales, and to dispel the idea that any system is fundamentally separate from any



other system. If we treat the city as we would a living ecosystem, with the understanding that each 'subsystem' is interconnected to and interdependent on all others, we will more readily design and optimize our human systems to reflect this holistic understanding.

The impetus of complex living systems, such as ecosystems, is to engender greater levels of synergy and to suppress processes that lead to dissociation and self-termination. Therefore, when designing subsystems (e.g. urban agriculture) of a city, the aim should be to upregulate processes that: **1) increase the self-organizing & self-supporting capacities of the city, 2) optimize for systemic abundance, and 3) do not externalize harm.** This framework seeks to generate processes that are regenerative across the whole system, and as a result engenders greater levels of complexity and abundance for all agents and participatory sub-systems.

2. REGENERATIVE URBAN AGRICULTURE

"At the systemic level, Regenerative Agriculture is a way of thinking, not just a set of practices or design strategies. We as human beings begin to see ourselves as nature itself, understanding that if we seek to develop the landscape we must also develop ourselves. Especially important to grow is our capacity to see and manage the complexity of interdependent living systems, which requires pattern recognition and, eventually, pattern generation." - Levels of Regenerative Agriculture (Whitepaper)

In order to address the challenges that lie ahead, and for humanity to transition safely to a sustainable and regenerative civilization, it is imperative that our cities lead this transition through a continual evolution towards greater homeodynamic complexity and antifragility. Climate change and mass urbanization will place increasing pressures on cities, necessitating more localized production and distribution of vital resources such as water, food and energy.

A regenerative approach to urban agriculture can alleviate some of these pressures by:

1. Increasing the resilience of our local food systems.
2. Closing energy-loops (upcycling 'waste').
3. Providing ecosystem services (environmental detoxification / beneficial runoff).
4. Increasing climate change resilience (e.g. decreasing the urban heat-island effect).

Clearly, sustainability and resilience are not sufficiently revolutionary terms for the type of civilization people envision for the future. What does it mean, for example, to 'mitigate harm' by aiming for sustainability in an environment that has already suffered damaged? While resilience and sustainability are necessary attributes for any self-organizing system, they are insufficient in describing the impetus of the evolution of complex adaptive systems such as the biosphere. This is why we use the terms 'regeneration' and 'antifragility' to describe the kinds of systems we envision for human civilization and the synergy between nature and technology.

The term 'antifragility' means that the resilience and self-organizing capacity of a complex system actually increases as a response to 'external' pressures (i.e. the system benefits from disorder) (Taleb, 2008). While 'regeneration', in this context, denotes the system's ability to generate systemic abundance, often through increasing orderly complexity, and to actually reverse negative processes instead of merely being resilient to them. For example, Regenerative Agriculture aims to reverse climate change through processes such as 'carbon farming', which aims to strategically sequester atmospheric carbon by storing it in the soil and aboveground biomass.

In the second part of this chapter, we'll bring our understanding of Regenerative

Agriculture to urban agriculture by exploring four powerful probiotic amendments and two regenerative vertical grow systems.

3. THE ECONOMICS OF FOOD-SYSTEMS

Our current global economic system, although rather efficient at generating 'capital', fails to generate processes that are holistically beneficial for all agents and the commons (Schmachtenberger, 2017b). A regenerative urban farm that does not produce 'profit' for its stakeholders will be swimming against the forces of free-market capitalism, and may become financially unsustainable despite providing immeasurable complex value to its community. Why should such a seemingly successful operation come to an end?

"Evolution is defined by increasing orderly complexity leading to increased synergy and emergent properties. This is what nature does. This is the opposite of what we are doing when we simplify complex value. This form of economics is fundamentally anti-evolutionary, anti-resilience, and anti-wellbeing." - Daniel Schmachtenberger

When we simplify complexity (for example; by reducing the complex value provided by a regenerative urban farm to numbers on a balance sheet) we inevitably end up optimizing our systems to fit our success metrics (i.e. generate more capital). We might, for example, notice that our customers prefer apples that are uniformly red in appearance, and begin optimizing our systems to produce only uniformly red apples. In the process, we might unknowingly lower the nutritional density of our apples because we did not see the solution space as complex and inter-affecting. When our success metrics are narrowly defined, we invariably miss holistic solutions and end up with ones that are inadequate, unsustainable, or, even worse, that externalize harm.

Although rather simplified, the red apple example illustrates the fundamental misalignment of our true desires (for example;

our desire for nutritious and abundant food) with the underlying incentive system of macroeconomics (i.e. generate capital & hoard resources). As long as the operation of a farm depends on its ability to generate capital, then this structural incentive will act as an antagonist to holistic and regenerative processes. How can we optimize for global food abundance in an economic system that incentivizes the accumulation of resources under separate balance sheets, and where the price (and consequently the profit for stakeholders) of a commodity (i.e. food) is determined by its scarcity? (Schmachtenberger, 2017b). In other words, even if an urban farm is 100% regenerative it won't be structurally resilient as long as it operates within these kinds of incentive systems.

Community-supported agriculture (CSA), where the incentives of each stakeholder are aligned with the incentives of all stakeholders, provides a more compelling approach to regeneration and the creation of resilient local food systems. Although CSAs may still be indirectly influenced by perverse incentives (if the 'stakeholders' still operate in a capitalist economic system), they are working examples of 'holistic solutions' that operate in spite of the 'anti-evolutionary, anti-resilience, and anti-wellbeing' forces of the dominant macroeconomic system.

4. LIVING-SOIL

Solutions in urban agriculture may take on an infinite number of configurations and possibilities by virtue of the uniqueness of urban locales and their nested relationship to the larger urban sprawl. The variability of these contextual factors (climate, existing infrastructure, cultural dispositions, resource availability, market forces, etc.) makes the possibility of fitting urban agricultural systems into a neat little box a ridiculous proposition. Instead of defaulting to linear thinking in the face of complexity, we can study the fundamental dynamics of soil-plant ecosystems and design our grow-systems to

work synergistically with their self-organizing principles. In this approach, we can ensure that any human system built on top of this foundation will be at least partially robust. Further optimization on our side can then work to actually increase the antifragility of the whole system. In this section we'll address some of the challenges of modeling the dynamics of 'living-soil' and some design approaches for increasing synergy between living and human systems.

When dealing with complex adaptive systems such as the soil-food-web, processes that are not holistic risk producing unintended consequences (e.g. depleting soil microbes through over-fertilization) and externalizing harm (e.g. eutrophication / toxic runoff to neighbouring ecosystems). The truism 'we optimize what we measure' is relevant to this discussion because it highlights the difficulties we face in our attempts to improve living systems through the old paradigm of linear thinking. Our analysis of the state of soil-health, for example, will depend on the value metrics by which we define and measure the system. If we measure the health of our soil using narrow metrics such as yield-per-acre, then we will optimize the system to produce these characteristics by, for example, increasing our nitrogen fertilizer inputs. While a 'solution' such as this may initially meet the goals of increased yield, the results are temporary and require increasing inputs year-over-year because the activity undermines the self-supporting capacities of the system. We can call this system of 'chemical' farming fundamentally self-terminating.

So how does one find optimal solutions when the regulatory dynamics of the system are interconnected and interaffecting? For one, we need better measuring tools in agriculture so that we are always aiming and course-correcting towards holistically optimal solutions. And two, our designs need to take into account the existing regulatory dynamics of the soil-plant ecosystem. When our designs are geared towards optimizing

and upregulating the natural system's self-organizing capacities, we work with the impulse of nature and generate increasing abundance through system-wide positive feedback loops.

The first part of the puzzle (measuring & analyzing capabilities) is difficult due to the complexity of soil ecosystems. With today's genetic analysis tools, we can identify only a tiny fraction of microorganisms present in soil samples at the species level, and we know even less about their individual roles in the soil-plant-ecosystem. Each soil-plant ecosystem is uniquely different as well, with varying microbial communities evolving continually, both responding to changes in its environment and to the signaling from plants and other organisms. We should not be surprised that our solutions fail when we try to reduce such elegant complexity to simplified mechanistic processes. However, our inability to accurately model soil-ecosystems should not deter us from proceeding to design grow-

systems (the second part of the puzzle) with the dynamics of these living systems in mind. We do not need to know every detail about the soil-ecosystem to design systems that work synergistically with them. The beauty of complex adaptive systems is that the details don't matter. This is what we mean when we say that a system is resilient. In fact, healthy soil-ecosystems are more than just resilient - they are antifragile!

In part 2 of this chapter we'll apply the concepts of regeneration and antifragility to urban grow-systems. By utilizing strategies that enhance microbial diversity, and by designing systems that interface synergistically with these microbial communities, we can increase the resilience and productivity of our urban farms - thereby improving our local food systems and increasing biodiversity in our urban environments. Since this book's focus is on vertical farming, we will explore regenerative grow-systems that apply generally to rooftop and vertical farming.

PART 2: PROBIOTIC AMENDMENTS | REGENERATIVE GROW SYSTEMS & STRATEGIES

The three primary topics explored in this chapter are:

1. The cultivation and application of probiotic amendments.
2. Two examples of regenerative, vertical grow-systems.

1. KEY PROBIOTIC AMENDMENTS

In this section, we'll look at a few powerful, probiotic soil amendments that can prove highly advantageous to the regenerative urban farmer. Although compost is a powerful probiotic amendment in its own right, we'll need entire libraries to do justice to the topic. Instead, we'll be exploring some of the less familiar amendments whose effects

and application work synergistically with the grow-systems discussed in the next section in order to illustrate examples of a regenerative approach to vertical farming.

I. Lactic Acid Bacteria Serum (LABs)

Observed/known benefits: Elimination of foul compost odours, elimination of toxins, increased nutrient and mineral assimilation, increased pathogen resilience

Lactobacillus are a group of indigenous beneficial microorganisms used in natural farming for a variety of purposes, as well as in the production of food items derived from the fermentation of carbohydrates, such as

sauerkraut, miso, yogurt and kefir. Their major metabolic byproduct is lactic acid, hence their more colloquial name 'lactic acid bacteria'.

In probiotic and natural farming circles, these bacterium are often referred to as the 'microbial workhorse' of soil ecosystems, providing a number of important functions in the anaerobic decomposition process and in the production of beneficial enzymes and antibiotics. These are highly abundant organisms and can be cultivated with ease almost anywhere on the planet. By making a concentrated LAB inoculant, we are able to continually introduce large numbers of this microbial workhorse to our grow and composting systems, ultimately making them healthier and more productive. In the case of waste-upcycling, the decomposition and foul-odour arresting abilities of LABs makes this probiotic amendment an indispensable tool in the arsenal of the regenerative urban farmer.

Cultivation of LAB is a simple process and can be done anywhere. This process typically involves using a carbohydrate source (rice is most frequently used) to concentrate the indigenous microorganisms present in the air. The food source is then left to ferment for up to a week, whereupon LAB will be present in sufficient quantities when temperatures of between 20-25 degrees Celsius (68-77 °F) are reached. Saturation of the food source in milk subsequently allows the LAB to outcompete all of the other indigenous microorganisms that may be present, resulting in the separation of a coagulated carbohydrate mass and the pure LAB serum.

LABs can then be applied as a soil drench or foliar spray in a reasonably diluted form.

II. EM Bokashi

Observed/known benefits: Increased plant growth and vigor, rich source of beneficial microorganisms, increased pathogen and disease resilience, increased rate of organic decomposition, etc. (the benefits are too plentiful to list).

EM, or 'Effective Microorganisms', is a term used to denote a particularly synergistic microbial consortium initially discovered by Dr. Teruo Higa. This powerful microbial inoculant (typically containing a variety of lactic acid bacteria, yeasts and photosynthetic bacteria) has brought with it a growing list of applications and beneficial effects, including: as an agricultural biostimulant, improving animal health (including humans), environmental detoxification and waste remediation. Although each strain has, when isolated, limited functional and adaptive capacities - when we bring them together to form a synergistic microbial consortium, the behaviour of the 'collective organism' is noticeably more robust and adaptive than any of its individual members.

EM (or activated EM) can be used as a powerful probiotic amendment in its own right, or used in the fermentation of a carbohydrate source such as bran to make **EM Bokashi**.

EM Bokashi refers to the organic fertilizer produced by the fermentation of an organic material (typically wheat bran) using EM•1. The resulting fermented wheat bran can be used as a probiotic soil amendment or to further ferment organic waste such as kitchen scraps. The end-product of this fermentation process is typically buried in the soil as an incredibly rich source of microorganisms (and their byproducts), nutrients and minerals.

For the regenerative urban farmer, Bokashi composting provides an effective way to upcycle organic waste due to its quick fermentation period, elimination of foul odours, and the ability for bokashi to break down substances that may not be ideal for vermicomposting or alternative composting methods, such as bones, meat and more acidic foods.

III. Biochar

Observed/known benefits: increased microbial biomass, increased soil aeration, reduces soil acidity, improved carbon sequestration

This crystalline form of carbon is made from the combustion of hardwood without the presence of oxygen. Its potential as a probiotic soil amendment can be attributed to its porous crystalline structure, which increases natural soil aeration and encourages a high density of microbial inhabitants. Hyphae of the fungi penetrate easily into the biochar structures and form connections to these microbial communities, helping to establish the soil-supraorganism. Consequently, biochar that has been introduced to the soil has been observed to amplify the beneficial effects associated with an increase in microbial biomass.

In addition to the benefits related to increased microbial activity, biochar allows the soil to sequester carbon for much longer periods due to its high stability. This 'hard' form of carbon (recalcitrant carbon) can remain stable in the soil for over a millennia, as opposed to a ~12-year carbon-cycle observed in typical soil-plant ecosystems. Thus, the role of biochar

in helping to reverse climate change through 'carbon farming' initiatives is promising. It is important to reify, however, that solutions that are not holistically considerate risk externalizing harm, and biochar is no exception. Careful considerations should be made before pursuing biochar as a large-scale agricultural biostimulant or carbon sequestering device.

2. REGENERATIVE STRATEGIES & GROW SYSTEMS FOR VERTICAL FARMING

In this section we'll explore two 'vertical' grow-systems that each employ various design strategies and techniques from a regenerative perspective. Both systems are soil-based and heavily probiotic orientated in order to capitalize on the benefits of a diverse microbial biomass. The reason for choosing to explore soil-based systems over soilless systems such as hydroponics or aquaponics in this chapter is twofold - namely:



(See my DIY guide on Medium for constructing 'automated' wicking beds: <https://medium.com/@rosseyre>)

1. Healthy soil-based systems are inherently antifragile (they typically engender a higher diversity of microorganisms, as well as being less reliant on human systems and human intervention).
2. Soil-based systems are typically less costly (in terms of both the initial capital investment & running costs) and are therefore less influenced by economic incentives (as discussed in part one of this chapter).

The above reasons do not seek to discredit or disregard the advantages of soilless systems (of which there are many), but these systems are highly context dependent and since we are exploring vertical farming from a whole-systems and regenerative perspective, the aim here is to illustrate the approach with systems that are inherently antifragile and generalizable to a broader application.

I. System (A)

Sub-irrigated | Raised-Bed | No-Till | EM Bokashi

The first grow-system ('System A') is arguably not a true 'vertical farming' system in the sense that it does not grow plants vertically like that of a tower or stacked-tray setup. However, it is still applicable to vertical farming because its space-saving nature (plants can be grown closer together in sub-irrigated raised-beds due to higher nutrient and water availability) makes it ideal for rooftop agriculture. For this reason, and because it is 'raised' from the ground, I am classifying this system under vertical agriculture for the purposes of this chapter.

Sub-irrigated raised-beds:

The combination of sub-irrigation and raised-beds/planters offer a number of advantages for the regenerative urban farmer. The advantage most salient to our exploration of regenerative strategies is the irrigation system, which allows for consistent and efficient watering without the need for electrical

pumps or complicated pipe networks. This makes sub-irrigated planters an affordable option for those wanting to increase their water efficiency while decreasing their water management requirements. In addition to improved water management, sub-irrigation ensures that the soil-substrate never dries out, making this irrigation technique beneficial for both plants and their microbial symbionts.

Note: Something to be aware of with sub-irrigation is that the over-saturation of the lower soil layers can prove problematic for plants that have deep root-systems with a preference for drier conditions.

Irrigation mechanism:

Water is drawn up from a reservoir below the planter into the soil through capillary action (hence the term 'wicking' bed). The reservoir can be topped up manually through an inlet or, alternatively, one can automate this process by installing a simple valve (e.g. toilet-flush mechanism) and pipe leading to a water mains or rainwater tank.



Toilet-flush valve for a 'Wicking Bed'
Images: Ross Eyre

A great way to continually introduce probiotic cultures to this system is by simply pouring your microbial serum (such as LABs) directly into the inlet. The microbes will be transported with the water as it wicks upwards, thereby permeating the entire growing substrate.

Advantages of sub-irrigation:

- I. Improved water management ('self-watering' - with the opportunity for full-automation)
- II. Increased water efficiency (plants draw exactly what they need, decreased water evaporation)
- III. Optimum conditions for microorganisms (substrate never dries out)
- IV. Microbial serums can be added directly to the inlet
- V. Reduced salt build-up from water evaporation on the surface
- VI. Weed prevention (weeds have difficulty taking root due to the dry surface soil)

No-Till

For probiotic grow-systems we want to avoid activities like tilling at all cost. By minimizing disturbance to the soil we allow soil life to 'work' the soil and to determine its structure through natural processes. By having a no-till policy we maintain the soil structure, resulting in increased microbial activity and the natural development of complex networks and associations for the transport of 'energy' throughout the soil-plant ecosystem. By actively tilling the soil, we oxidize existing humus and destroy one of the crucial aspects of the soil's 'energy transportation system': the mycelium networks. This leads to further dissociation of the soil-plant supraorganism, and before you know it, you're reaching for pesticides and artificial fertilizers because the system has lost its adaptive/self-organizing capacity.

Note: Another advantage of raised-beds is that one can avoid soil compaction by eliminating the need to step on the soil in order to tend to the plants.

EM Bokashi

The reason for directly including EM Bokashi as part of this system is because it synergizes well with the no-till and sub-irrigation aspects of this grow-system. When we are reusing the same soil season after season, with zero tillage, we have to ensure that sufficient nutrients and minerals are being put back into the system. Cover crops and polyculture are two indispensable strategies for ensuring the cycling of nutrients and minerals throughout the soil-plant ecosystem, as well as for maintaining microbial biomass through the seasons. Another effective strategy for 'feeding' the soil is by incorporating EM Bokashi bran (containing fungi and their spores) into your soil and mulch layer. By adding a mulch layer of nutrient-rich organic litter, we are effectively simulating the way a forest would feed itself by having the mycelium reach up into the debris layer (usually leaves and dead animals), break down the organic components with the help of other microorganisms, and subsequently reintroduce them to the soil ecosystem below. This is biomimicry in action, and it provides an elegant solution to some of the problems associated with no-till by organically fertilizing the soil from above.

Note: Another reason to add a mulch/debris layer is to keep the soil surface protected from harsh sunlight. This prevents evaporation from the surface while protecting microorganisms inhabiting the top layers.

II. System (B)

Grow-Tower | Vermiculture | Integrated-Composting

This vertical 'keyhole garden' design from South Africa is an ingenious probiotic grow-system that integrates the benefits of vermicomposting with the space-saving characteristics of vertical towers. It is an elegant example of regenerative design, and illustrates the benefits of creating synergy between human systems and living systems in urban agriculture.



*Design & Images:
Sharn Jackson | GroPro
(<http://gropro.co.za>)*

The tower body is typically constructed from a plastic drum or any wide container that can be manipulated to form 'plant pockets'. Depending on the height and girth of the drum, this tower can have anywhere from 25 to 45 'plant pockets' (including the space on top) without compromising the gardener's reach or its space-saving characteristic.

Vermicomposting

What sets this system apart from typical grow-towers is the incorporation of the internal vermicomposting cylinder. This allows for integrated composting and delivery of nutrients and minerals directly to the soil-plant ecosystem. Vermicomposting is considered by many to be the holy grail of composting, with the end product being comprised of a humus ('castings') and a leachate ('worm-tea') containing a variety of indigenous microorganisms, the enzymes they produce, and water-soluble nutrients and minerals. Contaminants that may be present in the organic waste are reduced considerably by the worms and microorganisms through this process.

This integrated vermicomposting grow-system is suitable for personal home use and small-scale urban farms who want to maximize

growing space while upcycling organic waste. A fleet of integrated-composting grow-towers on a rooftop farm could theoretically digest all of the kitchen waste being produced by a restaurant or café below, thereby forming a closed-loop energy system while producing organic produce in the process.

Composting Mechanism: Organic waste such as kitchen scraps are continuously added to the central cylinder, whereupon the worms and microorganisms begin the process of digestion. The worms are able to enter in and out of the composting cylinder through a fine mesh, aiding in the distribution of castings. When the system is irrigated from above, the water naturally filters down through the soil and into the composting cylinder whereupon it forms the nutrient-rich leachate and distributes it to the surrounding soil. Any leachate that works its way to the bottom of the system is simply collected and reintroduced to the system, either in its undiluted form or in the next watering cycle.

Note: In addition to the regenerative benefits of vermicomposting, the closed-loop watering and vertical nature (reduced evaporation) of this system makes it highly water efficient.

CLOSING THOUGHTS & THE EMERGENT EFFECTS OF REGENERATIVE URBAN AGRICULTURE

"Factoring the methane from livestock, the energy used in the production and distribution of food, food wastage, and the decreased photosynthesis from dead zones and deserts, food production is arguably the most significant contributor to climate change.

Factoring the total carbon emissions involved and the agricultural run off, food production is likely one of the most significant causes of ocean acidification." - Daniel Schmachtenberger

Even if Daniel is off the mark, and another industry turns out to be the leading contributor to climate change and ocean acidification, the effects of global food production on the environment, human health, and the wellbeing of other sentient beings cannot be understated. It is imperative, therefore, that our global and local food systems undergo a rapid transformation towards sustainability and regeneration. One such transformation will involve cities and their capacity for local food production in increasingly built-up environments. Developments in urban agriculture (such as in vertical farming and waste-upcycling systems) will help existing and future cities become more regenerative and resilient to increasing pressures like climate change and mass urbanization.

The direct, measurable benefits of adopting a regenerative (and probiotic) approach to urban agriculture are relatively straightforward, and can be known simply by observing the overall health and production capacities of the urban farm, for instance. But what about the emergent effects? These effects are extremely difficult to measure and predict due to the nature of complex adaptive systems. We can make some reasonable guesses, however,

based on what we currently know about the role of diverse microbial ecosystems in the environment and in our bodies.

In living ecosystems, the interactions and dynamics of its microbial inhabitants are fundamental to the existence of higher-order complexity beings (such as larger animals and humans). The synergistic interplay of beneficial symbiotic microorganisms provides the foundation for all life on Earth, both through the ecosystem services they provide and the direct benefits to their hosts.

Research on the human microbiota is revealing the intimate connection between autoimmune diseases and neurological disorders with that of our microbial symbionts. A recent study (Hoban et al, 2017) found that the gut microbiota of mice is involved in the regulation of MiRNAs in the amygdala and prefrontal cortex, further implicating the role of the human microbiota in depression, anxiety, other social behaviour deficits and some neurodegenerative diseases. It is clear that we are only just beginning to shed light on the role of these microorganisms in the human organism, and it is therefore reasonable to expect that a greater understanding and inclusion of beneficial microorganisms in our food systems and ecosystem services may yield considerable benefits for human civilization and the greater biosphere.

Consider for a moment the economic and social benefits that could result from the systemic improvement of human and ecosystem health through the cultivation and application of synergistic microorganisms. Urban agriculture may be an effective avenue for the dissemination of beneficial microorganisms into densely populated areas, through the food supply and beneficial runoff, for example. Based on current medical research, it is reasonable to believe that an improved microbiota for city inhabitants would dramatically reduce healthcare costs and increase human productivity and wellbeing.



Munich: Roof farming on top "Corporate Housing project". M. Köhler

In ontological and regenerative design, we understand the relationship between the organism and the environment as a dynamic, inextricably linked interplay of processes - and, through this understanding, we can take advantage of the positive feedback loops and emergent effects inherent in these complex systems. In today's Anthropocene, Humanity is the major player in the biosphere, and so our focus must shift away from self-terminating activities to activities that are regenerative and antifragile, for the wellbeing of humankind and the wellbeing of all sentient life on this planet.

REFERENCES

- Alexander, C., 1968. *A city is not a tree. Ekistics*, 139, pp.334-348
- Regenerative Agriculture Definition. 2017. Available: <http://www.regenerativeagriculturedefinition.com> [2017, October 1].
- Sanders, T.I. 2008. *Complexity systems thinking and new urbanism*. In New York: Rizzoli. 276.
- Schmachtenberger, D. 2013a. *Global Sufficiency: A system's design perspective on addressing world hunger*.
- Schmachtenberger, D. 2017b. *New Economics Series: Part III. Civilization Emerging*.
- Soloviev, E.R and Landua, G. *Levels of Regenerative Agriculture*.
- Taleb, N.N. 2012. *Antifragile: Things That Gain from Disorder*. Print ed. New York: Random House





PARTE 3

PAISAJISMO Y MEDIO AMBIENTE

PART 3

LANDSCAPE AND ENVIRONMENT

*Terraza verde Lausane.
Fuente: I. de Felipe*



Villa 3 Marias; photo
courtesy of © Paisajismo
Urbano

CHAPTER 21

TOP 10 TRENDS IN VEGETATED FAÇADE DESIGN FROM THE 1990S - 2017

Linda S. Velazquez

ASLA, LEEP AP, GRP

Greenroofs.com Publisher & Design Consultant

KEYWORDS

Vegetated façade, greenwall, greenroof, living wall, green façade, building-integrated vegetative systems, living architecture, green infrastructure

1. INTRODUCTION AND OVERVIEW

Within the last twenty years or so, building-integrated vegetative systems have moved the living architecture agenda progressively forward with millions of square feet greened on top of roofs and walls. Combining science, architecture, landscape architecture, and design is standard in the green building community, and while they are separate entities, greenroofs and greenwalls do have similarities. Covering a building's surface with living, breathing permeable plant material continues to offer multiple synergistic benefits to owners, inhabitants, and visitors of increasing beauty, well-being, food production and security, air and water purification, biodiversity, stormwater retention, social amenities, and energy savings in addition to reducing the urban heat island

effect and material replacement costs – and so much more.

Greenwalls or vertical gardens have been especially gaining popularity, partly due to their verticality – we can see, touch, and smell them much more readily than planted rooftops. Plus, the proliferation of high-profile projects from designers such as French botanist Dr. Patrick Blanc, with over 250 of his *Mur Végétal* gardens completed, has greatly increased their visibility and overall appreciation. Now more than just architectural “darlings” of ecological designers or novel showpieces, vertical gardens are being recognized as bona fide environmental practices, especially when used in conjunction with other green building and infrastructure techniques.

Innovations in technology – the creation of various different “systems” and armatures, soil-based or soil-less growing media, lighting, and other options have led to an explosion of new companies and products offering a plethora of choices. Time will tell which prove successful, and as always, sustainable best management practices need to be followed by all stakeholders, including the owner.

The rise of vertical greening, in particular as it relates to urban agriculture, and its importance throughout the world cannot be overstated. Without doubt, living walls and green facades create dramatic, attractive, and distinctive visual and ecological statements and their proliferation has permeated the architectural landscape for the long haul. Through research and my travels, I have curated a small representation of just some of the most significant green building projects covered in plants and highlighted spectacular vegetated façade design from 1990s through 2017 from across the planet.

2. TOP 10 TRENDS IN VEGETATED FAÇADE DESIGN FROM THE 1990S – 2017:

10 INSPIRING BUT TEMPORARY LIVING ART & EXPO INSTALLATIONS

Fueled by positive marketing drivers and aesthetics, short-lived living wall installations have become a hot trend, able to be dismantled and recycled easily. From museums to fairs to planted billboards, even The National Museum in London cashed in on this form of eye-catching education and corporate branding. In 2011 the living portrait 'A Wheatfield, with Cypresses' recreated Van Gogh's masterpiece, housed inside, for several months in Trafalgar Square.



ArtPrize: Breathe, Grand Rapids, MI, USA: 2014. Dave MacKenzie, founder and president of LiveWall and LiveRoof, designed and entered the freestanding greenwall "Breathe" at ArtPrize 2014, the world's largest art competition. He says, "In developing Breathe, my hope has been to convey the message that living plants have a place in our constructed world; they infuse beauty, connect us to nature, and provide the very oxygen that we breathe."

The largest graphic in Breathe faces east and includes a windblown pattern in which the white flowers spell "Breathe O2," and symbolize air. Above and below, the green patterns represent fields and forests. And the yellow in the upper right hand corner symbolizes the sun, which fuels photosynthesis, which yields O2. Breathe measured 22 feet tall at its peak and almost 150 feet long, planted with nearly 3,500 annual, perennial, and tropical plants (MacKenzie, 2014).

Milan World Expo 2015. One hundred and forty countries and international organizations participated in Expo Milano 2015 where the theme was "Feeding the Planet Energy for Life." Many pavilions opted for living architecture, including:



Breathe. Photo © Dave MacKenzie, courtesy of LiveWall.

ISRAEL PAVILION: The main structure of the “Fields of Tomorrow” Pavilion was a 70m wide and 12m high vertical field made of modular tiles used for the cultivation of agricultural crops with computerized drip irrigation. Wheat, rice and corn, sorghum, chickpea, tomato, pepper, and more were grown creating a mosaic of textures, smells and colors cultivated with the best of Israeli food production (Expo2015, 2015).

USA PAVILION: Designed by Biber Architects, “American Food 2.0: United to Feed the Planet,” featured the U.S.’ unique role in the future of food security and production using a highly integrated approach to agriculture. Promoting a global conversation about the daunting challenge of feeding more than 9 billion people by 2050, the 860m² vertical farm of 1,494 ZipGrow towers grew 42 varieties of crops (Biber Architects, 2015).



Expo 2015 Israel Pavilion by LID (Expo Milano Presstour) ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Expo_2015_-_Pavilions_-_Israel_\(16754245334\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Expo_2015_-_Pavilions_-_Israel_(16754245334).jpg)), used under Creative Commons Attribution 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>), via Wikimedia Commons.



Expo 2015 USA Pavilions - USA by Michael Wahl, LID Landwirtschaftlicher Informationsdienst - Expo Milano Presstour (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Expo_2015_-_Pavilions_-_USA_%2817376437661%29.jpg), used under Creative Commons Attribution 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>), via Wikimedia Commons.

9 LUSH RESIDENTIAL GREENWALLS

With a large budget and a little imagination, the sky's the limit for any type of architecture. But with an architect/owner as a client for a luxurious single family home and an enthusiastic developer of a high end, multifamily residential building desiring an eco-friendly building, blanketing the walls with verdant plant life is easy.

Villa 3 Marias, Morelia, Mexico: 2015. Villa 3 Marias is a stunning modern single family overlooking the Guayangareo Valley and hills with 13 separate, luxuriant hydroponic greenwalls inside and out. Totaling approximately 4,000 sf, about 11,000 plants of 35 species and 15 varieties chosen by Spanish

botanist Ignacio Solano were planted with careful consideration of light, humidity, and temperature levels.

Using a hydroponic system from Paisajismo Urbano (Paisajismo Urbano, 2015), the owner/architect Sergio Magaña Andaluz had living walls of various sizes and slopes installed at the entrance to the home, throughout the backyard, adjacent to the pool, in the living room, the kitchen - even inside the master bedroom closet with an exuberant vegetated floor to ceiling column (SMA Arquitectura 2015).

Santalaia, Bogotá, Colombia: 2015. The Santalaia is a high end multi-family residential building with one of the world's largest vertical gardens at about 33,550 sf and a height



Villa 3 Marias; photo courtesy of © Paisajismo Urbano



Santalaia; photo source: Greenroofs.com. Photo courtesy of © Groncol.

of 9 stories. Designed by Exacta Proyecto Total, Groncol, and Paisajismo Urbano, the architect's intent was to produce a uniform green tone and plant volume, using in total about 115,000 plants.

The vertical garden was constructed over a large metallic structure designed specifically for the project. Forty-two irrigation stations use water from the apartments' showers for irrigation. The plant coverage helps reduce the urban heat island effect and Groncol says 115,000 plants equal a carbon footprint compensation for 700 people; 3,000 square meters of vegetation provide oxygen for 3,000 people; and the very large green wall offers the equivalent of air cleansing for the PMM emissions of 745 cars. The lush Santalaia green wall is a reminder that we should not only live in a concrete covered city, we should be constantly relating with nature instead (Greenroofs.com, 2015).

8 SOCIAL & ECOLOGICAL SUSTAINABILITY: VERTICAL EXTENSION OF SPACE

When space is at a premium, expand the living areas by building up. Sometimes communities can take full advantage of unused space in a high urban density and create new green spaces upwards and at times municipalities call for lower building footprints or designers choose to take a bioclimatic approach.

Plaza Delicias (Delicias Square), Zaragoza, Spain: 2008. Located in a densely populated area, the Delicias neighborhood residents' association gathered support, including from the City of Zaragoza, and had a small unsightly corner vacant lot revitalized into a thriving hanging garden providing leisure and educational community space, and much needed vegetation (Greenroofs.com, 2014).



Plaza Delicias. Photo source Greenroofs.com. Photo©Sicilia Asociados

Designed by Sicilia y Asociados Arquitectura and Jardinería Vela, the award winning Plaza Delicias has flourished in the tight urban space. A vertical garden of 500 linear meters of different heights with various accesses and platforms was created offering a multitude of activities. Using 84 different plant species, over 800 m² of landscaping elements were incorporated, in addition to 530 m² of plants located at the street level. Rising to a height over 14.40 meters, the routes crisscross the plaza's space as if they were tree branches sprouting out from the trunk, creating the symbolic neighborhood tree (Greenroofs.com, 2014).

Oasia Hotel, Singapore: 2016. Designed by WOHA, the prototype intensifies land use with a tropical approach. The Oasia Hotel is a striking 190.15m high living tower with four sky terraces and a sky garden at the top which crowns the open air rooftop. Twenty-one species of creepers climb on a red and orange aluminum mesh cladding; 33 plants and trees occupy its 27 stories.

“Introducing layers of elevated ground levels allow the precious but limited ground floor

space to be multiplied, creating generous public areas for recreation and social interaction throughout the high-rise.” The club sandwich design creates a series of different strata, and four structural cores in each corner of the building free up space within the tower. WOHA says the plants are an “architectural surface treatment” and refers to the Oasia Hotel as a “perforated, permeable, furry, verdant tower of green,” (WOHA, 2016).



Oasia Hotel. Photo © K. Kopter.



Consorcio Santiago. Photo by Nicolas Saieh © Enrique Browne Architects.

Edificio Consorcio (Consorcio Santiago Offices), Santiago, Chile: 1993. Enrique Browne Arquitectos and Borja Huidobro created an early example of using a double skin façade system for cooling in hot climates with the iconic Consorcio Santiago. Its spectacular double façade consists of an inner curtain wall with thermopanel and an outer wall with three levels of vegetation from floors 4

through 15, thereby reducing solar absorption and acting as a vital environmental mitigation strategy.

Aesthetically, the vertical prow-shaped corporate office building was transformed into a 2,700 m² vertical garden. Planted with a wide variety of creeping and climbing vines on a cable and trellis system, the green



Edmonton Federal Building Living Wall Biofilter; photo source: Greenroofs.com. Photo © Jim Dobie Photography, courtesy of Kasian Architecture.

façade dramatically changes colors during the different seasons. Additional heat mitigation measures include 35 trees along with a 430 m² reflective pool with jets at street level. The two higher levels of the building are protected by a large metal visor on top of the building which protects the upper level (Browne, 2011). According to an energy study of the building conducted from 2002 - 2007, the Consorcio Santiago uses up to 48% less energy consumption than the average in Santiago (Diseño, Arquitectura, Comunicación, 2012).

7 GREENWALLS AS BIOFILTERS TO CLEANSE THE AIR

Going beyond the traditional potted plant, biowalls or living walls with biofilters increase the capacity of air filtration and pollutants, toxic particles, and biological contaminants such as mold and bacteria can be mitigated with indoor air biofilters, a special subgroup of living plant walls. "Vegetation can be used to reduce demand for mechanical ventilation by improving air-quality within buildings opportunities to utilize interior and exterior vegetation to achieve optimized energy performance," (Arsenault and Darlington, 2013).

Edmonton Federal Building Living Wall Biofilter, Edmonton, Canada: 2014. Nedlaw Living Walls designed and built the multi-award winning living wall for the new Edmonton Federal Building lobby, under the direction of architectural firm Kasian. The Living Wall Biofilter is the focal point of the large glass public atrium – the newly added grand entranceway into the rejuvenated, historic building. Much more than an aesthetic feature, this living wall biofilter is a working element of the building's mechanical system, an integral part of its HVAC system. The 2,400 sf multi-level, multi-sided living wall biofilter draws air through the wall of plants to the growth medium where biological agents consume pollutants. The clean air is returned to the building to improve indoor air quality and building performance.



Global Change Institute; photo source: Greenroofs.com. Photo courtesy of © The Greenwall Company

The vibrant layered and organic pattern of the plants makes the wall a work of art, and provides a foil for the otherwise angular and clean-lined space. A recent study predicts that in the Edmonton region, a biofilter can save \$398 – \$726 per 100 liters of fresh air generated (by the Biofilter-Nedlaw Living Walls citation). Welcoming employees and guests, the living wall provides a soft, soothing, and secure feeling while entering into the gigantic entrance.

Global Change Institute, Brisbane, Australia: 2013. The 5-story Global Change Institute is the first educational Living Building Challenge-registered project in Queensland. Designed by HASSELL, Arup, and Bligh Tanner among others, the University of Queensland's landmark zero-carbon, 6-star Green Star rated collaborative hub generates more energy than it consumes. Its glass louvers create natural ventilation and the air flows across occupied office spaces to the central atrium which acts as the building's lungs, discharging warm air through its thermal chimney. An onsite greywater system, bush tucker garden, bio-retention basin, and greenwalls enhance the building's green ethos.

The Greenwall Company installed their paneled greenwall system over the indoor air-conditioning vents in the atrium designed to draw and expel air through the plants in order to maximize dust and VOC reduction, giving a biological treatment to air in the building as well as providing amenity. The water from the bio-retention pond is recirculated through the lower vertical wetland with native rainbow fish and water plant waste then provides nutrients for the fish. Due to the small pond size, a separate recycled water system irrigates the upper greenwalls from harvested rainwater (Greenroofs.com, 2014).

6 RECREATING EARTH'S BIOMES WITH GREENWALLS

Although very popular, botanical gardens aren't the only entities recreating local and far-flung biomes for residents and visitors to enjoy, as some municipalities are joining in the fun and education with living walls.

Europa Palacio de Congresos (Europa Congress and Exhibition Hall), Vitoria-Gasteiz, Spain: 2013. In an effort to bring Álava's ecosystems to the center of the city,



Europa Palacio de Congresos; photo source: Greenroofs.com. Photo by Quintas Fotografos, Creative Commons, Urbanarbolismo (<http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-del-palacio-de-congresos-de-vitoria/>).



Europa Palacio de Congresos by Zarateman, Own work, (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Vitoria_-_Palacio_de_Congresos_y_Exposiciones_Europa_9.jpg), used under Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication (<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.en>), via Wikimedia Commons.

a large greenwall was installed on three sides of the Europa Congress and Exhibition Hall by Urbanarbolismo and SingularGreen in association with Urbaser and Zikotz. Encompassing a total vegetative surface of 1,492 m², 1,000 m² consist of a hydroponic system and 492 m² of climbing plants that cover the windows (Greenroofs.com, 2013).

At the base of the greenwall a continuous backlit Corten steel seatwall integrates informative signage, allowing visitors in both Spanish and Basque to learn about the various ecosystems along with native plant species; over 33,000 native plants of

different varieties were planted. Included are the vegetative communities of the Salburua wetlands; countryside agricultural field plots planted with seasonal crops; loamy hill ecosystems; and the beech forests of the local Vitoria Mountains. A striking framework of aluminum strips straddle the building and delineate the various zones. Portions on two sides are illuminated at night, making the convention center a dramatic focal point of the city. Another primary motive for the living wall was to capture energy savings, which adds a thermal resistance of 2,644 m².K/W, representing a 270% increase over the existing façade insulation (Urbanarbolismo, 2013).

Cloud Forest Conservatory's Cloud Mountain, Gardens by the Bay, Singapore: 2012. One of the centerpiece gardens of the multi-award winning Gardens by the Bay is the dazzling Cloud Mountain, a 7-story, cool-wet tropical montane veiled in mist, located in one the two cooled conservatories designed by Wilkinson Eyre Architects. The gigantic biodome showcases nine unique zones that recreate this environment and climate, replicating the cool moist conditions found in tropical highland regions between 1,000 meters (3,300 ft) and 3,000 meters (9,800 ft) above sea level, found in Southeast Asia, and Middle- and South America. Offering a spectacular visual and spatial experience for visitors, its curvaceous Cloud Walk and Treetop Walk pedestrian pathways ascend almost 140 feet (Greenroofs.com, 2016). Cloud Mountain's waterfall is the tallest indoor waterfall in the world and the Mountain houses galleries and a black box media exhibition themed around climate change and habitat loss (Grant Associates, 2012).



Cloud Mountain's Waterfall; photo source: Greenroofs.com. Photo © Linda S. Velazquez.



Cloud Forest, Gardens by the Bay, Singapore by Allie Caulfield, Flickr: 2012-06-17 06-30 Singapore 408 Gardens by the Bay (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20457742>), used under Creative Commons Attribution 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>), via Wikimedia Commons

Covering approximately 4,000 m² in vegetated surface area with slopes ranging from 70-85%, Cloud Mountain was created by a collaborative design team led by Grant Associates and is planted with a wide variety of colorful orchids, bromeliads, *Anthuriums*, *Begonias*, carnivorous pitcher plants, and delicate ferns. Developed with a proprietary Organic Wall System from Tropical Environment Pte Ltd to simulate a 'living skin' of a natural mountain, this 42 meter high, world-renowned mountain boasts numerous accolades and attracts millions of visitors every year.



5 HANGING GARDEN GREENWALLS

Inspired by the fabled Hanging Gardens of Babylon, designers have been enshrouding plants on buildings for millennia in the hopes of recreating a leafy landscape cascading in vegetation.

Siam Paragon Shopping Center, Bangkok, Thailand: 2005. One of the largest and most luxurious shopping centers in Asia, the vertical gardens at the Siam Paragon by Patrick Blanc (with Jacqueline and Henri Boiffils) are amazing, thriving in sumptuously green surroundings. Individual vertical Mur Vegetal panels rise from the central fountain and welcome shoppers at the mall entrance. And lush, long suspended bands of vegetation accent the various levels, meant to evoke the layered balconies of an old Italian theater.



Patrick Blanc wanted these plant strips or "Hanging Fences" to recall mighty epiphyte-covered branches of tropical trees, and chose species that would stream down over one or two yards. Plants include 15 species of *Rhipsalis* alongside *Anthurium vittaiifolium*, *Nephrolepis acutifolia*, *Aeschynanthus*, and various *Dischidia* (Blanc, 2012).



Siam Paragon Shopping Center, Bangkok

The Atlas Hotel, Hoi An, Vietnam: 2016. Dripping with vegetation, the Atlas Hotel features drapes of greenery cascading from the 5-story balconies. Designed by Vo Trong Nghia Architects, plants overhang each side of

the building to reconnect guests with nature. The hotel is located in the old town, a UNESCO World Heritage Site, and vegetation was used to soften the brick and concrete façade. The plants also provide solar shading, rejuvenate the old town, and welcome guests.

More than 100 cantilevering concrete planters filled with hanging greenery enliven the



*The Atlas Hotel.
Photo © Hiroyuki Oki,
courtesy of Vo Trong
Nghia Architects.*

Atlas Hotel on all its façade balconies, along the narrow corridors, and on the rooftop as well (Vo Trong Nghia Architects, 2016). Also, the entire ground floor is open plan, and the sheltered interconnected courtyards plus all of the hotel rooms are immersed in trailing plants. “The use of these green and natural elements embodies the particular interest of the office and the House for Trees concept: to integrate greenery into design as a way to rejuvenate urban areas and to contribute to societal improvement,” (Vo Trong Nghia Architects, 2017).

Hotel Santo Domingo Hanging Garden, Madrid, Spain: 2011. The proprietors of the comfortable boutique 4 star Hotel Santo Domingo decided to vegetate the barren interior courtyard walls since 70 out of its 200 rooms overlooked the empty space. Designed by architect Félix González Vela, a spectacular living vertical garden was created resulting in a 1,026 m² wall of greenery (including the 844 m² vegetated terraced areas) with an impressive 20 meter high waterfall.



Hotel Santo Domingo Hanging Garden; photo source: Greenroofs.com. Photo courtesy of © Hotel Santo Domingo.

“The unique design feature of this scheme is in the well-planted façades and vegetated-terraces which have green areas that approximate the gross useable-areas (i.e. GFA @ 6,033 sq.m.) of the rest of the building.” The planted areas are designed to be continuous and to ramp upwards from the ground plane to the uppermost floor in a linked landscaped ramp. “Vegetation from the street-level spirals upwards as a continuous ecosystem facilitating species migration, engendering a more diverse ecosystem and greater ecosystem stability and to facilitate ambient cooling of the façades,” (Yeang, personal communications, 2015).

Portland Expo Center Stormwater Wall, Portland, USA: 2014. Designed in partnership with GreenWorks, PC and the City of Portland Bureau of Environmental Services (BES) as a pilot project demonstrating stormwater management potential in a greenwall, it's the first of its kind in the U.S. The innovative low-tech greenwall collects roof runoff and routes it through a series of vegetated planters



mounted to a freestanding, custom steel and aluminum vertical wall structure at Portland's Expo Center.

Created with native Oregon soil and vegetation, particularly the Columbia River Gorge, the design fits within the context of the existing site and the form of the stormwater channels relate to ones found on the Expo's postmodern architectural style. At 30-feet tall and 60-feet long, the large stormwater wall makes a visual and artistic statement, and the hexagons



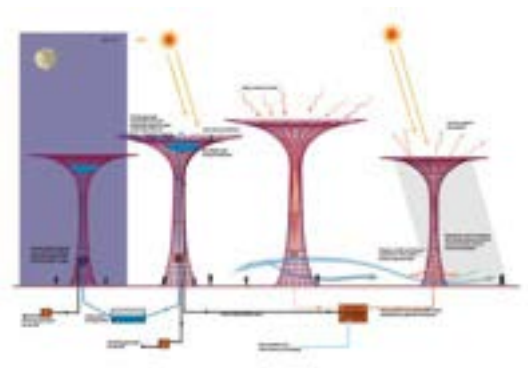
Expo Stormwater Green Wall. Photo © City of Portland, courtesy of Bureau of Environmental Services.



Supertrees at night. Photo by Darren So, © and courtesy of Andrew Grant Associates.

provide a decorative element that ties in cleverly to the EXPO's logo (GreenWorks, 2014). In addition to providing some urban wildlife habitat, "the Wall manages and treats 9,400 square feet of roof stormwater runoff, and it continues to be monitored to better understand its performance and relevance to future projects," (GreenWorks, 2016).

Supertrees, Gardens by the Bay, Singapore: 2012. Gardens by the Bay is 53-ha orchid-shaped garden plan with distinct ecosystems, and the iconic tree-like Supertrees are impressive vertical displays of tropical flowering climbers, bromeliads, epiphytes, and ferns. Designed by Grant Associates, the 18 Supertrees are home to 162,900 plants and over 200 species. At 25, 40, and 55 m high, the solar Supertrees are energy centers and some act as air exhausts for the Energy Centre and Cooled Conservatories. Eleven Supertrees have canopies embedded with environmentally sustainable functions such as solar hot water heaters and photovoltaic panels which power the two cooled conservatories,



plus provide rainwater harvesting via intelligent environmental infrastructure (Grant Associates, 2012).

Two of the Supertrees are connected by a 128-metre long aerial walkway offering visitors spectacular views from its unique 22m high perspective, while the separate Supertree-top bistro is located 50m high up. The large canopies provide daytime shade and at night the canopies come alive with sound, multi-color LED lighting, and projected media (Gardens by the Bay, 2012).

3 BUILDING INTEGRATED GREENERY: GREENROOFS & GREENWALLS LINKING EARTH & SKY

Structures swathed in plant life increase biodiversity and rehabilitate the local ecosystem, not to mention cool and beautify their surroundings. Sustainable “green” architecture is best defined by planting a building with living, breathing vegetation.

Casa Vallarta Greenroof & Greenwall, Puerto Vallarta, Mexico: 2012. Located on the Pacific

Ocean’s Bahía de Banderas, architect Ezequiel Farca + Cristina Grappin designed a stunning home driven by its extraordinary context - connecting the users with the spectacular ocean views surrounding the property. Casa Vallarta includes a 7,653 sf greenroof and a multi-level 3,090 sf greenwall oriented to the northeast. Being right next to the ocean, the most logical design intention was to give the greenroof and walls a sense of movement which created curves speaking about the landscape tracing, and tall grasses speaking about the plant selection.



Casa Vallarta. Photo © Jaime Navarro, courtesy of Ezequiel Farca + Cristina Grappin.



Casa Vallarta; photo source: Greenroofs.com. Photo © courtesy of Cynthia Villalba.

Cynthia Villalba and the Zona Verde MX team incorporated more than 19,619 plants including grasses, agaves and perennials on the roof and short grasses and ferns in the greenwalls, wanting the effect to be not just green but quite colorful, yet harmonic. Both stormwater and irrigated water are harvested, filtered through a sand system, and returned to the irrigation system. Over 33,500 recycled bottles of PET were used in the whole system. The home's striking greenwalls and vegetated rooftops insulate the house from heat and

dually serve to integrate the house with the landscape (Greenroofs.com, 2013).

SportPlaza Mercator, Amsterdam, The Netherlands: 2006. Home to people from 129 different countries, the De Baarsjes is a multicultural neighborhood that wanted to encourage community involvement and constructed a building to combine swimming pools, fitness, aerobics, a sauna and steam bath, a party center, café and childcare alongside a fast food restaurant. Nestled into a local park,



SportPlaza Mercator. Photo © Luuk Kramer.



Solaris; photo source: Greenroofs.com. Photo by Albert Lim, courtesy of Ken Yeang.

architects VenhoevenCS enveloped the 3-story Sportplaza Mercator in lavish vegetation on all façades, including the fifth (ArchDaily, 2013).

“Because the building was constructed in a park we wanted to preserve as much as possible, we completely covered it in vegetation, camouflaging its diverse program. From a distance, it seems like an overgrown fortress flanking and protecting the entryway to the nineteenth century city,” (Dezeen, 2013).

Solaris, Singapore: 2010. Designed by T. R. Hamzah & Yeang, SOLARIS is a 15 story office building located in the Fusionopolis hub in central Singapore’s One-North Business Park. SOLARIS is comprised of two towers connected with a passively-ventilated central atrium. Office floors are linked by a series of sky terraces which span the atrium at upper floors.

Since the site was originally a military base, most of the original ecological system had been destroyed. Using elements of his 1989 EDDIT prototype, see #4, Dr. Ken Yeang designed over 8,000 square meters of landscaping and the “eco-



Solaris; source: Greenroofs.com. Graphic courtesy of Ken Yeang.

building” replaced the original site with a ratio of 108% of landscape to site area. The “green ramp” at SOLARIS is a 1.5 kilometer linear, continuous landscape ramp that was built to connect the ground level to the upper levels of the building, linking the basement Eco-cell with a cascading sequence of roof-gardens at the highest levels (T. R. Hamzah & Yeang, 2014). Solaris has accomplished a 36% reduction in overall energy consumption by integrating fully landscaped areas directly into the façade of the building. A dramatic vision of the possibilities

inherent in skysrise greenery design, 95% of the project's total landscaped area is above ground level (Greenroofs.com, 2014).

2 URBAN AGRICULTURE: EDUCATIONAL & HEALTH BENEFITS

Urban agriculture can be found inside, outside, on walls and on top of buildings. Responsible, sustainable, and important development that includes food production can provide well-being, food security, and medicinal benefits within any environment including schools, corporate, industry, and we congratulate and acknowledge visionary leaders and designers.

National Health, Wellness and Learning Center at Community School 55 in the South Bronx, NY, USA: 2016. Stephen Ritz, Bronx educator and administrator, teaches science in the nation's poorest congressional district and in 2009 his classroom had the first indoor edible wall in the entire New York City Department of Education. Founder of the student-led Green Bronx Machine, Stephen

and crew turned a 100+ year old reclaimed school library into New York City's first elementary-workforce development school and training for residents: the National Health, Wellness and Learning Center. Opened in 2016, the state of the art facility has robotics, a computer lab, and a year round commercial indoor vertical teaching farm. Seven Tower Garden systems keep crops growing fresh regardless of the weather outside; a traditional grow light system and seedling development system round out the growing program. The Green Bronx Machine Mobile Classroom Kitchen is a 100% mobile food processing/training kitchen with solar and alternative energy generators that is net positive on food and energy. Decorated by students in collaboration with Bronx Children's Museum, the outdoor Learning Garden at Community School 55 is one of the most productive community gardens per square foot in all of New York City. Hundreds of pounds of vegetables are grown in raised garden beds, 100% of which are donated to local residents and / or used in school programming.



Students at the National Health, Wellness and Learning Center at Community School 55. Photo courtesy of © Green Bronx Machine.

The Green Bronx Machine believes Healthy Students + Healthy Schools = Healthy Communities and says: “We believe that healthy students are at the heart of healthy schools, and healthy schools are at the heart of healthy communities. By integrating plant-based teaching with core school curriculum, we grow healthy food, healthy students and healthy academic performance,” (Green Bronx Machine, 2016).

Pasona Group HQ, Tokyo, Japan: 2010.

Designed by Kono Designs, the Pasona Group headquarters is a nine story corporate building with a rooftop garden and flowering double skin green façade that features seasonal flowers and orange trees planted within the 3-foot deep balconies. Inside, urban farming facilities are integrated within the building. The main lobby features both a rice paddy and a broccoli field and the green



Pasona HQ exterior green façade. Photo by Toshimichi Sakaki, courtesy of © Kono Designs.



Pasona HQ interior greening with staff. Photo by Luca Vignelli, courtesy of © Kono Designs.



Pasona HQ, harvesting rice. Photo courtesy of © Kono Designs.

space totals over 43,000 sf with 200 species including fruits, vegetables and rice which are harvested, prepared and served at the cafeterias within the building. The largest and most direct farm-to-table of its kind realized inside an office building in Japan, employees participate in the maintenance and harvesting of crops with the help of agricultural specialists.

Using both hydroponic and soil based farming, crops and employees share a common space. "Tomato vines are suspended above conference tables, lemon and passion fruit trees are used as partitions for meeting spaces, salad leaves are grown inside seminar rooms, and bean sprouts are grown underneath benches. Pasona Urban Farm is a unique workplace environment that promotes higher work efficiency, social interaction, future sustainability, and engages the wider community of Tokyo by showcasing the benefits and technology of urban agriculture," (Pasona Group, 2017).

GLTI Vertical Cultivation System (VCS)@ Cannabis Farms, Proof-of-Concept Rochester, NY, USA, and Various Confidential Farms: 2015-Current. According to ArcView Market Research, North Americans spent \$53.3 billion on cannabis in 2016. While 87% pertained to the illegal market, the legal marijuana market is projected to grow from its current \$6.9 billion to \$21.6 billion by 2021 (Grenoble, R. 2017). According to some doctors and researchers, it may be time for a medical marijuana revolution. While many U.S. states have legalized cannabis for valid medical purposes, several have legalized the leafy drug both medically and for adult use, and it's legal in Canada for medical use. Marijuana has been documented to treat and reduce the effects of various diagnosed ailments including PTSD, AIDS/HIV, Alzheimer's, arthritis, asthma, Cancer, Crohn's disease, epilepsy, glaucoma, multiple sclerosis, chronic pain, and more (Christensen, 2015). While people have been growing it illegally for years, options are now available to grow cannabis legally, based on



Vertical Cultivation System (VCS)[®] Cannabis Farm after 2 weeks growth. Photo courtesy of [®] Green Living Technologies International.



(VCS)[®] Cannabis Farm. Photo courtesy of [®] Green Living Technologies International.

local jurisdictions, with hydroponic and soil-based urban farms.

According to manufacturer Green Living Technologies (GLTI), horizontal growers don't realize they are sacrificing about 30% of potential yields simply because of configuration (Green Living Technologies, 2017). With a growing demand and interior space at a premium, the company has developed the proprietary turnkey Vertical Cultivation System (VCS)[®] Cannabis Farm. With a legal licensed partner, they apply environmentally controlled vertical farming solutions and techniques to grow high quality organic cannabis for medical use. Their plug and play vertical farms are scalable and grown in 100% organic bioSoil on recycled stainless and aluminum frames with high performance, broad function, vertical LED lighting (patent pending) and HVAC and dehumidification features (Green Living Technologies, 2017, personal communications).

Mashambas Skyscraper, Swahili, Africa: eVolo 2017 Skyscraper Competition Winner: Conceptual. *Mashamba* is Swahili for “an area of cultivated ground; a plot of land, a small subsistence farm for growing crops and fruit-bearing trees, often including the dwelling of the farmer,” (eVolo, 2017). Polish architects Pawel Lipinski and Mateusz Frankowski examined the needs of the impoverished in the sub-Saharan and developed the conceptual Mashambas Skyscraper. The movable and scalable educational center introduces a green revolution to people still living in absolute poverty.

“Giving training, fertilizer, and seeds to the small farmers can give them an opportunity to produce as much produce per acre as huge modern farms. It [the Skyscraper] provides education, training on agricultural techniques, cheap fertilizers, and modern tools; it also creates a local trading area, which maximizes profits from harvest sales.” The modular



eVolo 2017 Skyscraper Competition Winner. Graphics © Pawel Lipinski / Mateusz Frankowski, courtesy of eVolo.

skyscraper is easy to construct, deconstruct and transport, and when the local community becomes self-sufficient, it moves on, giving new hope and practical vertical urban agriculture for others in east Africa (eVolo, 2017).



1 SKYRISE GREENERY: VERTICAL FORESTS WRAPPED IN VEGETATION

Blurring the distinction and perhaps the definition of greenroofs and greenwalls, vertical agriculture embraces an integrated design approach, and these buildings are blanketed in green, whether inside or located on any of the façades – fifth or otherwise.

ACROS, Fukuoka, Japan: 1994. ACROS Fukuoka Prefectural International Hall is a center of international, cultural and information exchange. Designed by Emilio Ambasz, the nearly 100,000 m² park in the city center was transposed by the architect onto 15 stepped vegetated terraces of the ACROS or “Asian Crossroads Over the Sea.” The design provided a solution for a common urban problem: reconciling a developer’s desire for profitable use of a site with the public’s need for open green space. The plan for Fukuoka fulfills both needs in one structure by creating an innovative agro-urban model.

The south side of the Hall extends an existing park through its series of terraced gardens that climb the full height of the building. Along the edge of the park, the building steps up, floor-by-floor, in a stratification of low, landscaped terraces – not greenwalls per se





ACROS; photo source: Greenroofs.com. Photo courtesy of © Emilio Ambasz.

yet the effect blurs horizontal and vertical planes. Each terrace floor contains an array of gardens for meditation, relaxation, and escape from the congestion of the city, while the top terrace becomes a grand belvedere, providing an incomparable view of the bay of Fukuoka and the surrounding mountains. A stepped series of reflecting pools upon the terraces are connected by upwardly spraying jets of water, to create a ladder-like climbing waterfall to mask the ambient noise of the city beyond. Open to the public, ACROS Fukuoka emerges like a lush green mountain and its green stepped garden exterior has become a landmark for the city (Greenroofs.com, 2007).

Jem, Singapore: 2014. Located on the western side of the island nation, the 360-hectare Jurong Lake District is set to become the largest commercial and regional center outside of Singapore's city center, and Jem is its first mixed use retail and commercial development. Committed to sustainability, the 12-story office and retail tower development spans six levels

(five above ground and one below) and adopts a more than 100 percent green replacement strategy. Designed by SAA Group Architects, HASSELL, and ICN Design International, Jem is covered in greenroofs and greenwalls, providing a comprehensive network of vegetated shelters and connecting walkways. "[A]ccessible roof terracing and vertical green walls extend the verdant and rich textures of tropical planting between street and sky. ICN crafted a series of inter-connected social and relaxation courts, gardens and terraces creating a new urban landscape in the sky extending vertically to envelop shoppers, workers and visitors within a green environment," (ICN, 2015). Its inclusive, family-friendly design has been recognized to allow the young, elderly, and people with different abilities to access and enjoy the facilities, nestled in a lush and green environment. "The building greenery design symbolizes a garden façade that cascades like a green waterfall in reminiscent to the Jurong Lake District," (National Parks Board, Singapore, 2015).



Bosco Verticale. Photo Courtesy@Stefano Coeri Architetti.

One Central Park, Sydney, Australia: 2013.

Designed by Jean Nouvel with collaborating architect PTW, One Central Park is Sydney's iconic urban renewal and development project spanning 5.8 hectares, situated in the Central Business District. Previously located on an industrial site, the \$1.76 billion mixed use development encompasses retail, commercial, residential, and community spaces including the huge public park, Chippendale Green, in its center. Social and environmental initiatives underpin One Central Park's unique design with parkland where there previously was none. Approximately 64,000 m² of landscaped areas, including the spectacular vertical gardens designed by Patrick Blanc, have become a significant contribution to the area and a worthy 'new southern gateway' to Sydney's CBD.

The innovative towers feature groundbreaking architectural elements including the 42-meter cantilevered Sky Garden at level 29 and the innovative Heliostat below the 100 meter high greenroof holds 320 glittering reflectors. Patrick Blanc's hydroponic Le Mur Vegetal system was interspersed in 23 various sized panels across the east and north façades of the two towers, spanning over 1000 m². Also, simple cable wire and trellising from 2,700 planter boxes wrap the façades from level 2 through 33, encompassing about 7 kilometers of climbers and trailing plants. Plants chosen needed to be able to withstand great drying winds and strong sun on top to more shade on the lower areas close to the street, and 38,000 plants were installed. 400 different species of plants were used in the greenwalls alone, including over 250 native Australian species



One Central Park by 2014 by bobarc (<https://www.flickr.com/photos/bobarc/13160592113/> (https://en.wikipedia.org/wiki/One_Central_Park#/media/File:Hanging_gardens_of_One_Central_Park,_Sydney.jpg), used under Creative Commons Attribution 2.0 Generic license (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en>), via Wikimedia Commons.

(Greenroofs.com, 2014). With previously the highest greenwalls in the world at 150 meters, One Central Park was surpassed by another Nouvel/Blanc collaboration, Le Nouvel KLCC in Kuala Lumpur completed in 2016 with vertical gardens up to 200 meters high. With an on-site central thermal tri-generation plant and on-site water recycling plant, One Central Park received a 5 Star Green Star, Australia's green rating system.

Bosco Verticale, Milan: 2014. The *Bosco Verticale*, or Vertical Forest, consists of two high-density tower blocks of 18 and 27 stories and 400 condos with integrated PV energy systems with wind and geothermal systems, planted with 2.5 acres of forest. It's a "model for a sustainable residential building, a project for metropolitan reforestation contributing to the regeneration of the environment and urban biodiversity without the implication of expanding the city upon the territory."

(Stefano Boeri Architetti, 2017). Designed by Stefano Boeri Architetti, the multi-award winning *Bosco Verticale* is a landmark in Milan and a model of sustainable residential development and vertical densification of nature within the city. Covering 1,700 m², trees were planted over a period of three years on the cantilevering balconies as each façade story was completed, from 2012 - 2014.

In collaboration with landscape designer Laura Gatti, in total over 700 trees were planted in both towers with 23 species of trees and large shrubs, 35 species of smaller shrubs, and more than 400 species of groundcover and perennial plants. Specifically, *Bosco Verticale Confalonieri* hosts 54 tall, 108 medium and 95 small trees. *Bosco Verticale De Castilla* boasts 65 tall, 252 medium, and 137 small trees. Species used include maple, cherries, apple, Persian ironwood, Turkish hazel or filbert, holly, honey locust, beech, and shadbush,

among others. The greenery pertains to the building owner, and professional maintenance is performed every 3 to 4 months to examine the plants from inside the balconies. Once or twice per year, arborists climb the building to prune and check for disease or damage. Temperatures on the vegetated balconies are reduced by more than 30 degrees F, and the 94 different plant species act as attractors for many animal species like pollinators, birds, ladybugs, and butterflies (Gatti, 2017).

Current vertical forest projects for Stefano Boeri Architetti and team are *La Tour des Cedres* (Tower of Cedar Trees) in Lausanne, Switzerland and the Vertical Forest Nanjing, China, which will include a 5,000+ m² greenwall which will crown the top of the building façade, scheduled for completion in 2019.

3. CONCLUSION

One cannot speak of green living architecture on roofs, walls, and within without crediting pioneers of ecological architecture such as Malcolm Wells, Ken Yeang, Emilio Ambasz, Tadao Ando, William McDonough and later Patrick Blanc, Vincent Callebaut, and Bjarke Ingels (to name just a few) for their tenacious foresight and implementation of organic architecture.

Healthy, sustainable, and attractive development is possible the world over counting on support from a building's stakeholders plus visionary design, careful urban planning, and leadership from citizens to designers to government at all levels. Façades covered with plants can be achieved horizontally in planters or vertically using various greenwall systems, but the beautiful end result is multi-beneficial to flora, fauna, and humans. Experienced at the building, urban, and meso scale, the advantages of vegetated roofs and façades are becoming more well-known and construction is flourishing as we endeavor to plant the world's roofs and walls.

4. REFERENCES

- ArchDaily* (2013): "Sportplaza Mercator / VenhoevenCS." Viewed on September 4, 2017, <https://www.archdaily.com/341219/sportplaza-mercator-venhoevens>.
- Arsenault, P. and Darlington, A. (2013): "Understanding the difference between a green vertical wall and a living wall biofilter," *Nedlaw Living Walls*. Viewed on October 29, 2017, <http://nedlawlivingwalls.com/wp-content/uploads/Understanding-the-Difference-bw-a-Green-Wall-and-a-Biofilter.pdf>.
- Biber Architects (2015): "USA Pavilion - Milan Expo 2015 / Biber Architects," *ArchDaily*. Viewed on September 14, 2017, <https://www.archdaily.com/628092/usa-pavilion-milan-expo-2015-biber-architects>.
- Blanc, P. (2012): "The Vertical Garden, from Nature to the City" (Revised & Updated). W. W. Norton & Company. New York, London.
- Browne, E. (2011): "Edificio Consorcio Santiago, 14 años después," *ARQA*. Viewed on November 3, 2017, <http://arqa.com/arquitectura/sustentable/edificio-consorcio-santiago-14-anos-despues.html>.
- Jen Christensen, J. (2015): "10 diseases where medical marijuana could have impact," *CNN*. Viewed on November 9, 2017, <http://www.cnn.com/2015/04/15/health/marijuana-medical-advances/index.html>.
- Diseño, Arquitectura, Comunicación (2012): "Edificio Consorcio Santiago de Enrique Browne y Borja Huidobro." Viewed on November 3, 2017, <http://www.diseñoarquitectura.cl/edificio-consorcio-santiago/>.
- eVolo* (2017): "Mashambas Skyscraper." Viewed on November 10, 2017, <http://www.evolo.us/featured/mashambas-skyscraper/#more-35769>.
- EXPO 2015 (2015): "Fields of Tomorrow,"

- Expo2015.com. Viewed on September 14, 2017, <http://expo2015israel.com/en/>.
- Frearson, A. (2013): "SportPlaza Mercator by VenhoevenCS," Dezeen. Viewed on September 4, 2017, <https://www.dezeen.com/2013/03/13/sportplaza-mercator-by-venhoevens/>.
- Gardens by the Bay (2012): "Gardens by the Bay / Attractions / Cloud Forest." Viewed on October 12, 2017, <http://www.gardensbythebay.com.sg/en/attractions/cloud-forest/facts-and-figures.html>.
- Gardens by the Bay (2012): "Gardens by the Bay / Attractions / Supertrees." Viewed on October 12, 2017, <http://www.gardensbythebay.com.sg/en/attractions/supertree-grove/facts-and-figures.html>.
- Gatti, L. (2017): "Greening the Vertical City – the Bosco Verticale and a Look into the Future of Urban Living," 2017 Greenroofs & Walls of the World™ Virtual Summit, Greenroofs.com. Viewed on August 16, 2017, <http://virtual.greenroofs.com/agenda/greening-the-vertical-city-the-bosco-verticale-and-a-look-into-the-future-of-urban-living/>.
- Grant Associates (2012): "Gardens by the Bay – Conservatories." Viewed on October 12, 2017, <http://grant-associates.uk.com/projects/gardens-by-the-bay-cooled-conservatories/>.
- Grant Associates (2012): "Gardens by the Bay – Supertrees." Viewed on October 12, 2017, <http://grant-associates.uk.com/projects/super-trees/>.
- Green Bronx Machine (2016): "National Health, Wellness and Learning Center at Community School 55." Viewed on August 21, 2017, <https://greenbronxmachine.org/projects/the-national-health-and-wellness-center-at-ps-55/>.
- Green Living Technologies (2017): "Cannadvance VCS® - Vertical Cultivation System" PDF, personal communications.
- Green Living Technologies (2017): "GLTI Vertical Farms, Cannabis." Viewed on November 9, 2017, <http://www.agreenroof.com/vertical-urban-farms/cannabis/>.
- Greenroofs.com (2007): "ACROS Fukuoka Prefectural International Hall." Viewed on August 15, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=476>.
- Greenroofs.com (2013): "Casa Vallarta Greenroof." Viewed on September 29, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1584>.
- Greenroofs.com (2013): "Casa Vallarta Greenwalls." Viewed on September 29, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1585>.
- Greenroofs.com (2016): "Edmonton Federal Building Living Wall Biofilter." Viewed on October 23, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1799>.
- Greenroofs.com (2013): "Europa Palacio de Congresos (Europa Congress and Exhibition Hall)." Viewed on October 3, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1710>.
- Greenroofs.com, (2016): "Gardens by the Bay, Cloud Forest Conservatory's Cloud Mountain." Viewed on October 11, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1755>.
- Greenroofs.com, (2014): "Global Change Institute." Viewed on October 23, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1751>.
- Greenroofs.com (2014): "Hotel Santo Domingo Hanging Garden." Viewed on September 15, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1699>.
- Greenroofs.com (2014): "One Central Park." Viewed on October 5, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1690>.
- Greenroofs.com (2014): "Plaza Delicias (Delicias Square)." Viewed on September 2, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1636>.

- Greenroofs.com* (2015): "Santalaia." Viewed on August 29, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1769>.
- Greenroofs.com*, (2014): "SOLARIS, Fusionopolis (Phase 2B), One North Singapore." Viewed on August 25, 2017, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1634>.
- GreenWorks*, (2014): "WORKS / GREEN ROOFS & GREEN WALLS Expo Center Stormwater Wall / Portland, Oregon." Viewed on November 1, 2017, <http://greenworkspc.com/works/green-roofs/expo-center-stormwater-wall/>.
- GreenWorks* (2016): "The Stormwater Green Wall at the Portland Expo Center has a new admirer!" Viewed on November 1, 2017, <http://greenworkspc.com/2016/04/25/stormwater-green-wall-portland-expo-center-new-admirer/>.
- Grenoble, R. (2017): "North Americans Spent \$53.3 Billion On Marijuana Last Year, Most Of It Illegally," *Huffington Post*. Viewed on November 9, 2017, https://www.huffingtonpost.com/entry/legal-cannabis-industry-growth-2016-marijuana_us_587e785be4b0cf0ae88070c0.
- ICN Design International* (2015): "Jem - Jurong Gateway." Viewed on November 8, 2017, <http://www.icn-design.com.sg/portfolio/people/jem-jurong-gateway>.
- MacKenzie, D.* (2014): "Breathe," *ArtPrize.org*. Viewed on September 10, 2017, <https://www.artprize.org/dave-mackenzie/2014/breathe>.
- National Parks Board, Singapore* (2015): "Skyrise Greenery Award Winners 2015." Viewed on November 2, 2017, <https://www.nparks.gov.sg/skyrisegreenery/awards/2015-winners>.
- Paisajismo Urbano* (2015): "Residencia privada: Muros verdes en Morelia, México." Viewed on September 9, 2017, <http://www.paisajismourbano.com/residencia-privada-muros-verdes-en-morelia-mexico>.
- Pasona Group* (2017): "Project Description," personal communications.
- Sicilia Carnicer, J.* (2014): "Vertical Garden in Delicias, Zaragoza: A Naturalised Hanging Garden Plaza," *Greenroofs.com*. Viewed on October 10, 2017, <http://www.greenroofs.com/content/articles/131-Vertical-Garden-in-Delicias-Zaragoza.htm>.
- SMA Arquitectura* (2015): "Villa 3 Marias." Viewed on September 9, 2017, http://smaarquitectura.com/mies_portfolio/villa-3-marias/.
- Stefano Boeri Architetti* (2017). "Vertical Forest." Viewed on October 12, 2017, <https://www.stefano-boeri-architetti.net/en/portfolios/vertical-forest/>.
- T. R. Hamzah & Yeang Sdn. Bhd.* (2014): "SOLARIS at Fusionopolis (Phase 2B): From Military Base to Bioclimatic Eco-Architecture," *Greenroofs.com*. Viewed on August 25, 2017, <http://www.greenroofs.com/content/articles/126-SOLARIS-at-Fusionopolis-2B-From-Military-Base-to-Bioclimatic-Eco-Architecture.htm#.Wf55WmiPKUn>.
- Urbanarbolismo* (2013): "Fachada vegetal del Palacio de Congresos de Vitoria-Gasteiz." Viewed on October 3, 2017, <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-del-palacio-de-congresos-de-vitoria/>.
- Vo Trong Nghia Architects* (2017): "Atlas Description (Brief)," personal communications.
- Vo Trong Nghia Architects* (2016): "Atlas Hotel - Hoi An Hotel & Resort." Viewed on September 15, 2017, <http://votrongnghia.com/projects/atlas-hotel-hoi-an-2/>.
- WOHA* (2016): "Oasia Hotel Downtown, Singapore." Viewed on October 5, 2017, <http://www.woha.net/#Oasia-Hotel-Downtown>.

CAPÍTULO 22

CÓMO PLANT(E)AR LA CIUDAD

Santiago Beruete

Autor de *Jardinosofía. Una historia filosófica de los jardines*, publicado por la editorial Turner.

«La primera utopía fue la ciudad.»

Lewis Mumford, *La utopía, la ciudad y la máquina*

«Los jardines devuelven a las personas el verde que la ciudad les robó.»

Roberto Burle Marx

«Los parques y las plazas silencian el murmullo ensordecedor de la ciudad, permitiéndonos escuchar el agua de una fuente o el canto de los pájaros. Los parques crean oasis en el desierto urbano y nos permiten sentir la fragancia de las flores y el olor a hierba. Los parques nos permiten estar simultáneamente rodeados por la ciudad y fuera de ella, son metáforas de la ausencia de la ciudad y, al mismo tiempo, naturaleza e imágenes del paraíso en miniatura.»

Juhani Pallasmaa, *Habitar*

La ciudad y el campo han mantenido una relación de dependencia mutua, tan conflictiva como apasionada, a lo largo de los siglos. A veces han sido aliados naturales y otras enemigos íntimos, pero siempre han cohabitado sin darse la espalda y se han mirado una en el espejo del otro. Antes de la revolución neolítica y la aparición del estado, hace tan solo 7000 años, todo era campo. Es un breve lapso de tiempo, si utilizamos una escala geológica, pero suficiente para que el

jardín planetario vaya camino de convertirse en una urbe global. De continuar el proceso de concentración urbana al vertiginoso ritmo actual, la mayoría de los terráqueos en un futuro no muy lejano se convertirán en urbanícolas, y no habrá nada fuera de los límites de la ciudad que podamos llamar naturaleza. Esta quedará restringida a los espacios intersticiales entre las megalópolis que ocuparán la faz de la Tierra, fagocitada por las aglomeraciones metropolitanas y contenida en oasis de verdor



Jardín Lower East Side. S. Beruete

en medio de un desierto de asfalto y hormigón. Tal vez no esta generación ni la siguiente, pero es cuestión de tiempo que, si no se pone freno a la metástasis constructiva, todos sin excepción vivamos en los suburbios de una cosmópolis sin centro ni horizonte. Sin ir tan lejos, en los actuales termiteros humanos el aire ya comienza a resultar cada vez más irrespirable y la masificación tan opresiva que muchos de sus laboriosos habitantes sueñan con abandonarlos y otros con renaturalizarlos.

Desde que el influyente Walter Gropius, fundador de la Bauhaus, escribiese que «las cubiertas verdes de las metrópolis del futuro parecerían una sarta interminable de jardines colgantes», no han cesado las tentativas de reverdecer el paisaje urbano. Resulta sugestiva, provocadoramente sugestiva la imagen de una ciudad en la que las azoteas de los edificios se han convertido en frondosos huertos; las fachadas, en jardines verticales; y las terrazas y los balcones, en floridos bancales y pensi-

les suspendidos. En esa moderna Babilonia las vías del tren se han transformado en paseos arbolados y las ruinas industriales en parques pintorescos. No menos poderosa que esa fantasía futurista es la pesadilla posapocalíptica de las grandes metrópolis deshabitadas, engullidas por el follaje, colonizadas por una densa maleza, sofocadas bajo el peso de gigantescas raíces, exuberantes hiedras y otras plantas invasoras. Da vértigo pensar que pueda llegar un día en que la naturaleza se apodere de los centros urbanos de Nueva York, Londres, París, Roma, Berlín o Madrid. En el bello e inquietante documental *La Tierra sin humanos* se especula acerca de la posible evolución del planeta si, por el motivo que fuera, desaparecieran sus habitantes. De ser ciertas sus previsiones, las populosas urbes de nuestros días no resistirían ni un siglo el silencioso y continuado abordaje de la vegetación salvaje que asedia sus invisibles murallas antes de hundirse en una espesa noche verde. Y en menos de un milenio de sus más emblemáticos edificios solo quedarían las

ruinas boscosas de una civilización desaparecida, si es que alguien sobrevive para contarla.

Cada vez parece menos remota la posibilidad de que el planeta pueda entrar en barrena y sufrir un colapso ecológico. Todo parece indicar que, si continuamos dilapidando los recursos naturales a una velocidad que sobrepasa la capacidad del planeta para reponerlos, acabaremos comprometiendo nuestra propia supervivencia. No faltan pruebas que avalan tal suposición. El deshielo de la Antártida, la deforestación, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica... no presagian nada bueno. Alentada por el justificado temor a que la Madre Tierra acabe convertida en una ciudad-mundo o en un Edén deshabitado, se extiende una nueva concepción milenarista que espolea la imaginación utópica. Numerosos profesionales del urbanismo, la arquitectura, la sociología o, incluso, el arte intentan prevenir una catástrofe medioambiental anunciada impulsando la creación de naturópolis, smartcities, ciudades jardín y otros proyectos eco urbanísticos más o menos realistas o delirantes.

El miedo al porvenir puede prender la chispa del cambio, pero con toda probabilidad este se verá condenado al fracaso sin una narrativa que le dé forma, permita visualizar los objetivos y suministre a la imaginación el carburante para alcanzarlos. La ciudad de Detroit, en el estado norteamericano de Michigan, es un ejemplo revelador de cómo se puede revertir un proceso de degradación del paisaje urbano. La antaño capital mundial de la industria automovilística se vio afectada dramáticamente por la desindustrialización, debido a la deslocalización de las fábricas en busca de emplazamientos con mejor accesibilidad, la entrada en ese competitivo sector de compañías japonesas y europeas y las sucesivas crisis del petróleo, hasta el punto de perder en los últimos cincuenta años la mitad de su población y quedar convertida en un fantasma de lo que fue en sus días de esplendor cuando las cadenas de montaje de Ford, General Motors, Chrysler ofrecían trabajo a sus cerca de dos



millones de habitantes. No parece exagerado decir que únicamente permanecieron en Detroit las personas que no tenían recursos para abandonar la cada vez más decadente ciudad. La fuga de los contribuyentes con mayor poder adquisitivo agravó la crisis fiscal y precipitó la bancarrota económica, política y social, que fue acompañada de graves disturbios raciales, un alarmante aumento de la criminalidad y el progresivo deterioro de los servicios sociales. El paro se cebó con los trabajadores, hasta el punto de que solo uno de cada cuatro tenía empleo.

Si alguien se hubiera paseado por sus peligrosas calles en aquellos sombríos días, se habría cruzado seguramente con viandantes mayoritariamente de color, mal vestidos y peor calzados, con un inconfundible aire de perdedores, y que daban la impresión de dirigirse a ninguna parte. El tráfico rodado era más lento y escaso de lo habitual por aquellas avenidas con el asfalto descarnado y llenas de baches, en cu-

yas cunetas languidecían coches abandonados a su suerte desde hacía meses o años. A ambos lados se sucedían casas familiares que se caían de viejas, con el césped descuidado e invadido por las malas hierbas, las ventanas tapiadas y el tejado semihundido. Fantasmales bloques de pisos se alzaban junto a parques públicos asilvestrados y vías muertas de tranvías, de las que había terminado por apoderarse la maleza. Apenas había tiendas a la vista y las pocas que todavía mantenían sus puertas abiertas eran licorerías. En las áreas industriales de la periferia reinaba un estridente silencio, solo roto por el gorjeo de los pájaros. Naves con los cristales rotos y los muros pintarrajeados de grafitis, y obsoletas y herrumbrosas estructuras fabriles, completaban ese escenario de pesadilla. Ese desolador panorama comenzó a cambiar cuando los ciudadanos que todavía no se habían despedido de su endeudada e ingobernable ciudad tomaron la iniciativa y se organizaron por su cuenta para cubrir sus necesidades más elementales. Así fue como empezó uno de los experimentos sociales más interesantes de nuestra época. Haciendo de la necesidad virtud, por pura supervivencia, sin más pretensiones que el autoabastecimiento, se pusieron a plantar en terrenos abandonados, solares sin construir, jardines públicos, descampados y otros espacios residuales, hortalizas para consumo propio. Esas iniciativas espontáneas fueron el germen de huertos comunitarios, granjas urbanas y cooperativas de productores autogestionadas, que se transformaron en espacios participativos de socialización, donde no tardó en cristalizar un fuerte sentimiento de comunidad.

Cuando parecía que las cosas no podían ir a peor y que todo estaba perdido, Detroit comenzó a renacer de sus cenizas, o mejor sería decir de sus ruinas, gracias a la agricultura urbana. Mientras experimentaban el gozo sin sombras de plantar juntos, sus desamparados habitantes convertidos en orgullosos horticultores, se fueron reapropiando de la ciudad, transformando su metabolismo y asumiendo el protagonismo de su historia. Actualmente existen alrededor de 1200 proyectos en mar-

cha de muy variada índole, que suministran frutas y verduras frescas y limpias a una población que, por primera vez en mucho tiempo, está creciendo. A todo esto hay que añadir el impulso que se ha dado a la producción de energías renovables, el reciclaje de residuos, las plantas de compostaje y los proyectos de fitorremediación de los suelos contaminados por vertidos tóxicos industriales. Todas esas iniciativas agroecológicas han contribuido a fortalecer los lazos comunitarios, fomentar la participación vecinal y la integración de los colectivos más desfavorecidos, a la par que potenciaban el desarrollo social. La que fuera capital del motor se ha reinventado como una eco urbe capaz de autoabastecer hasta el 50 % de las demandas de alimento de su población, lo que la convierte en una de las ciudades más autosuficientes del planeta y en un modelo a seguir.

El sueño de una revolución verde se nutre de ejemplos como Detroit, en los que resuena la épica del instinto de supervivencia ecológico. La conversión de ese gulag medioambiental en una auténtica ciudad jardín del siglo XXI es ya una historia legendaria, tan cautivadora y fascinante como la creación de Versalles o del Central Park. Para afrontar los desafíos que nos plantea un mundo superpoblado con éxito y hacer realidad la utopía eco urbana, precisamos de una narrativa que dote de sentido a los sacrificios necesarios para llevarla a cabo y refundar la ciudad sobre unos nuevos principios. Ese objetivo exige la transformación radical de la sociedad y la toma de conciencia por parte de sus integrantes de la frágil complejidad de lo viviente y de su insignificante lugar en el cosmos.

El mito fundacional de esa nueva mentalidad bien podría inspirarse en la agroecología. Que en la tierra abonada con detritus orgánicos crezcan alimentos saludables y limpios, no parece menos prodigioso que el asfalto ceda el terreno al campo y las semillas del futuro crezcan en los huertos urbanos. Estos están llamados a desempeñar un papel crucial en las saturadas metrópolis del mañana tanto en

el abastecimiento de hortalizas saludables, de calidad y producidas localmente, como en la regeneración medioambiental de las áreas degradadas. Pero no solo garantizan la soberanía alimentaria, sino lo que resulta más importante todavía: combaten el aislamiento y la fragmentación social, y contribuyen decisivamente al bienestar y bienestar de sus habitantes. Ni que decir tiene que se trabaja mucho y duro para cuidar un huerto, pero así y todo el horticultor urbano no es un trabajador. La plusvalía que obtiene es más moral que económica. Y, por usar irónicamente una expresión marxista, el fruto de su trabajo no solo le pertenece, sino que además disfruta comiéndoselo. Cultivar tal vez sea el más genuino acto de rebeldía ante el incesante proceso de mercantilización de todas nuestras actividades y el desvarío de una sociedad que venera la rentabilidad casi a cualquier coste y promueve un consumismo irresponsable, sin medida, fuera de toda lógica.

Cada vez son más los habitantes de las ciudades interesados en cultivar su propio huerto y mayor el número de espacios urbanos dedicados a actividades agroecológicas. El gesto, no por humilde, menos subversivo de inclinar la mirada hacia el suelo y doblar los riñones para sembrar encierra una auténtica declaración de principios. El concepto de *desarrollo sostenible* no captura la esencia y la envergadura de esa revolución sin precedentes. El objetivo de los urbanitas metamorfoseados en horticultores es menos el imposible retorno a la naturaleza que el reencuentro con la propia naturaleza. Intentando escapar de la desalmada cultura de la abundancia y la galopante aceleración de los ritmos vitales, abogan por cultivar la tierra para autoabastecerse y no solo de alimentos. Que el futuro del planeta se escribirá con mano verde, es cada vez más evidente. Antes o después deberemos optar entre seguir cavando nuestra propia fosa o los cimientos de las ecópolis del futuro.



Community Garden Park. S. Beruete



CAPÍTULO 23

INICIATIVAS DE NATURACIÓN Y AGRICULTURA EN LA CIUDAD

Mitigación directa e indirecta de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero en el caso de itdUPM

**Francesca Olivieri^{*1,2}, Ivanka Puigdueta-Bartolomé², Angela Nevado²,
David Pereira^{2,3}, Javier Mazorra², Alberto Sanz-Cobeña^{*2,3}**

¹Universidad Politécnica de Madrid. ETSAM.

²itdUPM.

³Universidad Politécnica de Madrid. ETSIAAB.

* Autores principales:

francesca.olivieri@upm.es (impactos de la construcción)

a.sanz@upm.es (impactos contaminación atmosférica y huella de C)

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende poner el foco en algunos de los mecanismos a través de los cuales las iniciativas de naturación y agricultura urbanas pueden suponer una mitigación efectiva, tanto directa como indirecta, sobre gases de efecto invernadero y otros contaminantes. El texto se estructura en torno a tres grandes bloques temáticos. A saber:

- Impactos indirectos sobre la huella de carbono asociada al consumo de alimentos en la ciudad.
- Impactos directos ligados a la contaminación atmosférica.

- Impactos indirectos sobre las emisiones asociadas al sector de la construcción en la ciudad.

2. IMPACTOS DIRECTOS LIGADOS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La concentración de contaminantes atmosféricos en el aire de la Ciudad de Madrid supera los valores límites establecidos por la Unión Europea y la OMS (Organización Mundial de la Salud). Supera el valor límite horario y el valor límite anual del dióxido de nitrógeno, establecido en $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. De la misma manera se supera el valor objetivo para la protección de la salud humana

establecido en $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ como la media octohoraria en un día, el cual no puede superarse más de 25 veces por año de promedio en tres años. El incumplimiento de la Normativa Europea estriba en un importante coste económico, medioambiental y en la salud de las personas. Ante esto, surge la necesidad de buscar soluciones óptimas que ayuden a reducir la concentración de contaminantes atmosféricos en el aire ambiente. Esta línea de trabajo del Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid (itdUPM) tiene como objetivo estimar la capacidad de las especies vegetales de los huertos urbanos de Madrid de reducir la concentración de contaminantes atmosféricos en el aire de Madrid, principalmente dos: los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el ozono troposférico (O_3).

El modelo utilizado (DO3SE) se ha aplicado a un total de cinco huertos: Cantarranas, Dehesa de la Villa, Esta es una plaza, Retiro y Siglo XXI, los cuales se han escogido con el objetivo de completar el trabajo realizado en los últimos

años por Miguel Izquierdo y colaboradores, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas (UPM), quienes han participado en esta actividad del proyecto por interés profesional e inquietud científica. El modelo DO3SE ha sido desarrollado para estimar la capacidad que tiene el ozono de dañar la vegetación europea, y es capaz de proporcionar estimaciones de flujo de acuerdo con la metodología de la UNECE LRTAP (contaminación atmosférica transfronteriza de amplio rango) para la evaluación del riesgo basado en los efectos. Una versión casi idéntica del modelo DO3SE se ha incorporado en el modelo EMEP fotoquímico para proporcionar estimaciones de la deposición total y el riesgo que supone el ozono para proporcionar una oportunidad de formular estrategias de reducción basadas en sus efectos para Europa. Este modelo es una herramienta de uso común tanto en el ámbito internacional como nacional. En este último caso, cabe ser destacados los trabajos realizados por el Grupo de Contaminación Atmosférica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) liderado por la

Figura 1: Representación mediante gráfico de barras de absorción anual en kilogramos de dióxido de nitrógeno y ozono para los huertos seleccionados.



Figura 2: Representación mediante gráfico de barras del ahorro económico anual total en euros (%) para cada uno de los huertos seleccionados.



Dra. Rocío Alonso y en el que participa el Dr. Ignacio González-Fernández quien ha aportado sus conocimientos en el tema en la relación de esta fase del trabajo. Además, el grupo del CIEMAT ha adaptado DO3SE para estimar los impactos de otros contaminantes (NO_2) sobre la vegetación.

Se han evaluado para cada uno de los huertos seleccionados la absorción anual de O_3 y NO_2 por parte de la especie vegetal.

Considerando los valores acumulados de absorción de contaminantes se ha hecho una estimación del ahorro económico que esto supondría. Según la bibliografía la absorción de un kg de ozono supone un ahorro de 219,76€ (Amann et al., 1998), y la absorción de un kg de dióxido de nitrógeno supone un ahorro de 30€ (Corjan et al., 2011).

En la Figura 1 se pueden apreciar diferencias de absorción, y por lo tanto de ahorro económico, entre los distintos huertos, especialmente el huerto Dehesa de la Villa que alcanza valores muy superiores al del resto de los huertos. Esto puede deberse a una diferencia

notable en la concentración de contaminantes atmosféricos o al total de superficie cultivada, en este caso se debe fundamentalmente a que la superficie cultivada es más elevada que la del resto: Cantarranas 700 m^2 , Dehesa de la Villa 1500 m^2 , Esta es una plaza 600 m^2 , Siglo XXI 800 m^2 , ya que la diferencia de concentración de contaminantes (NO_2 y O_3) es muy pequeña

A través de estos gráficos podemos ver la importante capacidad mitigadora de la contaminación que tienen los huertos estudiados dentro de una gran urbe como Madrid. Un huerto con una superficie de 1500 m^2 , en la Dehesa de la Villa, tiene la capacidad de absorber $81,91 \text{ kg}$ de O_3 y $3,06 \text{ kg}$ de NO_2 al año, lo que implica un ahorro económico total de 18.000 € . Conociendo estos datos se puede realizar una estimación del total de superficie cultivada que se necesitaría para alcanzar los valores de concentración de contaminantes atmosféricos establecidos por la Unión Europea y así poder dar cumplimiento a la normativa, además de conseguir una mejor calidad de vida y unas mejores condiciones medioambientales.

3. IMPACTOS INDIRECTOS SOBRE LA HUELLA DE CARBONO ASOCIADA AL CONSUMO DE ALIMENTOS EN LA CIUDAD

El principal objetivo de esta línea de trabajo del itdUPM, en el marco del proyecto financiado por Foro Agrario, ha sido evaluar el impacto de los huertos urbanos (HU) como herramientas de mitigación indirecta del cambio climático.

Los huertos urbanos son espacios en los que se generan dinámicas participativas, y en los que se valorizan aspectos de cuidado al medio ambiente y prácticas saludables. Esta puesta en valor de determinados modos de vida puede dar lugar a cambios en las actitudes y hábitos de las personas que participan en huertos urbanos, que a su vez se convierten en cambios de comportamiento. En esta línea de trabajo se analiza el alcance de estos cambios de comportamiento y su influencia en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas.

Las ciudades producen tres cuartas partes de las emisiones globales de GEI, y albergan a

más de la mitad de la población mundial (Naciones Unidas, Perspectivas de la Urbanización Mundial). En el 2050, se espera que este porcentaje ascienda al 70%, por lo que la relevancia de los núcleos urbanos como agentes en la evolución del cambio climático se incrementará todavía más. Esto convierte a las ciudades en escenarios clave en la lucha contra este fenómeno, y en los que el impacto de las medidas de mitigación puede tener gran repercusión a nivel mundial.

Por otro lado, a lo largo del territorio español, la Huella de Carbono (HC) de los hogares es muy dispar, siendo las emisiones de la Comunidad de Madrid las más elevadas, junto con las de Andalucía, Comunidad Valenciana y Cataluña (Figura 3). Por ello, las acciones encaminadas a reducir las emisiones de los hogares de Madrid, una gran ciudad en una de las comunidades más contaminantes, es especialmente relevante.

Los hábitos y las elecciones diarias de la sociedad tienen un impacto directo en el cómputo total de emisiones de GEI. Diversos estudios comparan la HC de diferentes productos, me-

Figura 3: Huella de Carbono total de los hogares (MtCO₂e), Ivanova et al. (2017)



dios de transporte, hábitos alimentarios, etc., mostrando que la tendencia hacia opciones con menor HC dentro de la sociedad tiene enormes beneficios para el clima. Los cambios de hábitos tienen la ventaja de poder producirse rápido y extenderse a gran cantidad de gente, mientras que las políticas nacionales o las grandes transformaciones tecnológicas pueden tardar décadas en producir resultados. Por otro lado, numerosos estudios señalan que el cumplimiento del objetivo de los 1,5-2°C no será posible limitándonos a mejoras tecnológicas, sino que son necesarios cambios estructurales y de comportamiento (Anderson, 2015; Hedenus et al., 2013), especialmente por parte de los individuos con mayor HC (Intermon Oxfam, 2015).

La influencia de los HU en la promoción de comportamientos pro-ambientales podría tener una gran utilidad para reducir la HC de las ciudades. Madrid tiene más de 200 huertos urbanos, entre huertos comunitarios, escolares, terapéuticos, etc.

El fomento de comportamientos más pro-ambientales y la implementación de medidas estructurales tienen en ocasiones resultados de más calado que las medidas puramente tecnológicas. Estudios realizados en las regiones agrícolas de la cuenca del Sena (Francia), por ejemplo, muestran que cambios de tipo estructural (reducción del consumo de proteína animal, transformación de sistemas de cultivo convencionales en ecológicos, relocalización de los sistemas de producción ganadera, etc.) producen una mayor reducción en los niveles de nitratos en las aguas sub-superficiales que las medidas tecnológicas de reducción de la contaminación (ej. medidas para aumentar la eficiencia en el uso de fertilizantes) (Garnier et al., 2016). Por otro lado, se espera que estos cambios, en los que la ciudadanía tiene un papel activo, se impregnen más profundamente en la sociedad y, por tanto, se mantengan más largamente en el tiempo.

Como resultado de esta línea de trabajo, se ha obtenido una estimación parcial del potencial

de los HU como herramienta de mitigación del cambio climático en las ciudades.

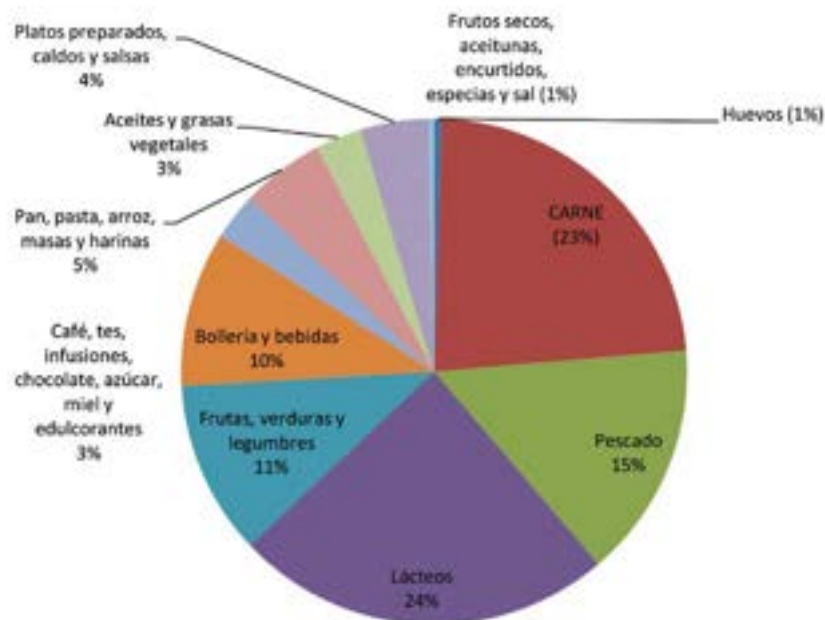
Para ello, se ha calculado la HC de varios hábitos de la vida cotidiana, como son las elecciones sobre la composición de la dieta, el origen de los alimentos consumidos, la modalidad de cultivo de estos alimentos, y el tipo de medio de transporte utilizado. Para cada uno de estos hábitos, se ha realizado un modelo para poder evaluar la modificación de la HC en diferentes escenarios de consumo, y se ha calculado la HC media anual de una persona viviendo en Madrid.

La HC de la composición de la dieta se distribuye como muestran la Figura 4. El 63% de las emisiones de la dieta de las/os madrileñas/os corresponde a productos de origen animal, correspondiéndose el 37% restante a productos de origen vegetal. Las categorías alimentarias con mayor HC son los productos lácteos (24%), la carne (23%) y el pescado (15%). El conjunto de las categorías fruta, verduras y legumbres tan sólo contribuyen con el 11% de las emisiones de GEI de la dieta. Llama la atención la alta contribución de la bollería y las bebidas embotelladas, que suponen el 10% de la HC. En total, la composición de la dieta media de las/os madrileñas/os supone unas emisiones anuales de 930,29 kg CO₂ al año.

Las emisiones de GEI correspondientes al transporte de alimentos importados, calculada sumando la HC del transporte de mercancías por aire, carretera, ferrocarril y mar, suponen 4 788 646,10 toneladas de CO_{2e} al año. Se analizaron el 99,99% de las importaciones de DataComex para las categorías correspondientes a la dieta.

El resultado del cálculo de las emisiones fue 0,19 Kg CO₂ / Kg producto. Cada madrileño/a consume al año 579,32 kg de alimentos. Si todos estos alimentos fueran importados, las emisiones anuales correspondientes al transporte serían 110,07 kg CO_{2e}. Éste es por tanto el potencial de reducción de emisiones por el consumo de alimentos de cercanía.

Figura 4: Distribución de la HC de la dieta media de un(a) ciudadano/a madrileño/a



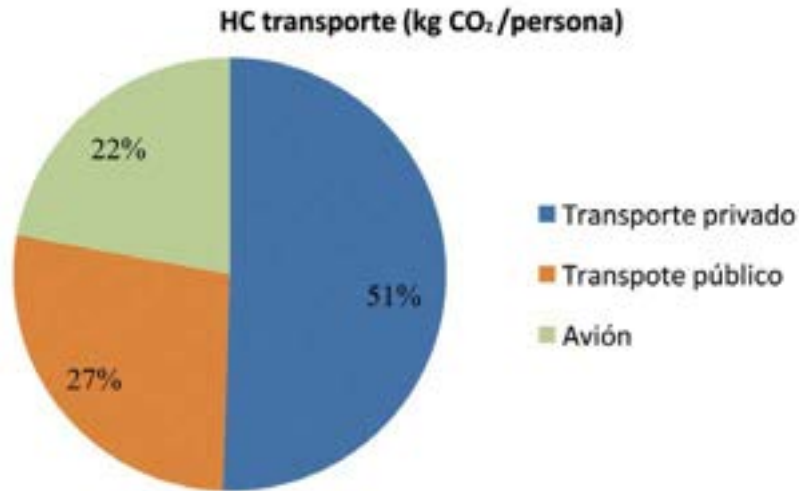
El cálculo de las HC de la dieta eligiendo parcialmente alimentos de producción ecológica da un resultado inferior en casi todas las categorías. Este cálculo se hizo para los alimentos correspondientes al 46% de la dieta media de los/as ciudadanos/as madrileños/as. Para las categorías para las que no se ha calculado la HC bajo modalidad de producción ecológica, se han utilizado las HC de la producción convencional. El resultado son 879,25 kg CO₂/año (frente a los 930,24 de la dieta con alimentos de producción 100% convencional). Esto supone una reducción de emisiones de un 5% (47,63 kg al año).

Según los cálculos realizados, las emisiones medias per cápita correspondientes al transporte de los/as ciudadanos/as de Madrid anualmente son 826,09 kg de CO_{2e} al año, la mitad de las cuales son debidas al uso de medios privados de transporte. Más de un cuarto de las emisiones se producen por el uso del transporte privado, y algo más de la quinta parte son debidas al transporte aéreo (Figura 5).

Las HC parciales calculadas se han aplicado sobre los cambios de hábitos percibidos por las personas que participan en HU de Madrid (población A) y a la población control (B), analizados a través de los resultados de las encuestas. En las cuatro categorías analizadas (composición de la dieta, consumo ecológico, consumo local y movilidad), se observa una reducción de las emisiones de GEI para la población A durante el periodo de referencia (desde el comienzo de participación en el HU), mientras que la HC de la población control permanece igual. Esta reducción corresponde a casi el 9% de la HC parcial desde el inicio de la participación en un HU.

Estos resultados apuntan hacia una posible utilidad de los huertos urbanos como herramienta de mitigación indirecta del cambio climático por el cambio de comportamiento de las personas que participan en ellos. Aunque sería necesario completar el estudio analizando la HC para la totalidad de la dieta, la reducción observable en la parte analizada es significativa. Igualmente, sería interesante analizar

Figura 5: Composición media de la HC de la movilidad de los/as madrileños/as



la evolución relacionada con la variación de la adquisición de productos empaquetados o a granel, así como el consumo de alimentos de temporada.

4. IMPACTOS INDIRECTOS SOBRE LAS EMISIONES ASOCIADAS AL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD

Las ciudades tan sólo ocupan el 1-2% de la superficie terrestre, pero consumen el 70% de la energía, producen el 80% de los gases de efecto invernadero y aglutinan el 80% del PIB mundial. Y lo que es más importante, la proporción de la población global viviendo en ella es cada vez mayor: hoy la mitad de la población mundial las habita y en 2050 se espera que ascienda al 70%.

Las ciudades, no obstante, son espacios altamente vulnerables ante los cambios globales, dado que un fallo en alguno de sus mecanismos metabólicos puede derivar en crisis sistémicas de enormes consecuencias a escala global.

Las ciudadanías, sin embargo, manejan las herramientas que pueden transformar la vul-

nerabilidad en resiliencia. Su capacidad de innovación, movilización y cambio les otorga gran influencia en la necesaria transición hacia sistemas sostenibles de producción y consumo.

En los últimos años las iniciativas de agricultura y naturación urbanas se han constituido en pieza clave tanto en proyectos desarrollados por la ciudadanía como en las políticas públicas diseñadas y puestas en práctica por diversas administraciones.

En el caso de los huertos urbanos o escolares, la producción agrícola es normalmente escasa, por lo que la función principal de estos espacios es, a menudo, la mejora de la cohesión social y la relación entre las personas que habitan los barrios. Sin embargo, los beneficios de los huertos urbanos podrían ir más allá, pues las redes socio-culturales que se establecen no solo fomentan cambios comportamentales puntuales y a corto plazo, sino que podrían llevar a transformaciones estructurales de calado con implicaciones, también, medioambientales y de salud pública.

El impacto medioambiental (directo e indirecto) del sector de la construcción en Espa-

ña y Europa, es responsable de un consumo de energía primaria que ronda entre el 33% y el 42% del total consumido anualmente. De la misma forma es responsable de un porcentaje que oscila entre un 35% y un 50% del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)[1]. Se estima que durante la fase de uso de los edificios, se consume aproximadamente un 50% de la energía primaria que emplea la industria de la construcción y que las emisiones de GEI en las edificaciones provienen principalmente del uso de los edificios, con datos que están entre el 80% y el 90%.

Los datos demuestran claramente que la mejora de la eficiencia energética de los edificios es un elemento clave para reducir algunos de los impactos medioambientales generados por la edificación.

La Unión Europea considera tanto la mejora de la eficiencia energética como la reducción de los GEI, puntos claves en sus políticas energéticas a medio y largo plazo. De hecho, los objetivos de clima y energía para 2020, 2030 y 2050 son los siguientes:

Objetivos para 2020:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20% respecto a los niveles de 1990
- Obtener un 20% de la energía a partir de fuentes renovables
- Mejorar la eficiencia energética en un 20%.

Objetivos para 2030:

- Un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero
- Obtener energía en al menos 27% provenientes de energías renovables
- Un aumento de la eficiencia energética en un 27-30%

- Un 15% de interconexión eléctrica (es decir, el 15% de la electricidad generada en la UE debe poder transportarse a otros Estados miembros).

Objetivo para 2050:

- Alcanzar en torno a un 80-95% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990.

La mejora de la eficiencia energética se incluye también como punto clave de los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la Naciones Unidas en su Agenda para 2030.

La mejora de la eficiencia energética del sector de la edificación está vinculada en primer lugar a una reducción de la demanda de energía de los edificios en su fase de uso. Muchas son las estrategias que pueden emplearse con este fin y la aplicación de los principios de la arquitectura bioclimática sirve de guía en este sentido.

Una de las estrategias más efectivas para conseguir una reducción de la demanda energética de las edificaciones es la introducción de sistemas vegetales, tanto en cubierta como en fachada. La gran ventaja del uso de vegetación en localidades con elevada irradiación está vinculada a la capacidad de las plantas de absorber la radiación solar sin incrementar su temperatura, debido a que la energía recibida es utilizada para la realización de sus funciones biológicas. Al contrario de lo que ocurre con otros materiales pasivos expuestos a radiación solar, esto permite que la vegetación no se sobrecaliente, reduciendo significativamente las cargas térmicas transmitidas al edificio.

Por este mismo comportamiento frente a la radiación solar, las cubiertas vegetales son una excelente opción para reducir la isla de calor urbano. Además, acercar elementos biológicos a las ciudades contribuye a la regulación del ciclo hidrológico, a la absorción de ruido, a la filtración de partículas contaminantes y a la

protección de la biodiversidad en zona urbana, con todos los beneficios psicológicos y sociales que ello conlleva.

Desde el punto de vista energético, varias investigaciones han demostrado que las envolventes vegetales cumplen con la doble función de contribuir a la reducción de ganancias solares durante el verano y a la reducción de dispersiones de calor durante el invierno [2 - 6]. Esto se traduce a su vez en una menor carga térmica tanto para el calentamiento como para el enfriamiento del edificio.

Durante las horas más cálidas del día, las fachadas realizadas con materiales convencionales acumulan y liberan una mayor cantidad de calor respecto a las fachadas vegetales. Por otro lado, durante las horas nocturnas de verano y en correspondencia con el período de ventilación natural, las fachadas vegetales absorben más calor del ambiente interno, favoreciendo el enfriamiento y contribuyendo a disminuir la temperatura operativa.

Con respecto a la reducción de la demanda energética de un edificio, la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo hasta el momento se han centrado en climas cálidos o en condiciones de verano. Sin embargo en los últimos años son cada vez más los estudios que analizan el comportamiento de las envolventes vegetales en condiciones de invierno.

A título de ejemplo se citan los resultados de dos investigaciones, una realizada en un clima cálido y otra en un clima templado durante el invierno. Haggag et al. [6] experimentaron el comportamiento de una fachada vegetal ubicada en una escuela de la ciudad de Al-Ain (Emiratos Árabes Unidos), caracterizada por un clima cálido seco. La fachada vegetal fue monitorizada y comparada con una fachada convencional durante el verano, que se caracteriza por temperaturas diurnas que oscilan entre 35 y 50 °C. Los resultados del estudio mostraron que la capa de vegetación bloquea parcialmente la radiación solar, regulando así la temperatura. La reducción de temperatura

en la superficie externa de la fachada vegetal produjo a su vez una disminución de temperatura de 6 °C en la superficie interna. Como consecuencia, la fachada vegetal siempre mantuvo una temperatura ambiente interior más baja que la pared convencional, con una diferencia que oscilaba desde 2 °C durante la noche hasta casi 6 °C durante los momentos más cálidos del día. A pesar de ello, las temperaturas interiores de alrededor de 45 °C están todavía lejos de una temperatura confortable, lo que significa que aunque la carga de refrigeración se redujo bastante, todavía había una necesidad de enfriamiento mediante equipos de refrigeración.

Con respecto a las condiciones de invierno, varias investigaciones [3 - 5] han demostrado que la principal ventaja de la vegetación es debida a la reducción de las pérdidas de calor por convección. Perini et al. [3] centraron el estudio en la influencia de la vegetación en la velocidad del viento y sus efectos sobre la resistencia térmica de la fachada. El experimento se realizó en invierno en tres ciudades holandesas diferentes comparando tres fachadas vegetales con otras tantas fachadas convencionales situadas en las mismas localidades. Dependiendo del sistema de fachada vegetal empleado, la velocidad del viento medida a 0.1m de distancia de las paredes vegetales se redujo entre 0.43m/s y 0.55m/s respecto a la que se midió a 0,1m de distancia de las paredes convencionales. Como consecuencia de esta reducción, la velocidad de viento medida en 0,1m de distancia de las fachadas vegetales fue de aproximadamente 0,2 m/s, lo que implica que la resistencia superficial externa ($Re = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$) podría ser igualada a la resistencia superficial interna ($Ri = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$), aumentando la resistencia térmica de la fachada en $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$. Los resultados demuestran que la capa vegetal contribuye al aislamiento térmico de las fachadas, ya que actúan como una capa protectora adicional. Este aumento de la resistencia térmica de la fachada se traduce inevitablemente en una reducción de la demanda energética para calefacción.

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) lleva muchos años investigando sobre los beneficios energéticos de fachadas y cubiertas vegetales [7 - 9]. Recientemente ha empezado un nuevo estudio que se está llevando a cabo en el propio Campus de la Universidad, a través de la instalación y monitorización de dos fachadas vegetales en uno de sus edificios. La experimentación sobre las fachadas vegetales es parte de una investigación mucho más amplia e interdisciplinar que involucra diferentes actores fuera y dentro de la Universidad. De hecho, la experimentación se enmarca dentro del desarrollo y remodelación de un nuevo espacio de trabajo e investigación de la UPM, que es la sede del Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM). El principal objetivo del itdUPM es promover procesos de innovación y transferencia de conocimiento basados en la investigación interdisciplinar y en el trabajo en alianza con organizaciones externas a la Universidad, que incluyen instituciones públicas, organizaciones sociales y empresas privadas. El edificio tiene por lo tanto la doble función de dar cabida a todas las actividades que se realizan en el Centro y ser al mismo tiempo la prueba tangible de la visión del Campus como laboratorio vivo de sostenibilidad ("living lab").

El concepto de laboratorio vivo o "living lab" es un concepto emergente y como tal no tiene todavía una definición unívoca; en el itdUPM

entendemos el laboratorio vivo de sostenibilidad como "una plataforma de innovación abierta que integra procesos de investigación e innovación involucrando colaboraciones público-privado-personas" [10], tal y como se describen en el Synthesis Report del Secretario General de Naciones Unidas publicado antes de la aprobación de los ODS.

El diseño del edificio se ha llevado a cabo a través de un proceso colaborativo que ha visto la participación de estudiantes, investigadores, profesores de la Universidad así como de organizaciones y empresas vinculadas al Centro.

Las fachadas incorporadas al nuevo edificio itdUPM están constituidas por una solución modular, con paneles pre-cultivados fijados a un soporte vertical metálico.

El sistema usado es un producto comercial con las siguientes características:

- Dimensión: 50cm x 50cm x 10cm
- Peso (sin plantas): 2 kg por módulo
- Número de plantas/m²: 48
- Sistema estático: anclaje simple
- Disposición del sistema de riego: tubería exudante integrada
- Material del módulo: polipropileno reciclable
- Substrato: orgánico (coco, turba, arcillas húmicas)



Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano de la Universidad Politécnica de Madrid (itdUPM).

El sistema está constituido por elementos ligeros y desmontables y está compuesto por dos estructuras tridimensionales de polietileno entre las cuales se encuentra un estrato de tejido hidrófilo para la distribución y drenaje del agua proveniente del riego. El sistema de riego es interno, y se realiza a través de goteo autocompensante, lo que produce que el agua esté siempre en movimiento, generando un ambiente húmedo.

Los módulos vegetales se instalaron en las paredes con orientación sur, este y oeste y cubren actualmente una superficie de 11,25m² en la fachada sur, 6,25m² en la fachada este y 10m² en la fachada oeste. Dos de ellas, la sur y la oeste están monitorizadas con sensores fijos de temperatura y medidores de flujo de calor.

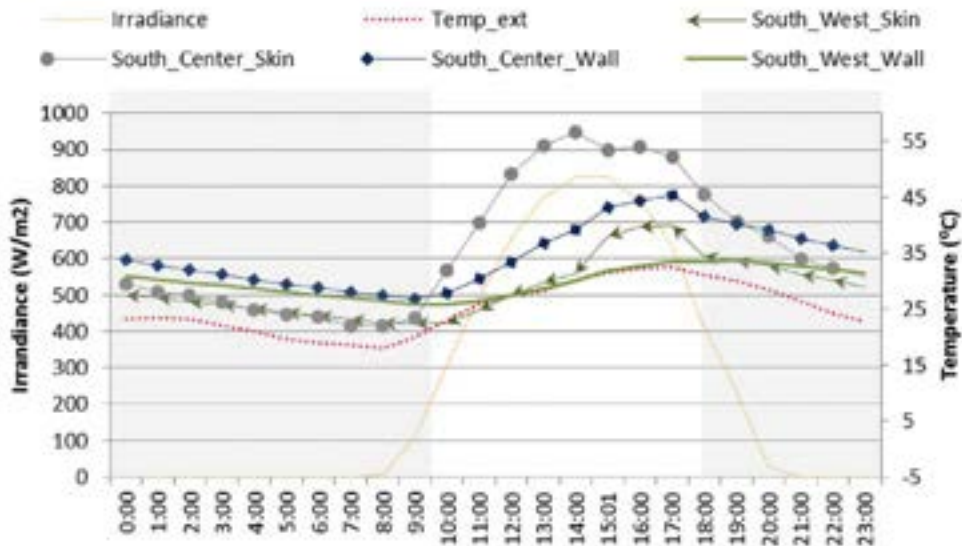
El objetivo del estudio es comparar las temperaturas registradas en las dos fachadas y, en cada una de ellas, comparar las temperaturas de la parte cubierta con vegetación con las temperaturas registradas en la parte sin vegetación.

Los termopares para la medición de temperaturas están instalados en diferentes puntos de la fachada: entre la envolvente metálica y la capa de fieltro del módulo vegetal y entre la pared del edificio y la envolvente metálica.

Las variables consideradas en el análisis son:

- Irradiancia [W/m²K] (*Irradiance*)
- Temperatura externa [°C] (*Temp_ext*)
- Humedad relativa [%]
- Temperatura superficial en el exterior de la envolvente metálica [°C] (*South/West_Center_Skin*)
- Temperatura superficial entre la envolvente metálica y el muro interno [°C] (*South/West_Center_Wall*)
- Temperatura superficial en el exterior del módulo vegetal [°C] (*South_West_Skin / West_South_Skin*)

Figura 6: Temperaturas registradas en un día soleado de verano en la fachada sur del edificio del itdUPM



- Temperatura superficial entre el módulo vegetal y el muro interno [°C] (*South_West_Wall / West_South_Wall*)

En junio de 2016 se inició con la monitorización de los datos y hasta el momento se han realizado análisis parciales sobre algunos días específicos. A título de ejemplo se menciona el análisis de temperaturas superficiales realizadas para un día soleado de verano.

La Figura 6 muestra el rango de temperaturas registradas durante un día soleado de verano en la fachada sur desde: la piel metálica en su sensor externo (*West_Center_Skin*) e interno (*West_Center_Wall*), la fachada vegetal en su sensor externo (*West_South_Skin*) e interno (*West_South_Wall*), la temperatura del aire en el exterior (*Temp_ext*) y la irradiación. En el gráfico se observan diferencias entre las temperaturas registradas en la fachada sin vegetación las cuales son superiores a las registradas en la fachada vegetal. Las condiciones climáticas generales durante el día corresponden a un promedio de humedad relativa del 40%, con un pico de irradiación de 960W/m². La temperatura máxima en el exterior fue de 32.3 °C y se registró a las 17:00h.

En el momento de máxima temperatura exterior, la fachada vegetal registra una temperatura superficial externa (*South_West_Skin*) de 40 °C e interna (*South_West_Wall*) de 33 °C, mientras que la fachada sin vegetación registra en su sensor externo (*South_Center_Skin*) una temperatura de 52 °C y en el interno (*South_Center_Wall*) 45 °C, lo que demuestra una reducción de la temperatura en el interior de la fachada con vegetal de un 20% aproximadamente respecto a la fachada sin vegetación.

Además, hay que destacar que en el caso de la fachada vegetal las temperaturas interiores se mantienen bastante estables, con una variación que oscila entre los 26 y los 35 °C aproximadamente. En el caso de la fachada sin vegetación, las temperaturas alcanzadas en el interior son bastante más elevadas, llegando

a alcanzar un pico de 45 °C y la variabilidad es mucho mayor.

Estos primeros resultados son positivos, ya que demuestran que la fachada vegetal se supone una reducción de temperatura y una mayor estabilidad térmica. El efecto conjunto de estos dos resultados conlleva a una reducción de la demanda de refrigeración. Como futuros pasos de la investigación se tendrán que analizar los datos térmicos registrados a lo largo de todo el periodo de medición, incluyendo un análisis detallado de los flujos de calor, para así cuantificar la reducción de las cargas térmicas y de los consumos globales e poder estimar la reducción de emisiones de GEI.

5. REFERENCIAS

- Amann, Markus, et al. Economic Evaluation of Air Quality Targets for Tropospheric Ozone. European Commission, DG XI [en línea]. 1998. Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/enveco/air/pdf/tropozone-c.pdf>*
- Anderson, Duality in climate science, 2015, Nat. Geosci. 8 898-900.*
- Corjan, Brink, et al. Costs and benefits of nitrogen in the environment. Cambridge university press [en línea]. 2011. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Brian_Jacobsen/publication/234703041_Costs_and_Benefits_of_nitrogen_in_the_environment/links/573acc5208ae298602e38e29.pdf*
- Europe. Copenhagen Centre/BLF, 2000*
- Garnier, J., Anglade, J., Benoit, M., Billen, G., Puech, T., Ramarson, A., Passy, P., Silvestre, M., Lassaletta, L., Trommenschlager, J.-M., Schott, C., Tallec, G., 2016. Reconnecting crop and cattle farming to reduce nitrogen losses to river water of an intensive agricultural catchment (Seine basin, France): past, present and future. Environ. Sci. Policy 63, 76–90. doi:10.1016/j.envsci.2016.04.019*
- Hedenus et al., 2013, The importance of reduced*

- meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets.
- Intermon Oxfam, 2015, *La desigualdad extrema de las emisiones de carbono*
- K. Perini, M. Ottelé, Fraaija La., Haas EM, Raiteri, *Vertical greening systems and the effect on air flow.*
- M. Haggag, A. Hassan, S. Elmasry, *Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate, Energy Build.* 82(2014) 668–674
- M. Hunter, N. S. G. Williams, J. P. Rayner, L. Aye, D. Hes, J. Livesley, *Quantifying the thermal performance of Green façades: a critical review, Ecol. Eng.* 63(2014)102–113
- M. Köhler, *Green façades—a view back and some visions, Urban Ecosyst.* 11(4)(2008)423–436.
- Naciones Unidas, *Perspectivas de la urbanización mundial.* <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Nelson, Jane, and Simon Zadek. *Partnership Alchemy: New social partnerships for*
- Olivieri, F., Olivieri, L., & Neila, J. (2014). *Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate. Building and Environment*, 77, 61–76.
- Olivieri, F., Redondas, D., Olivieri, L., & Neila, J. (2014). *Experimental characterization and implementation of an integrated autoregressive model to predict the thermal performance of vegetal façades. Energy and Buildings*, 72, 309–321.
- R. W. F. Cameron, J. Taylor, M. Emmett, A Hedera Green facade – energy performance and saving under different maritime-temperate, Winter weather conditions, *Build. Environ.* 92(2015)111–121.
- Touceda, M. I., Olivieri, F., & Neila, J. (2011). *Energy efficiency of a pre-vegetated modular facade prototype. In 27th International conference on passive and low energy architecture PLEA 2011 (pp. 733–738).*
- Zabalza Bibrián, I., Aranada Uson, A., *Eficiencia energética. Ecodiseño en la edificación, Prensas Universitaria de Zaragoza*, 2011



Azotea naturada.
Méjico. I. de Felipe

CAPÍTULO 24

CUBIERTAS VERDES EXTENSIVAS: SERVICIOS AMBIENTALES EN CLIMA MEDITERRÁNEO

Santiago Moreno

Profesor de la ETSIAAB en la UPM

1. INTRODUCCIÓN

En las primeras propuestas de cubiertas verdes para clima mediterráneo ocupó un lugar muy destacado el género *Sedum* (Grosse-Wilde, 1987). *Sedum* y muchos otros taxones con suculencia han desarrollado la peculiar capacidad de realizar la fotosíntesis con los estomas cerrados (fotosíntesis CAM). Los estomas se abren por la noche cuando las pérdidas de agua por transpiración son mucho menores y permanecen cerrados durante el día, cuando las temperaturas son altas. Esta adaptación ralentiza mucho el crecimiento pero es crítica para la supervivencia en ambientes áridos pero ¿es también una ventaja cuando estas especies se utilizan en cubiertas verdes situadas en clima mediterráneo? Si la cubierta verde descansa sobre un sustrato muy delgado y los aportes de agua son escasos, es decir, es una cubierta “extensiva” la respuesta es sí. En cambio, cuando la cubierta se asienta sobre un sustrato de mayor espesor, se beneficia de riego más o menos regular

(cubierta “intensiva”) y se buscan “servicios ambientales” como es la mejora en la habitabilidad térmica del edificio sobre el que sea asienta, reducción de escorrentía, captura de CO₂, etc., la respuesta es generalmente negativa. En lo que sigue se revisan uno a uno los posibles servicios ambientales que en clima mediterráneo, se pueden obtener de cubiertas extensivas.

2. OBJETIVOS

Con frecuencia el objetivo principal de las cubiertas verdes es reducir en el verano la temperatura del aire circundante y la carga de calor del edificio sobre el que están instaladas. La bajada de la temperatura ambiente y de la carga de calor se puede conseguir por tres vías principalmente: sombreado, reflexión de la luz (albedo de la cubierta) y evapotranspiración. *Sedum* y otras suculentas no aportan casi nada en este sentido. En cambio especies como *Salvia officinalis* o *Heuchera* sp, con un mayor tamaño, mayor índice de área foliar y una ma-

yor tasa de transpiración diurna permiten notables reducciones de temperatura, eso sí, a costa de un mayor consumo de agua (Monteiro, 2017). Un sistema con este tipo de especies solo podrá ser sostenible si el mayor gasto en agua, se ve compensado por un menor gasto en refrigeración. En algunos casos se ha visto que, efectivamente, esa compensación se produce (Moody, 2013; Perini, 2016; Saiz, 2006). Estas cubiertas junto a los jardines tradicionales, contribuyen a romper el efecto “isla de calor urbano” y a mejorar la calidad de vida de las ciudades. Este objetivo será cada vez más importante ya que como consecuencia del cambio climático se prevé aumenten las olas de calor y su intensidad (Monteiro 2017). Surge entonces una cuestión: ¿es posible obtener ese y otros servicios ambientales con un consumo mucho menor de agua?

3. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN

Con este fin se han llevado a cabo recientemente numerosos trabajos de caracterización y evaluación de la flora xerofítica mediterránea. La prospección de germoplasma en hábitats mediterráneos especialmente secos como canteras abandonadas, suelos poco profundos, y dunas, ha permitido seleccionar especies con unas necesidades hídricas relativamente bajas pero una notable capacidad de cubrir superficies y de producir biomasa factores clave para que las cubiertas pueden prestar servicios ambientales. Las especies seleccionadas: *Glacium flavum*, *Scabiosa columbaria*, *Centranthus ruber*, *Scrophularia canina*, y *Verbascum thapsus*. A estas especies habría que añadir *Anthemis maritima* capaz de alcanzar coberturas y biomasas similares o superiores pero en condiciones de severa falta de agua. También se han prospectado, evaluado y seleccionado para su uso en cubiertas verdes extensivas, especies (casmófilas) que viven de forma natural en paredes rocosas más o menos enriquecidas en sustancias nitrogenadas (Papafotiou, M. et al. 2013). Se seleccionaron las siguientes especies con buen comportamiento en cubiertas verdes extensivas: escrofulariáceas (*Antirrhinum lati-*

folium, *Cymbalaria muralis*), brasicáceas (*Erysimum cheiri*, *Lobularia maritima*), asteráceas (*Erigeron karvinskianus*, *Phagnalon rupestre*, *Artemisia absinthium*, *Helichrysum italicum*, *Helichrysum orientale*), valerianáceas (*Centranthus ruber*), convolvuláceas (*Convolvulus cantabrica*). Todas ellas son o bien caméfitos (en invierno las yemas están sobre el suelo a menos de 25 cm de altura) o bien hemicriptófitos (yemas a ras de suelo). Con vistas a la comercialización, su principal problema es que, en general, presentan semillas pequeñas y con acusada dormición (La última propuesta no se basa en hacer prospecciones. Ahora, es la naturaleza la que se encarga colonizar espontáneamente la cubierta, el hombre no siembra ni trasplanta o lo hace mínimamente. El riego es ausente o casi ausente. En este caso, se recomienda en lo posible utilizar distintos tipos de sustratos en distintas zonas de la cubierta para fomentar la biodiversidad (Madre, 2014). *Sedum* sp. podría estar presente al inicio, antes de la lluvia de propágulos, como especie facilitadora para la incorporación de nuevas especies (Van Mechelen C., et al. 2014).

Sedum y otras especies con el mismo biotipo sobre sustratos delgados, tampoco se han mostrado eficaces para reducir la escorrentía asociada a precipitaciones tormentosas en medios urbanos. Éste es, sin duda, otro de los fines que justifica la creación de cubiertas verdes. Las cubiertas convencionales ocupan más del 30% de la superficie total en muchas ciudades lo que significa que recogen aproximadamente un tercio de las precipitaciones. En ellas una muy pequeña parte del agua se infiltra, cierta proporción se evapora, y la mayoría pasa a formar parte de la escorrentía. Esta dinámica urbana dista mucho de la natural donde, en general, la escorrentía representa una fracción relativamente baja. Este cambio de dinámica acarrea entre otras consecuencias un mayor impacto y frecuencia de las inundaciones y fenómenos de erosión (Wootton-Beard, PC et al. 2016). Se ha visto que, en general, cuanto más profundo sea el sustrato y más cobertura y biomasa (aérea y subterránea) tenga la vegetación (herbácea), mayor es la capacidad de la



Terraza para producir alimentos. Nuremberg. M. Köhler

cubierta verde de retener, absorber y transpirar agua, y, por tanto, de reducir la escorrentía (Nagase, A. 2012). En estudios realizados en invernadero o en clima templado apuntan a que para reducir la escorrentía las gramíneas proporcionan los mejores resultados. Está por ver si lo mismo ocurre en climas áridos o semiáridos. Nótese que los dos servicios ambientales tratados hasta ahora van asociados a especies que cubren bien y producen una buena cantidad de biomasa.

Se estima que desde el comienzo de la Revolución Industrial hasta nuestros días la concentración de CO₂ ha pasado de 280 ppm a 380 ppm. (Pachauri, R.K. et al. 2014). La deforestación y el uso creciente de combustibles fósiles son los principales factores que han propiciado este incremento. En las ciudades el problema es especialmente agudo. Se ha comprobado que tanto los árboles urbanos como las cubiertas verdes intensivas proporcionan mayores tasas de fijación de CO₂ que las cu-

biertas verdes extensivas (Getter, K.L., et al. 2009). Aun así, el relativo bajo coste de instalación y mantenimiento de las cubiertas extensivas, hace que sean a veces la mejor opción. Un buen ejemplo de ello es la propuesta de utilización de cubiertas extensivas de Sedum para la captación de CO₂ en una de las ciudades más populosas del mundo, Ciudad de México (Collazo-Ortega, et al. 2017).

También los árboles urbanos son generalmente la vía más eficaz para la captación de contaminantes atmosféricos. Las cubiertas verdes son, no obstante, un buen complemento, sobre todo cuando se trata de cubiertas intensivas (Curie, 2008). En general, las plantas captan los contaminantes gaseosos SO₂, NO₂, O₃, etc, por los estomas. Una vez en el mesofilo reaccionan con el agua para dar ácidos y otras sustancias. En cambio, los contaminantes sólidos (PM10) son retenidos por las sustancias adherentes que en algunas plantas recubren la epidermis. Desde ahí, tres pueden ser los

destinos: absorción por la planta, resuspensión a la atmósfera por el viento, lixiviación y depósito en el suelo.

La conservación de avifauna basada en cubiertas o muros verdes ya tiene cierto recorrido y ha dado sus primeros frutos en algunos países pero todavía es incipiente en la cuenca del Mediterráneo. La estrategia consiste en diseñar cubiertas que puedan proporcionar alimento y/o lugar de nidificación utilizando las plantas con las que las aves han coevolucionado. Valgan como ejemplo los programas de conservación de avefrías (*Vanellus vanellus*) en Suiza (Baumann, 2006) y de colirrojo tizón (*Phoenicurus ochruros*) en el Reino Unido (Grant, 2006). En Sudamérica son numerosos los jardines verticales cuya composición florística se han diseñado para atraer a colibríes (CITA). Cuando el objetivo es servir de plataforma de cría, las cubiertas verdes tienen la ventaja de que permiten fácilmente restringir la presencia humana. También se ha probado con éxito la conservación de insectos que se alimentan de forma muy específica a partir de una o pocas especies, mediante la creación de hábitats adecuados en muros y cubiertas verdes que contengan dichas especies (Madre, 2013).

4. CONCLUSIONES

Las primeras xerocubiertas que se propusieron, con especies del género *Sedum*, estaban estructuralmente compuestas por con una única clase estructural o biotipo: caméfito suculento. Ya hay evidencia que apunta a que la mezcla de especies y particularmente de especies pertenecientes a distintos biotipos pueden presentar múltiples ventajas. Por una parte mejora la resiliencia de la cubierta y con ello la supervivencia de las especies integrantes (revisado por Cook-Patton, S. C., & Bauerle, T. L. 2012, MacIvor, 2013) Por otra permite obtener de la cubierta varios servicios ambientales a un nivel razonablemente alto (Lundholmm, 2010). No obstante, queda mucho por investigar ya que no todas las combinaciones de biotipos dan buenos resultados (Lundholmm, 2010; Nagase A & Dunnet N. 2012).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baumann, N. (2006). *Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations*. *Urban Habitats*, 4(1), 37-50.
- Collazo-Ortega, M., Rosas, U., & Reyes-Santiago, J. (2017). *Towards Providing Solutions to the Air Quality Crisis in the Mexico City Metropolitan Area: Carbon Sequestration by Succulent Species in Green Roofs*. *PLoS currents*, 9.
- Cook-Patton, S. C., & Bauerle, T. L. (2012). *Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: a literature review*. *Journal of environmental management*, 106, 85-92.
- Currie, B. A., & Bass, B. (2008). *Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model*. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409-422.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). *Carbon sequestration potential of extensive green roofs*. *Environmental science & technology*, 43(19), 7564-7570.
- Grant, G. (2006). *Extensive green roofs in London*. *Urban Habitats*, 4(1), 51-65.
- Grosse-Wilde, J. (1987). *Extensive greening of roofs by the use of Sedum and other succulents*. *Taspo Magazin (Germany, FR)*.
- Lundholmm, J., MacIvor, J. S., MacDougall, Z., & Ranalli, M. (2010). *Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions*. *PloS one*, 5(3), e9677
- MacIvor, J. S., Margolis, L., Puncher, C. L., & Matthews, B. J. C. (2013). *Decoupling factors affecting plant diversity and cover on extensive green roofs*. *Journal of environmental management*, 130, 297-305.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., & Clergeau, P. (2014). *Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: first insights from*

- a large-scale sampling. *Landscape and urban Planning*, 122, 100-107.
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., & Clergeau, P. (2013). A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods. *Ecological Engineering*, 57, 109-117.
- Van Mechelen, C., Dutoit, T., Kattge, J., & Hermy, M. (2014). Plant trait analysis delivers an extensive list of potential green roof species for Mediterranean France. *Ecological engineering*, 67, 48-59.
- Monteiro, M. V., Blanuša, T., Verhoef, A., Richardson, M., Hadley, P., & Cameron, R. W. F. (2017). Functional green roofs: Importance of plant choice in maximising summertime environmental cooling and substrate insulation potential. *Energy and Buildings*, 141, 56-68.
- Moody, S. S., & Sailor, D. J. (2013). Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy and Buildings*, 60, 262-269.
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and urban planning*, 104(3), 356-363.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R. & Dubash, N. K. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). IPCC.
- Papafotiou, M., Pergialioti, N., Tassoula, L., Masas, I., & Kargas, G. (2013). Growth of native aromatic xerophytes in an extensive Mediterranean green roof as affected by substrate type and depth and irrigation frequency. *HortScience*, 48(10), 1327-1333.
- Perini, K., & Rosasco, P. (2016). Is greening the building envelope economically sustainable? An analysis to evaluate the advantages of economy of scope of vertical greening systems and green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 328-337.
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental science & technology*, 40(13), 4312-4316.
- Wootton-Beard, P. C., Xing, Y., Durai Prabhakaran, R. T., Robson, P., Bosch, M., Thornton, J. M. & Donnison, I. (2016). Improving the Impact of Plant Science on Urban Planning and Design. *Buildings*, 6(4), 48.



CAPÍTULO 25

ZONAS VERDES DE PROXIMIDAD EN LA CIUDAD Y EFECTOS SOBRE SUS HABITANTES

José Antonio Corraliza Rodríguez

Catedrático de Psicología Ambiental. Universidad de Córdoba

José Fariña Tojo

Catedrático de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad Politécnica de Madrid

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas pruebas de la necesidad de contar con espacios verdes en nuestras ciudades. Además, de diversos tipos, tamaños y funciones. Podríamos abordar el tema desde diferentes puntos de vista pero, como cada vez se hace más evidente que las ciudades deberían tender a ser consideradas como “ciudades de cercanía” para conseguir mayor sostenibilidad y resiliencia, vamos a centrarnos precisamente en los espacios verdes de cercanía. Es decir, aquellos que se encuentran a menos de cuatrocientos metros de las viviendas. No es que la cifra de cuatrocientos metros sea sacrosanta. Es más, algunas instituciones médicas norteamericanas hablan de trescientos metros. Sencillamente resulta que es la distancia que puede recorrer una persona mayor aproximadamente en unos diez minutos y sin cansarse demasiado.

No cabe duda de que en las actuales condiciones de densificación de las ciudades, existe un debate abierto y un interés creciente sobre la relación ente los elementos naturales y otros componentes de la plástica urbana y cómo hacer coexistir naturaleza y urbanismo, tal y como concluyen Özgüner & Kendle (2007). En este mismo sentido, por ejemplo, Shanahan et al. (2015) plantean la necesidad de establecer una “dosis mínima” de naturaleza accesible para la población que, como estos mismos autores muestran contribuye a la mejora de la salud de la población urbana. Matsuoka y Kaplan (2008), en una revisión de 90 estudios en 23 países sobre las necesidades que satisfacen los paisajes urbanos muestra que en el 92% de los estudios analizados se concluye que el contacto con estos espacios busca satisfacer la necesidad de contemplar elementos naturales (especialmente vegetación), la necesidad de satisfacción y estar a gusto y la necesidad de

usos recreativos (juegos, deporte, etc.). Además, en el 66% de los estudios analizados se destaca la importancia que los espacios públicos tienen para la satisfacción de las necesidades de interacción social, promover la participación y desarrollar sentimientos de comunidad. Así pues, la mejora del bienestar subjetivo (en sentido amplio, incluyendo bienestar físico y psicológico) y la necesidad de interacción social son los dos conjuntos de motivaciones básicas que justifican la importancia de los espacios naturales urbanos para la calidad de vida. Y dentro de la amplia tipología de espacios verdes, se destaca la importancia estratégica cada vez más relevante de los espacios verdes de cercanía

De forma que estos espacios verdes de cercanía deberían ser el entramado público vital de nuestras ciudades. Para utilizarlos no es necesario acudir a los mismos en coche, moto o bicicleta. Es suficiente ir andando. De esta forma conseguimos reducir la huella ecológica al no consumir energía ni contaminar. Pero ello no quiere decir que no deban de considerarse otro tipo de espacios verdes de mayores dimensiones y más alejados. Según Sukopp y Werner (1989) hay una relación inversa entre el tamaño de las áreas de naturaleza y su frecuentación. De forma que en Madrid, por ejemplo, además de la Plaza de Santa Gema o Madrid-Río es bueno que exista El Retiro o La Casa de Campo. Incluso grandes parques periféricos de utilización más ocasional como el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares o el Nacional de la Sierra del Guadarrama.

Relacionado con ello, Lorenzo, Corraliza, Collado y Sevillano (2016) en un reciente estudio sobre nueve plazas urbanas de la almendra central de Madrid destacan el papel de estos espacios de proximidad como oportunidad para acceder fácilmente a los beneficios de la naturaleza en línea con lo que en otro momento argumentaba (Chiesura, 2004). Por su parte Nordh y Østby (2013) destacan el valor de lo que ellos denominan *pocket parks* y señalan que los *pockets parks* tienen la función

de complementar los grandes parques y permitir el contacto con la naturaleza en el día a día". Baur y Tynon (2010) se refieren a los "espacios verdes urbanos de pequeña escala" y destacan su valor como elementos del capital social urbano y para el bienestar de los barrios, entre otras razones por su accesibilidad. Por su parte, Lorenzo et al. (2016), concluyen que las plazas más preferidas son aquellas con mayor cantidad de vegetación. En este mismo trabajo se concluye que la presencia de naturaleza en los espacios urbanos favorece, además, el desarrollo de actividades relevantes en la agenda diaria de los usuarios tales como el paseo y el encuentro o la interacción social. Esto confirmaría que las zonas verdes cercanas (plazas con elementos naturales, *pocket parks*, etc.) actúan también como ambientes soportadores (en la terminología de Kaplan) del desarrollo de actividades claves en la vida diaria tanto de tipo estancial ("tomar algo", por ejemplo), como actividades de paseo y ejercicio físico (como el juego de los niños), como, en fin, actividades de relación e intercambio social.

Esto aumenta la complejidad urbana lo que redundaría en una mejor respuesta ante su funcionamiento global. En concreto, un aumento de su resiliencia. Pero la complejidad no sólo depende del número y variedad de elementos que forman un conjunto, sino también de las relaciones entre ellos. Esto significa, como también se viene diciendo hasta la saciedad, que resulta imprescindible que estos espacios estén conectados entre sí. Es decir, que formen una red. Ya no se puede hablar como antes exclusivamente de elementos aislados. La conexión entre espacios verdes no sólo resulta imprescindible como una necesidad para conseguir aumentar la biodiversidad, sino también para mejorar su uso. El diseño de cualquier espacio verde debería empezar por conseguir las necesarias conexiones con otros de diferentes tamaños, formas y usos.

Antes de seguir adelante resulta necesario aclarar qué entendemos por zona verde. Por lo menos en este artículo. Parece que un espacio verde (normalmente denominado "área",



Panel verde. Estación central. Tokio. I. de Felipe

o “zona” en el planeamiento urbano español) sería una parte de la ciudad con árboles y césped. Así es como aparece normalmente en el imaginario de los habitantes de las ciudades, como un área ajardinada. Conforme el “área ajardinada” se va haciendo mayor se va convirtiendo progresivamente en un “área forestal”. El cuándo una se convierte en la otra no está muy claro pero, aparentemente, depende de los cuidados que se le prodigan. Pues bien, aquí vamos a considerar como zona verde incluso los solares libres de edificación siempre que no estén cementados aunque en los mismos crezca una vegetación espontánea y sin cuidados. De esta forma cualquier espacio libre no cementado podría ser considerado zona verde. Es decir, no nos vamos a limitar al concepto tradicional del planeamiento.

Pero todavía vamos a ir más allá porque en la ciudad consolidada a veces es imposible conseguir zonas de este tipo. Vamos a entender también como zona verde cualquier lugar, in-

cluso cementado, en el que se cultiven árboles, arbustos o cualquier tipo de vegetal (esto incluye puerros y tomates, por ejemplo). Así que las llamadas cubiertas o las fachadas “verdes” pasarían a tener consideración de “zonas verdes”. Incluso edificios enteros dedicados al enverdecer la ciudad o a cultivos agrícolas. Esta forma de considerar la introducción de la naturaleza en la ciudad no deja de ser controvertida. Sin embargo, y como veremos más adelante, parece demostrado que, hasta una simple maceta con un geranio podría servir para que el habitante de la ciudad se sienta mejor.

2. ZONAS VERDES Y CALIDAD AMBIENTAL

Hasta hace relativamente pocos años las llamadas zonas verdes se estudiaban en planeamiento urbano como un equipamiento más. Lo que significa que su función era básicamente la de complementar aquellos servicios que las

viviendas no podían prestar. Es decir, en ellas se deberían de poder realizar determinadas actividades tales como pasear, sentarse, jugar, tomar contacto con la naturaleza o charlar en amigable compañía de otros. Sin embargo, con el transcurso del tiempo esta noción de zona verde ha cambiado de forma muy importante. Se reconoce que ejercen muchas más funciones que las de simple equipamiento. Por ejemplo, sirven para cambiar el microclima urbano, reducen la contaminación, pueden permitir cultivos agrícolas en determinados casos o, incluso, favorecer la salud física y mental de los habitantes de la ciudad tal y como afirman Fariña y Merino (2012) y una reciente publicación de la Escuela de Salud Pública andaluza.

Dado que su función como equipamiento está muy estudiada vamos a centrarnos en otras menos estudiadas. El clima urbano es un clima de extremos. En muy pocos metros puede cambiar de forma espectacular. Por ejemplo,

se han llegado a medir diferencias de más de veinte grados entre la temperatura del aire a unos veinte centímetros de una zona asfaltada sin sombra y en una zona sombreada de suelo natural, ambas situadas a unos diez metros de distancia una de la otra. Pasa lo mismo con la humedad relativa del aire que se puede aumentar de forma notable (debido al fenómeno de la evapotranspiración) mediante la introducción de elementos vegetales. Temperatura y humedad relativa son dos de los elementos con los que puede jugar el proyectista para conseguir microclimas agradables. De forma que es posible conseguir, como se afirma en el libro *La Ciudad y el Medio Natural* (Fariña, 2008) ambientes de confort mediante el adecuado diseño urbano que cuente con los elementos naturales adecuados situados en los lugares oportunos.

Pero no sólo influye en el microclima. Es también sabido que las ciudades constituyen



Huerto en la azotea del Hotel Wellington. Madrid. MJ. Mújica.

islas de calor por encontrarse en ellas temperaturas entre dos y tres grados superiores al entorno que las rodea. Pues también se ha podido constatar la disminución de este efecto isla de calor mediante la inclusión de elementos naturales en los centros urbanos. Pero su utilización no se circunscribe a la modificación de la temperatura o la humedad relativa, también lo puede hacer con el viento favoreciendo las brisas refrescantes o impidiendo mediante barreras vegetales los vientos que impidan un uso confortable del espacio público. Siguiendo lo que se afirma en *La Ciudad y el Medio Natural* podemos ver, por tanto, que un diseño urbano racional que considera las zonas verdes como elementos que permiten regular el microclima hace variar notablemente el comportamiento de los ciudadanos favoreciendo o haciendo más complicado el uso del espacio público.

Y es que, según Bedino-Rung, Mowen y Cohen (2005), un medio ambiente urbano poco confortable disuade de la utilización del espacio. Si queremos que la ciudad recupere su función de educación en la urbanidad es imprescindible que aceras, plazas y parques se constituyan en puntos de encuentro y socialización. Para ello es necesario que sean confortables. Pero esto no es suficiente. Además, el urbanita tiene que sentirse seguro. Esta es otra cuestión muy importante pero que ahora no es el momento de tratar pero desde los trabajos pioneros de Newman (1971) que desembocaron en métodos como CEPETED este tema se está constituyendo como un área muy importante en el diseño urbano. Sería una de las condiciones irrenunciables de estas zonas verdes de proximidad además de la ya mencionada del confort microclimático.

Otra de las funciones que habría que mencionar sería la de reducir la contaminación. No sólo la contaminación por partículas o por gases sino también las contaminaciones visual y acústica. Y es precisamente esta última, fácilmente perceptible por el usuario, uno de los motivos de cambios en el comportamiento del mismo en relación con el uso del

espacio público. Es verdad que, según Díaz Sanchidrián (2002), los elementos de naturaleza tienen que estar muy bien pensados para que, realmente, disminuyan este tipo de contaminación y también lo es que, frente a determinadas frecuencias, es complicado conseguir resultados importantes. Pero es que el proyectista, una vez más, se encuentra con que es casi el único elemento al que puede recurrir para controlar este tipo de contaminación. Aparte, por supuesto, el de actuar sobre el foco del ruido.

También la introducción de la naturaleza en la ciudad nos permite actuar frente a la contaminación visual. Según Rapoport (1974), este tipo de contaminación se produce por la excesiva acumulación de estímulos en el ambiente urbano. Estímulos que provienen, tal y como nos dice Milgran (1970), sobre todo pero no exclusivamente, de la publicidad. Ya veremos más adelante los beneficios que tiene la simple contemplación de un área de naturaleza desde el punto de vista de la reducción de los niveles de estrés pero ahora se trata de mencionar que también se puede utilizar desde el punto de vista del diseño ya que, la colocación estratégica de árboles o arbustos puede servir como sistema para conseguir áreas más uniformes y, por tanto, reducir la acumulación de estímulos, haciendo el uso del espacio público más placentero y confortable.

Otro de los aspectos importantes es que la introducción de la naturaleza en la ciudad contribuye a facilitar la realización de ejercicio físico. Existen muchos estudios que relacionan la no existencia de zonas verdes de proximidad con el sobrepeso. Así, los trabajos de Liu, Wilson, Ki y Ying (2007) demuestran, en un estudio con más de 7000 niños de entre 3 y 18 años, que más vegetación en el barrio se asocia con menos sobrepeso infantil. Pero existen muchas otras pruebas científicas de que la existencia de zonas verdes cercanas modifica el comportamiento de los habitantes de las ciudades en el sentido de favorecer el ejercicio físico. Así, los trabajos de Petty y otros. En este sentido, merece la pena destacar, por ejem-

plo, el hecho de que la proximidad a zonas verdes se relaciona con una mayor actividad física y relacional en personas mayores como se muestra en el trabajo de Broekhuizen, de Vries, & Pierik, (2013).

Y es que la vida en un entorno urbano básicamente cementado produce lo que se llama en la literatura especializada el trastorno por déficit de naturaleza, utilizado originariamente por Louv (2008). Este trastorno tiene consecuencias físicas, psicológicas y relacionadas con determinados comportamientos de carácter ambiental. Habría que destacar, tal y como señalan Collado y Corraliza (2016), la gran importancia que tiene esta cuestión en el caso de la población infantil y la necesidad de reducir todo lo posible este trastorno por déficit de naturaleza por las graves consecuencias respecto a su educación. Y que son, justamente, las zonas verdes de proximidad, bien situadas en colegios o en áreas cercanas a la residencia, las que deberían de merecer toda la atención de los diseñadores y proyectistas urbanos. Se puede deducir de lo visto que las llamadas áreas verdes realizan en las ciudades muchas más funciones que las meramente de equipamiento.

3. ZONAS VERDES Y BIENESTAR FÍSICO Y MENTAL

Existen bastantes teorías que relacionan la existencia de zonas verdes, sobre todo de proximidad, con el bienestar físico y mental. En el libro de Calaza (2017) que aparece en la bibliografía se incluye un buen resumen. En realidad deberíamos de empezar hablando de la Teoría de la Biofilia de Wilson (1984). Sobre todo porque hay una importante escuela en Norteamérica que continúa por este camino. Entre otros podríamos citar a Timoty Beatley (2012) que ha escrito varios libros al respecto tales como *Biophilic Cities. Integrating Nature into Urban Design and Planning* o también *Green Cities of Europe*. Wilson pensaba que una parte importante del comportamiento humano se regía por lo que podríamos denominar recuerdos del pasado condicionados por la re-

lación ecológica que la especie había tenido con la naturaleza, tanto con el medio biótico como con el abiótico. En una situación, como la urbana, en la que este contacto se pierde se producen problemas emocionales y situaciones de escaso confort.

Los primeros planteamientos de Wilson a este respecto son de mitad de los años setenta del pasado siglo XX y no los hace sobre vacío (véase, Wilson, 1975). Diferentes autores citan como precedentes claros de sus ideas las de Thoreau o Leopold. En 1975 publica *Sociobiology: The New Synthesis* donde introduce la necesidad de estudiar las bases biológicas que subyacen en toda conducta social. Sin embargo el libro que le ha dado fama es el de *Biophilia* publicado en 1984. Y no sólo porque introduce este concepto que plantea el placer que sentimos en contacto con la naturaleza, sino porque acuña también el de biodiversidad que va a tener una importancia manifiesta en todos los campos del saber. Este concepto lo desarrolla luego en *The Diversity of Life* de tanta influencia ha tenido posteriormente. Pero, volviendo a la *biofilia*, en un libro que Wilson escribió en 1993 con Keller puede leerse: “La necesidad humana de la naturaleza está vinculada no sólo a la explotación material del medio ambiente, sino también a la influencia de la naturaleza en nuestro bienestar emocional, estético, cognitivo e incluso en el desarrollo espiritual”.

Junto a la teoría *biofilica* de Wilson hay que destacar otras dos. La de *la reducción del estrés* de Ulrich (1983) y la del efecto restaurador de la Naturaleza de Kaplan (1995). En realidad, ambas están relacionadas, aunque Ulrich se centra en el estudio de las respuestas a estímulos amenazadores, mientras que Kaplan estudia los efectos en los procesos de recuperación de la capacidad de la atención debido a actividades diarias. En el año 1983 Ulrich publica un artículo titulado “*Aesthetic and affective response to natural environment*” que va a ser la base de otra serie de trabajos que relacionan la reducción del estrés con la exposición a paisajes o elementos de la naturaleza. Su teoría psicoe-



Singapur. Huerto en el Hospital Khoo Teck Puat. Con etiquetas educativas para los pacientes. M. Köhler

volutiva, que suele conocerse con el nombre de PET (*psycho-evolutionary theory*), se aplica incluso a elementos naturales como árboles que pueden verse desde una ventana. En un trabajo publicado en 1984 (véase Ulrich, 1984) compara los procesos de recuperación de personas recién operadas de vesícula alojadas en habitaciones con vistas a escenarios con vegetación frente a ventanas que ofrecen vistas de otros edificios y concluye que las personas con vistas a elementos naturales se recuperan antes y demandan menos analgésicos, entre otras diferencias". Y aún más contundentes son sus conclusiones sobre los procesos de recuperación de experiencias de estrés inducido después de correr durante diez minutos en un laboratorio según la contemplación de escenas naturales y escenas no naturales (Ulrich et al., 1991). Por término medio, las personas que contemplan escenas naturales se recuperan en la mitad de tiempo que las personas

que contemplan otros escenarios urbanos no naturales (escenas de calles con tráfico, por ejemplo).

La teoría del efecto restaurador de Kaplan, conocida como ART (*Attention restoration theory*) es más general que la de Ulrich ya que se refiere, en términos más abstractos, a los problemas producidos por un exceso de atención en las actividades diarias. Ya se habló en párrafos anteriores que la capacidad de absorción de información por la mente humana es limitada. Sin embargo, las ciudades se caracterizan por un exceso de estímulos presentes en su paisaje urbano. En estas condiciones, según Collado y Corraliza (2016) que siguen las ideas de Kaplan, se puede entender por entorno restaurador aquel que posee cuatro condiciones: que atrae la atención sin esfuerzo impidiendo el aburrimiento; que aleja al sujeto de sus preocupaciones diarias; que es lo suficientemente

rico y coherente como para constituir un mundo en sí mismo; y que permite llevar a cabo actividades sin esfuerzo adicional.

Según la mayor parte de los autores, por ejemplo, Herzog, Maguire y Nebel (2003) o Launman, Gärling y Stormak (2001), resulta que son precisamente los ambientes naturales los que ofrecen mejores condiciones como entornos restauradores y, en concreto, aumentan estas condiciones favorables con la existencia de vegetación. Pero las evidencias no se reducen a cuestiones exclusivamente relacionadas con factores puramente psíquicos. Existen también múltiples evidencias que relacionan el contacto o la simple visión de elementos naturales en la ciudad con la presión arterial o el colesterol. En este sentido existen bastantes estudios, como el de Hu, Liebens y Rao (2008), que relacionan un menor número de muertes por accidentes cardiovasculares y mayor cantidad de zonas verdes.

Además de estas evidencias empíricas sobre los beneficiosos efectos del contacto frecuente con entornos naturales o naturalizados en la vida urbana, hay otros muchos estudios que muestran la importancia de la naturaleza urbana cercana (de proximidad) para el bienestar y la cohesión social. Por ejemplo, un trabajo realizado por Kuo & Sullivan (2001) con 145 personas en un barrio de realojo de estatus socioeconómico bajo, y después de clasificar las casas según la proximidad a entornos naturales o naturalizados concluye que la cercanía con la naturaleza se relaciona positivamente con una mayor capacidad para el mantenimiento de la atención, comportamientos sociales más positivos y la disminución de aparición de comportamientos agresivos e incluso la reducción de actividades delictivas. Es decir, la cercanía de zonas verdes ayuda a un mayor equilibrio psicológico y la probabilidad de un mayor nivel de cohesión social.

En una línea similar, Wells (2000) también ha verificado que, por ejemplo, la capacidad de atención de los niños mejoraba al cambiar de una casa a otra con más vegetación cerca. Pero

incluso la que se denomina “salud autopercebida”, es decir si el sujeto se siente más sano, se ha verificado que está relacionada con las personas que visitan más tiempo los espacios verdes. Así, Pedro Calaza lo ha podido demostrar para el caso cercano como es el de la ciudad de A Coruña. Estudios más recientes realizados con poblaciones infantiles afectadas por diversos trastornos como el déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Por ejemplo, Faber Taylor and Kuo (2011) en un estudio con niños con TDAH de entre 7 y 12 años concluyen que la realización de actividades lúdicas en zonas verdes hacen disminuir los síntomas (incluso sin medicación), mientras que actividades similares realizadas en espacios interiores no reducen dichos síntomas. Una revisión más detallada de efectos registrados en otros estudios se puede consultar en la revisión realizada por Collado, Staats, Corraliza y Hartig (2017) donde se confirma el hecho de que el espacio verde no es un mero ornato en la estructura de la ciudad, sino que forma parte de los recursos estratégicamente decisivos para el bienestar humano y la calidad de vida.

4. CONCLUSIONES

La introducción de zonas verdes de proximidad y, en general de la naturaleza incluyendo árboles de alineación, modifica en muchos aspectos el comportamiento de los habitantes de las ciudades en sentido positivo. No sólo porque permite una mejora apreciable del confort del espacio público incidiendo sobre la temperatura, humedad relativa y viento, sino también por aminorar el efecto isla de calor y reducir la contaminación. Esta mejora del confort está directamente relacionada (si va acompañada de un aumento de la seguridad subjetiva) con las posibilidades de relación social y realización de ejercicio físico. Esto es particularmente importante en el caso de sociedades con pirámides de edad muy envejecidas como la española.

Otro de los aspectos importantes está relacionado con la capacidad de restauración de un entorno natural. Tanto en el caso de la



Admirando pared verde. I. Urcelay

teoría de la biofilia de Wilson, como en las de Ulrich o Kaplan y Kaplan, se supone que un ambiente urbano normalmente implica una sobrecarga estimular que no sólo no ayuda a resolver el trastorno producido por déficit de naturaleza que está detrás de las teorías de Wilson, sino que contribuye al aumento del estrés y, además, se relaciona con los problemas de atención. Todos estos trabajos y nuevos enfoques deberían hacer cambiar el tradicional concepto de zona verde tal y como se ha venido entendiendo hasta el momento en el planeamiento. Las zonas verdes ya no se pueden plantear como espacios residuales aislados y desvinculados de la trama general de la ciudad. La red de zonas verdes debería de ser el elemento clave que ayudara a organizar las áreas urbanas y su consideración debería de ser algo más que la de un equipamiento.

Habría que considerar, además, cuestiones relacionadas con la sostenibilidad del planeta

que no se han tratado en este apartado por no hacerlo demasiado grande. Es decir, la forma en que las zonas verdes urbanas pueden ayudar a la reducción de la huella ecológica, no sólo porque ayudan a reducir el CO₂ de la atmósfera aunque no lo hagan desaparecer del sistema y sencillamente lo almacenen, sino también por la necesidad de mantener la biodiversidad de los ecosistemas incluidos los urbanos. Todo ello relacionado también con el comportamiento de los habitantes de las ciudades ayudando a la creación de una conciencia ecológica imprescindible en unos momentos es que estamos necesitados de modificar los hábitos de conducta de la población si queremos que exista planeta para todos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baur, J. W. R., & Tynon, J. F. (2010). *Small-scale urban nature parks: Why should we care? Leisure Sciences: An Interdisciplinary Journal*, 32, 195–200.

- Beatley, T. (2010). *Biophilic Cities. Integrating Nature into Urban Design and Planning*, Island Press.
- Beatley, T. ed. (2012). *Green Cities of Europe*, Island Press.
- Bedimo-Rung, A.L., Mowen, A.J. y Cohen, D.A. (2005). *The significance of parks to physical activity and public health, a conceptual model*. *American Journal Preventive Medicine*, 28(2S2).
- Broekhuizen, K., de Vries, S. I., & Pierik, F. H. (2013). *Healthy aging in a green living environment: A systematic review of the literature (TNO rep. R10154)*. Leiden: TNO.
- Calaza Martínez, P. (2017). *Infraestructura verde. Sistema natural de Salud Pública*, Mundi-Prensa.
- Chiesura, A. (2004). *The role of urban parks for the sustainable city*. *Landscape and Urban Planning*, 68, 129–138.
- Collado, S. y Corraliza, J. A. (2016) *Conciencia ecológica y bienestar en la infancia. Efectos de la relación con la naturaleza*, Editorial CCS.
- Collado, S.; Staats, H.; Corraliza, J.A. y Hartig, T. (2016). *Restorative Environments and Health*. En G. Felury, E. Pol y O. Navarro (eds.). *Handbook of Environmental Psychology and Quality of Life Research* (pp. 127-148). Springer
- Díaz Sanchidrian, C. (2002). *Apuntes de acústica en la edificación y el urbanismo*, Instituto Juan de Herrera.
- Faber Taylor, A., y Kuo, F. (2011). *Could exposure to everyday green spaces help treat ADHD? Evidence from children's play settings*. *Applied Psychology: Health and Well-being*, 3, 281–303
- Fariña, J. (2003). *Criterios ambientales en el diseño y construcción de la ciudad*, Aula BP de la UPM.
- Fariña, J. (2008). *La ciudad y el medio natural*, Akal.
- Fariña J. y Merino, B. (2012). *Urbanismo y salud pública*, Escuela andaluza de salud pública.
- Herzog, T., Maguire, C. y Nebel, M. (2003). *Assessing the restorative components of environments*. *Journal of Environmental Psychology*, 23.
- Hu, Z., Liebens, J. y Rao, K.R. (2008). *Linking stroke mortality with air pollution, income, and greenness in northwest Florida: an ecological geographical study*. *Health Geogr.* 7.
- Kaplan, R. (2001). *The nature of the view from home: Psychological benefits*. *Environmental and Behaviour*, 33, 507-542.
- Kaplan, R. y Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*, Cambridge University Press.
- Kaplan, S. (1995). *The restorative benefits of nature: Toward and integrative framework*, *Journal of Environmental Psychology*, 25, 169–182.
- Kellert, S. R. y Wilson, E. O. (1993). *The Biophilia Hypothesis*, Island Press.
- Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (2001). *Environment and crime in the inner city: Does vegetation reduce crime?* *Environment and Behavior*, 33, 343–367.
- Laumann, K., Gärling, T. y Stormark, K. (2001). *Rating scale measures of restorative components of environments*. *Journal of Environmental Psychology*, 21.
- Liu, G., Wilson, J., Qi, R. y Ying, J. (2007). *Green neighborhoods, food retail and childhood overweight: Differences by population density*. *The Science of Health Promotion*, 21, 317–325.
- Lorenzo, E.; Corraliza, J.A.; Collado, S. y Sevillano, V. (2016) *Preference, restorativeness and perceived environmental quality of small urban spaces / Preferencia, restauración y calidad ambiental percibida en plazas urbanas*, *Psychology*, 7, 152-177.

- Louv, R. (2008). *Last child in the woods. Saving our children from nature-deficit disorder*, Algonquin Books.
- Matsuoka, R. H., & Kaplan, R. (2008). *People needs in the urban landscape: Analysis of landscape and urban planning contributions*. *Landscape and Urban Planning*, 84, 7 – 19.
- Milgran, S. (1970). *The experiences of living in cities. Adaptations to urban overload create characteristic qualities of city life that can be measured*. *Science*, 167.
- Newman, O. (1971). *Defensible space: people and design in the violent city*, Architectural Press.
- Nordh, H., & Østby, K. (2013). *Pocket parks for people – A study of park design and use*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 12 –17
- Özgüner, H., & Kendle, A. D. (2007). *Attitudes of landscape professionals towards naturalistic versus formal urban landscape in the UK*. *Landscape and Urban Planning*, 81, 34-45.
- Petty, J., Peacock, J., Hine, R., Sellens, M., South, N. y Griffin, M. (2007). *Green Exercise in the UK countryside: effects on health and psychological well-being, and implications for policy and planning*. *International Journal of Environmental Health Research*, 15, 319–337
- Rapoport, A. (1974). *Aspectos de la calidad del entorno*, Colegio Oficial de Arquitectos de Catalunya y Baleares.
- Shanahan, D. F., Lin, B. B., Bush, R., Gaston, K. J., Barber, L., Dean, J., & Fuller, R. A. (2015). *Pathways to health benefits from urban nature*. *American Journal of Public Health*, 105, 470–477.
- Sukopp, H. y Werner, P. (1989). *Naturaleza en las ciudades*, MOPU.
- Ulrich, R. (1983). *Aesthetic and affective response to natural environment*, en Keller, S. R. y Wilson, E. O. *Behaviour and the natural environment*, Island Press.
- Ulrich, R. (1984). *View through a window may influence recovery from surgery*, *Science*, 224, 420-421.
- Ulrich, R. S., Simon, R., Losito, B., Fiorito, E., Miles, M., & Zelson, M. (1991). *Stress recovery during exposure to natural and urban environments*. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 201–230.
- Wells, N. (2000). *At home with nature: Effects of "Greenness" on Children's cognitive functioning*. *Environment and Behaviour*, 32, 775–795.
- Wilson, E. O. (1975). *Sociobiology: The New Synthesis*, Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*, Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (2010). *The Diversity of Life*, Harvard University Press.



*Los espacios cultivados
en las ciudades generan
refugios de biodiversidad*

CAPÍTULO 26

BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA URBANA

Beatriz Sánchez e Inés Jordana
SEO/BirdLife

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en las ciudades contribuye a mejorar la calidad de vida de sus habitantes y por tanto, deber ser un elemento importante a tener en cuenta en la gestión y planificación urbana. Aporta numerosos servicios ecosistémicos, tales como la mitigación de los efectos del cambio climático, la depuración del aire, la fijación de CO₂, la regulación de poblaciones de especies que causan molestias o daños y la dotación de espacios de ocio y recreo y puntos de encuentro que contribuyen a la cohesión social y al bienestar y la salud de la población.

Aunque el fomento de la biodiversidad no haya sido hasta ahora uno de los objetivos principales de la agricultura urbana, es evidente que los huertos urbanos contribuyen a este aspecto por diversas razones. Directamente, porque la creación de nuevas zonas verdes favorece en sí la biodiversidad, e indirectamente por-

que los huertos urbanos son una herramienta para acercar la naturaleza a los habitantes de las ciudades y también para concienciar sobre la producción sostenible de alimentos y la necesidad de re-conexión con el medio rural.

En este capítulo se revisa en qué medida la agricultura urbana puede contribuir a conservar la biodiversidad en las ciudades y se reflexiona sobre la necesidad de establecer mecanismos para medir los beneficios de esa contribución. También se explora cómo el fomento de la biodiversidad puede ser beneficiosa para la agricultura urbana.

2. LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LAS CIUDADES

A pesar de que las ciudades ocupan sólo el 3% de la superficie terrestre, la conservación de la biodiversidad en ellas es una cuestión de trascendencia a nivel global, ya que los ecosiste-

mas urbanos juegan un papel importante en la conservación de especies locales o regionales y también porque supone una oportunidad para que los habitantes de las ciudades comprendan los procesos naturales de los que depende la sostenibilidad (Hostetler M. et al, 2011).

El 20% de las especies de aves y el 5% de las plantas vasculares que existen en el mundo están presentes en las ciudades (Aronson et al, 2014). En España, los núcleos urbanos albergan el 10% de las casi 600 especies de aves que habitan en nuestro país.

La agencia europea EUROSTAT utiliza el estado de conservación de las poblaciones de aves como indicador no solamente de la calidad ambiental de nuestro continente, sino también del bienestar humano. Y ese indicador nos dice que ya no somos tan ricos como antes. Nuestro patrimonio natural común está disminuyendo a un ritmo dramático y preocupante. En un estudio publicado en 2016 sobre la avifauna de 25 países europeos, se estima que en 2009 había 420 millones de aves menos que en 1980 (Inger et al 2014), con declives muy marcados entre las aves comunes vinculadas al medio urbano o al medio agrario. Según los datos de los programas de seguimiento de SEO/BirdLife (Sacre urbano), las aves ligadas a medios urbanos han disminuido un 17% en los últimos 18 años (1998-2016) (Gráfica 1). Algunas de ellas, como

las golondrinas, los aviones, los vencejos o los gorriones son muy dependientes de la presencia humana y sus poblaciones se verían muy comprometidas si no cuidamos sus poblaciones urbanas. Estos datos ponen de manifiesto que las ciudades también pueden llegar a convertirse en espacios en los que conservar especies amenazadas.

Las ciudades son los lugares en los que se concentra más de la mitad de la población mundial y según Naciones Unidas, en 2050 el 66% de la población mundial será urbana. Por tanto, la mayoría de las personas que pueden influir en que la conservación de la naturaleza sea una prioridad de nuestros gobiernos viven en ciudades, en espacios dominados por el asfalto y el hormigón y cada vez más alejados de la naturaleza. Es necesario potenciar las oportunidades de “conocer para conservar”, incorporando, acondicionando y gestionando espacios para la biodiversidad en nuestras ciudades.

3. AGRICULTURA URBANA Y BIODIVERSIDAD

Las sociedades campesinas históricamente desarrollaron sistemas de manejo de los recursos de los que la diversidad era a la vez condición y resultado. Por una parte, debía recurrirse a la diversificación de producciones para garantizar un suministro continuo de energía y ma-



Algunas especies de aves como las golondrinas utilizan infraestructuras humanas para hacer sus nidos

Gráfica 1



teriales en un contexto en que la conservación y el transporte de los productos exigían la adecuación al ritmo del tiempo y las estaciones y en el que el autoabastecimiento tenía una importancia crucial. Por otra parte, adaptarse a las condiciones precisas de cada lugar y cada momento requería también de una diversidad de usos productivos, especies y variedades. El resultado de todo ello era la creación de agroecosistemas complejos sobre una variedad de paisajes, geo facies, usos del territorio y especies (Acosta et al, 2001). En este contexto hay que situar la biodiversidad agraria y las semillas como un factor de producción indispensable en la agricultura. En efecto, uno de los aspectos centrales de la economía del campesinado es contar con un fondo de reemplazo, una producción por encima del mínimo calórico necesario y que le permita reemplazar su equipo básico de producción y consumo (Wolf, 1982: 14).

Históricamente, la actividad agraria ha contribuido en cierta manera a aumentar y conservar la biodiversidad, modelando diferentes paisajes de alto valor ambiental y social, escenario e imagen de arraigadas y ricas culturas locales. Sin embargo, los procesos de intensificación y abandono de la actividad agraria de las últimas décadas están causando una degradación de ecosistemas y hábitats y, en consecuencia, la pérdida de biodiversidad.

El auge de la agricultura urbana en las últimas décadas responde en parte al cuestionamiento de las consecuencias sociales y ambientales del régimen económico actual. Desde la década de los 80, los huertos urbanos han adquirido nuevas características relacionadas tanto con la soberanía alimentaria como con la mejora de la calidad de vida, la educación ambiental, las relaciones sociales y la regeneración urbana (Zaar, 2011). Por ello y porque se rige generalmente por criterios de respeto al medio ambiente (bajo uso de productos químicos, compostaje, uso de variedades autóctonas, etc.), la agricultura urbana puede ser una herramienta para la conservación de la biodiversidad en las ciudades. Por una parte, los huertos urbanos



Los huertos en altura pueden ser elementos de conexión dentro de una red de infraestructura urbana

pueden actuar como espacios de recuperación de variedades locales de cultivos adaptados al clima y al medio, cultivados de forma sostenible. Por otra, los espacios cultivados generan pequeños hábitats que sirven como refugio para distintas especies de insectos, aves, etc.

Además, los huertos en altura pueden ser una herramienta para incrementar la biodiversidad urbana por ejemplo convirtiéndose en puntos calientes (hotspots) dentro de una red de infraestructura urbana. Por ejemplo, en la ciudad de Bolonia se crearon corredores verdes formados por huertos en altura para conectar tres espacios verdes (reservorios de biodiversidad), con el objetivo de crear una red que permitiera a la fauna beneficiosa para la agricultura (polinizadores, entomófagos y parásitos de plagas) superar las barreras físicas urbanas y dispersarse por la ciudad (Orsini et al, 2014).

A nivel global, la producción de alimentos en el medio urbano tiene numerosos beneficios ambientales derivados de la reducción de las distancias de transporte de alimentos, mejor aprovechamiento de agua, reducción y reciclado de residuos (Sanyé-Mengual et al. 2013).

A esto hay que añadir la función educativa y de sensibilización de los huertos urbanos. Es-

tos espacios verdes en medio del asfalto sirven para acercar la naturaleza a los urbanitas y también para hacerles conscientes de los impactos y requerimientos de los ciclos de producción de los alimentos.

4. FOMENTO Y ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LA AGRICULTURA URBANA

El valor de los espacios agrarios como hábitat para las aves y otras especies silvestres depende de que presenten unas características básicas. Entre ellas, quizás las más importantes sean: una estructura de cultivos en mosaico (diversificación); el mantenimiento de abundantes y dispersos testigos de la vegetación natural previa o creación de parches de plantas no productivas; el aprovechamiento de variedades y razas adaptadas a los recursos de la zona; y un manejo combinado de cultivos y ganado extensivo. Otros factores, como el ajuste de las fechas de los trabajos o un uso mínimo y adecuado de plaguicidas, son también fundamentales.

Aunque todas estas características no son aplicables a los ecosistemas urbanos, existe una

opinión generalizada de que la agricultura urbana es más sostenible que la agricultura en el medio rural debido fundamentalmente a su menor escala, una mayor diversificación de cultivos, tendencia al uso de variedades autóctonas, a un menor uso de productos químicos y al reciclado de residuos, así como a un menor gasto energético y contaminación ligados al transporte por el consumo de productos en circuitos cortos.

Por ejemplo, en el programa *Main Verte*, impulsado por el Ayuntamiento de París con el objetivo de promover la creación de jardines y huertos compartidos, las personas que quieren usar esos jardines deben comprometerse a 17 postulados, entre los que se encuentran, varias medidas de respeto al medio ambiente (Torres et al, 2016).

En general, las medidas que favorecen la biodiversidad en los huertos urbanos, como en la agricultura en general, aumentan la sostenibilidad de la producción. A modo de ejemplo, en la tabla 1 se enumeran algunas de ellas.

Sin embargo, más allá de estas premisas y del reconocimiento de varios autores (Morán,

Tabla 1

Medida	Beneficio para la biodiversidad	Sostenibilidad de la producción
Cultivo de variedades locales	Ayuda a la conservación de la biodiversidad genética y disminuye los insumos. Evita la invasión de especies exóticas	Las variedades locales están más adaptadas al suelo y al clima de la zona y, por tanto, tienen menores requerimientos y son más resistentes.
Plantación de plantas con flor	Proveen alimento para insectos y aves	Favorecen a los polinizadores y ayudan al control de plagas
Hoteles de insectos	Incrementan la presencia de insectos y favorecen a las especies que se alimentan de ellos (abejas, aves, anfibios, reptiles, murciélagos)	Favorecen a los polinizadores y ayudan al control de plagas
Instalación de cajas nido, comederos y bebederos	Favorecen la presencia de aves	La presencia de aves contribuye al control de plagas
Acolchados orgánicos	Favorece y activa la biodiversidad del suelo	Protegen el suelo, sirven para ahorrar agua y mantiene la actividad de los organismos del suelo
Compostaje	Permite el reciclado de residuos	El compost en un abono eficaz y gratuito



La presencia de biodiversidad en huertos urbanos puede contribuir al control de plagas

2010; Smit, 2001) de que la agricultura urbana es una herramienta efectiva para frenar la pérdida de biodiversidad, no se han encontrado en la bibliografía consultada estudios que hayan evaluado la contribución de la agricultura urbana a la conservación de la biodiversidad en las propias ciudades.

Por todo ello, es necesario establecer mecanismos para la evaluación del impacto de la agricultura urbana sobre la biodiversidad y los indicadores basados en el seguimiento de las aves urbanas pueden ser una herramienta adecuada. Como se ha comentado anteriormente, el estado de conservación de las poblaciones de aves comunes es reconocido por Eurostat como un indicador de la calidad ambiental. SEO/BirdLife cuenta con varias herramientas para la obtención de esos indicadores, como los programas SACRE (Seguimiento de aves comunes en primavera) y SACIN (Seguimiento de Aves en Invierno) en el medio urbano y la herramienta eBird (registro global de

observaciones de aves). Estas herramientas, además, están basadas en la ciencia ciudadana, por lo que también sirven para fomentar la participación y despertar el interés de los ciudadanos por las aves y la biodiversidad en general.

5. CONCLUSIONES

La agricultura urbana contribuye al aumento y conservación de la biodiversidad en las ciudades. Para fomentar este aspecto es necesario que haya una planificación y una integración adecuada dentro de las redes de infraestructura verde de las ciudades y que se implanten sistemas de seguimiento que evalúen el impacto de las diferentes iniciativas.

Mediante sencillas medidas en la actividad agraria (instalación de cajas nido, cultivo de variedades locales, etc.) se logran sistemas productivos más sostenibles y beneficiosos para la biodiversidad.



Medidas sencillas como la colocación de cajas nido contribuyen a fomentar la biodiversidad en los huertos urbanos. Fuente: Africa Studio_Shutterstock

La creación de huertos urbanos acerca la naturaleza a los habitantes de las ciudades y promueve que los ciudadanos sean más conscientes de la necesidad de conservar la biodiversidad y demanden políticas en ese sentido. Estos espacios tienen un enorme potencial para reconectar el medio urbano con el medio rural y llamar la atención sobre la necesidad de fomentar modelos de producción y consumo sostenibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R., Amaya, S. y Díaz, A. I. 2001. *Memoria de la tierra, campos de la memoria. Los agroecosistemas tradicionales de Tentudía. Centro de Desarrollo Comarcal de Tentudía. Monesterio. Volúmenes 1 y 2.*

Aronson MFJ et al. (2014). *A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. Proceedings of the Royal Society B 281: 20133330.*

EU-Environment. (2014). *Communication from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital COM/2013/0249 final. Bruxelles: European Commission.*

Hostetler, M., Allen, W. & Meurk, C. (2011) *Conserving urban biodiversity? Creating green infrastructure is only the first step. Landscape and Urban Planning. Volume 100, Issue, pp 369-371.*

- Inger, R., Gregory, R., Duffy, J. P., et al. (2014). Common European birds are declining rapidly while less abundant species' numbers are rising. *Ecology Letters*. Volume 18, Issue 1, pp 28–36.
- Morán, N. (2010). Agricultura urbana: un aporte a la rehabilitación integral. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*. N° 111 2010, pp. 99-111.
- Orsini et. al., (2014). Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna. *Food security* 6(6): 781-792.
- Preiss, P, Charão-Marques, F. & Wiskerke, J.S.C. (2017). Fostering Sustainable Urban-Rural Linkages through Local Food Supply: a Transnational Analysis of Collaborative Food Alliances. *Sustainability* 2017, 9(7), 1155.
- Sanyé-Mengual, E., Anguelovski, I., Oliver-Sola, J., Ignacio Montero, J. & Rieradevall, J. (2015). Resolving differing stakeholder perceptions of urban rooftop farming in Mediterranean cities: promoting food production as a driver for innovative forms of urban agriculture. *Agriculture and Human Values*. 9594.
- Smit, J. (2011). Agricultura Urbana y Biodiversidad. Urbanización y reducción de la Biodiversidad. *Revista de Agricultura Urbana* n° 1.
- Torres, A.C., Prévot, A.C. y Nadot Sophie (2016). Explorando la relación ser humano-naturaleza: agricultura urbana, ciencias de la conservación y ciudad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* N° 19, marzo 2016.
- Wolf, E.R. 1982. Los campesinos. Labor. Barcelona.
- Zaar, M. (2011). Agricultura urbana: algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Vol XVI, n° 944. 2011.



Edible garden at the rooftop of the Zoku hotel in Amsterdam. Photo by Diebel, 2016

CHAPTER 27

INNOVATION IN BUILDING INTEGRATED AGRICULTURE: THE MILAN WORLD EXPO

Claire Diebel, (M.A.)

Architect, green infrastructure expert, and recipient of the German Chancellor Fellowship

1. INTRODUCTION TO THE WORLD EXPO

The World Expo is an event that lasts for three to six months every five years with a focus on innovating solutions and raising awareness on global challenges. The 2015 Milan World Expo continues a 166-year-old tradition that dates to 1851. Before Milan, Shanghai hosted the 2010 World Expo with the theme, “Better City – Better Life”, Aichi in 2005 with “Nature’s Wisdom”, and Hanover in 2000 with “Man, Nature, Technology”.

Over 20 million visitors attended the 2015 Milan World Expo. Altogether, around 13 billion Euros were spent on pavilions, landscaping, infrastructure, and other services. There were 145 countries and 50 international organizations participating, with a total of 70 pavilions.

2. “FEEDING THE PLANET, ENERGY FOR LIFE”

Expo 2015’s theme was “Feeding the Planet, Energy for Life”. The Expo pavilions were

asked to demonstrate their strategy of technology, culture, tradition to secure the right to healthy, secure and sufficient food for all the world’s inhabitants. There were 7 sub-themes:

1. Science for Food Safety, Security and Quality
2. Innovation in the Agro Food Supply Chain
3. Technology for Agriculture and Biodiversity
4. Dietary Education
5. Solidarity and Cooperation on Food
6. Food for Better Lifestyles; and
7. Food in the World’s Cultures and Ethnic Groups

As the world’s population increases, more people will live in large cities. The practice of shipping food long distances, a major contributor to global carbon emissions, has become a necessary component in meeting an ever-increasing global demand for land to urbanize. Sequestering a nation’s population in a highly dense city, in opposition to the concept of suburban sprawl, concentrates the distribution area of consumers and consequently decreases emissions. Although dense cities offer em-

ployment and cultural opportunities, they are challenged by waste management, pollution, the need for mass transit, and the supply of fresh and affordable nutritious food.

3. METHODOLOGY

During a three month stay at the Milan World Expo, I conducted interviews with landscape architects, gardeners, and expo human resources personnel. These interviews provide the empirical basis for this study. I conducted “action research”, a method of simultaneously performing interviews and gathering feedback while visiting each of the selected pavilions.

The case studies included in this chapter seek to provide the reader with some insight into the future of building integrated agriculture (BIA). They explain, in detail, the specifics of three Expo pavilions, and uncover emergent patterns and commonalities between each of them. The specific challenge or theme ad-

ressed by each pavilion is first presented as context to resultant BIA. The overall goal is to review the pavilion's approach toward ensuring food security while focusing on the innovations within BIA demonstrated at the Milan World Expo.

4. PAVILIONS

The US Pavilion

Industrial agriculture dominates the American food production system. Chemical fertilizer and pesticide runoff, inefficient irrigation, large scale monocultures, food miles, soil degradation, and lost biodiversity are some of the many hazards of industrial agriculture. Corn, for example, covers more land than any other crop in the United States. It's grown in monocultures, meaning there is little to no crop rotation. In turn, this leads to soil nutrient depletion and vulnerability to pests. To successfully mass-produce corn for animal feed,



Figure 1: 42 varieties of crops for the USA Pavilion at the 2015 Milan World Expo. Photo by Diebel, 2015

biofuels, and corn syrup, over 5.6 million tons of nitrogen fertilizers are applied to corn each year (Foley, 2013). Chemical fertilizers and pesticides trickle down into lakes, rivers, and coastal regions, poisoning the water and damaging ecosystems by sparking massive algal blooms that suffocates ocean life. On top of that, cornfields consume an estimated 23 cubic kilometers of water per year. We need an agricultural revolution to replace the self-destructive status-quo.

The American pavilion, “American Food 2.0: United to Feed the Planet”, sought to showcase America’s role in the future of food. James Biber Architects, Andrea Rossi, and Dlandstudio worked together to tell a story of American innovation, entrepreneurship, and diversity. The highlight of the pavilion was undoubtedly the 860 square meter vertical farm on the east façade (see Figure 1), which the architect called a “scaffolding for ideas”.

The US Pavilion’s vertical farm concept drew upon Dickson Despommier’s book: “The Vertical Farm”. Despommier explains how a vertical approach to food production in cities not only saves space and water, but reduces the negative externalities of industrial agriculture. Visually, the “grid” layout of the vertical farm refers to President Thomas Jefferson’s 1785 Land Ordinance act. Just at Jefferson’s idol, the architect Andrea Palladio, used a grid to organize his buildings, Jefferson used a grid system to plan out the young country. The effect is a modular framework of rational elements.

The façade consisted of 83 pivoting frames, each holding 18 ZipGrow Towers, a product from Bright AgroTech, a US company specialized in vertical farming equipment. Altogether, each of the 1,494 aluminum growing towers were filled with a growing matrix, planted with a single crop, and hung on a steel frame (see Figure 2).

Standing along the vertical farm, one could watch the frames of ZipGrow Towers slowly

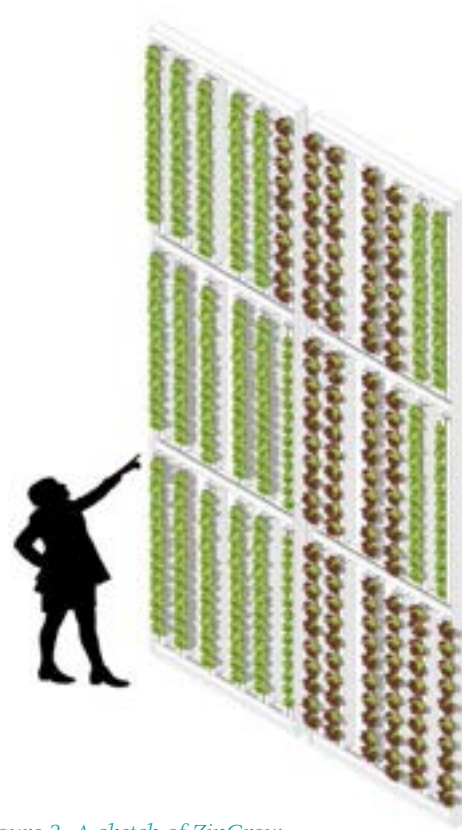


Figure 2: A sketch of ZipGrow Towers hanging vertically on steel frames, drawing @ Claire Diebel

pivot at 45-degree angle. 42 varieties of vegetables, fruits, grains, and herbs were cultivated vertically in a 50mm deep growing medium. A mix of soil held in coco fibers and a recycled plastic matrix held the plants in place (see Figure 3). Automatic drip irrigation was wired to the top of each tower, and ran on a computerized schedule based on local weather patterns. At the top and bottom of the tower, the plastic matrix allowed excess water to escape the vestibule, preventing stagnation.

Every three to six weeks, with the help of an aerial work platform, ZipGrow towers were removed based on their harvest needs and replaced with “ready-to-go towers” from Peverelli, the pavilion’s local plant nursery. These frames demonstrate the endless ways



Figure 3: A horticulturist at the Peverelli Plant Nursery assembles herbs into a ZipGrow Tower, photo @ Claire Diebel

that architectural technology might be used to work in harmony with the disposition of the sun and the desire for an ergonomic means of harvesting crops within BIA.

“American Food 2.0: United to Feed the Planet” provoked a global conversation about the challenge of feeding more than 9 billion people by 2050. The vertical farm showcased how innovative vertical farming methods can save water, space, reduce the consumption of land, eliminate extensive packaging, diminish the need for long periods of refrigeration, and dramatically shorten food transportation routes. Amidst the demonstration of the vertical farm was also a conversation about how BIA contributes in returning farmland to nature, helping to restore an ecosystem.

The Israeli Pavilion

Israel has suffered from chronic water shortages for years. A rise in domestic water usage paired with population growth exacerbated

the crisis. During the last 70 years, Israel has been able to transform much of its mostly arid land into fertile farmland through tireless research and work. Today, Israel is a pioneer in water-saving irrigation techniques.

Knafo Kilmor Architects collaborated with Green Wall Israel to create a 70-meter-wide, 12-meter-tall vertical field at the Milan World Expo in response to the concept, “Fields of Tomorrow”. The design divided the vertical farm into 4 distinct areas. Once erected, the farm came to symbolize the fight against desertification and the optimization of efficient water consumption (see Figure 4). For example, each kilogram of a traditionally farmed rice crop requires over 5 liters of water. “Vertical planting” allows the farmer to produce the same amount with a mere 1.5 liters. Rather than soaking the soil and relying on the plant to absorb what little water is not lost to evaporation, the computerized drip irrigation system, designed by the Israel-based Netafim, waters plants more directly and only



Figure 4: The Israel Pavilion's Vertical Field was built of Modular tiles set into a massive steel frame elevated above the ground, photo @ Claire Diebel

when necessary. This keeps the crops always “thirsty enough” to yield a harvest but with less water. Each crop field is irrigated separately, and inside each field, the irrigation can be controlled with precision by each row (see Figure 5).

The specific plants for the Vertical Field, rice, sorghum, chickpea, medicago, triticum, sweet pepper, sweet potatoes, acephala, vivia, beetroot, carrot, corn, tomato, potato, spelt, and clover, were chosen to avoid reliance on pesticides. During the Expo, the Vertical Fields were maintained three times a week for three to seven hours with an aerial work platform. Time spent was not only for beautifying the wall, but also for research. Since this was the first time crops like rice and wheat were grown on a building façade, the pavilion yielded valuable data, as well as food.

Water is integral to food security. Traditional agriculture requires enormous amounts

of water for crops and livestock, and in turn makes agriculture the largest user of water on the globe (FAO, 2016). Drip irrigation is a key ingredient to water-saving and efficient irrigation in challenging climates. Many of the advancements in state-of-the-art drip irrigation technology demonstrated at the Milan World can be attributed to the work of Netafim.

The Spanish Pavilion

Almería, Spain hosts the world's largest concentration of greenhouses. In 35 years, what was an inhospitable desert has been transformed to meet more than half of Europe's demand for fruit and vegetables. This development began as a small scale solution to living in the region, but has turned into a complete transformation of the local environment and economy.

The pavilion's theme, “Cultivating the Future”, sought to symbolize the two pillars of Spain's



Figure 5: The drip irrigation was designed for excess water to exit the growing media, photo @ Claire Diebel



Figure 6: A raised garden bed represents traditional Spanish gardening on the pavilion's upper level, photo @ Claire Diebel

0
Vegetable were grown at the Spanish Pavilion for the 2015 Milan World Expo. Photo by Diebel, 2017



Figure 7: The restaurant terrace is shaded by the strawberry pergola, photo @ Claire Diebel



Figure 8: Hydroponic strawberries grow above the restaurant terrace, photo @ Claire Diebel

food industry: tradition and innovation. B720 Arquitectos designed a greenhouse-like pavilion in reference to the economic and technological impact that greenhouses have had on Spain. The resultant design consists of two symmetrical gable-roof structures. Their material composition represents the dichotomy of Spain's traditional methods of farming and modern techniques.

The upper level of both structures features three vegetable and herb gardens (see Figure

6). Each garden bed accommodates depths of both 250 mm and 500 mm. The beds are built of water resistant plywood with an automatic drip irrigation system woven through the top soil. Tucked around the gardens, the upper level hosts a conference room and cooking demonstration space.

On the ground level, a 400 m² wild strawberry pergola, built of 15cm PVC pipes, shades the outdoor eating area. (see Figure 7; Figure 8, Figure 9). Inside the tubes, coco fibers

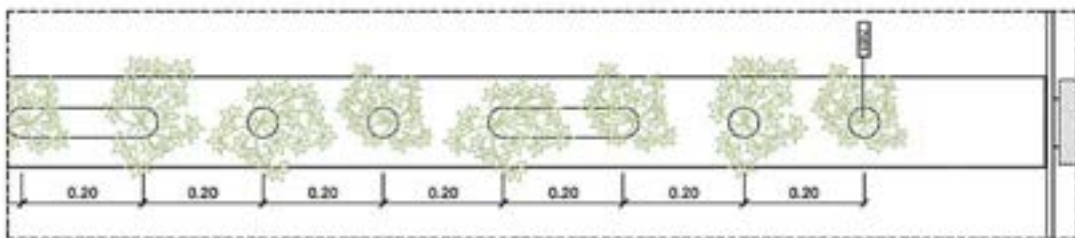


Figure 9: Design detail of the strawberry pergola, drawing from B720 Fermín Vazquez Arquitectos

and soil holds the strawberry roots in place while drip irrigation automatically distributes water. Once a month during the Expo, the strawberries were harvested. Columns connected to each horizontal pipe supported the overhead garden while concealing irrigation equipment. The garden structure functions on multiple levels; producing food, conserving water, and providing shade for the terrace below.

The contents in the Spanish Pavilion emphasized modern cuisine and a balance of innovation and tradition. The raised garden beds on the upper level celebrates traditional agriculture and the Spanish landscape, while the higher-tech strawberry canopy aspires to provoke new ways of thinking. By balancing this duality, Spain seeks a sustainable and healthy approach to meeting their nutritional needs.

5. CONCLUSIONS

The goal of a World Expo is to raise global awareness and find solutions to universal challenges. In Milan, pavilions set out to inspire a departure from ordinary food production and

trigger ideas in solving the challenge of feeding the growing global population. Challenging conventional urbanization and food miles, the BIA presented in the three case study pavilions in this chapter wove food production throughout the built environment, offering an avenue for local food production, augmented environmental services, and a greener space for the public.

6. BIBLIOGRAPHY

FAO. 2016. *AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Website accessed on [2017/07/15].*

Foley, Jonathan. "It's Time to Rethink America's Corn System." *Scientific American, Springer Nature*, 5 Mar. 2013, www.scientificamerican.com/article/time-to-rethink-corn/.

Special thanks to Andrew Wu for improving my writing and challenging my thoughts; Kari Taniguchi from the Spanish Pavilion, Guy Barnes and Amit Vered from the Israeli Pavilion, and Marco Belloni and Paolo Pessina from the US Pavilion.



Roof of the Anken Green co-working space. Shanghai. Photo by Diebel, 2015

En esta obra se ofrecen trabajos y opiniones de reconocidos expertos internacionales, basados en su experiencia profesional tanto empresarial como académica y de gestión.

El libro se estructura en tres partes: la primera, sobre el papel de las áreas verdes en las ciudades, la segunda, sobre tecnología y diseño y la tercera, sobre paisajismo y medio ambiente.

Con el objetivo común de mejorar el bienestar ciudadano, pero con enfoques diferentes, la obra de 312 páginas, ofrece 27 capítulos en los que colaboran 44 autores de 15 países de Europa, América, África y Asia, con una gran variedad de profesiones: arquitectos, ingenieros, agrónomos, botánicos, físicos, químicos, filósofos, diseñadores, economistas y sociólogos, entre otros.

La obra ejerce de crisol de ideas, donde la ciudad se ve reflejada, en su variada y compleja realidad. Entendemos por ello que el público objetivo abarca también un amplio abanico de lectores: académicos, empresarios, funcionarios, personal de ONG y aquellos interesados en mejorar nuestro entorno.

This book includes the works and opinions of recognized international experts, based on their professional experience in business and academic scenarios. It is structured in three parts: the first one shows the role of green infrastructures in cities, the second one is focused on technology and design, and the third one on landscape and environment.

With the common goal of improving the well-being of citizens, with different approaches, there are 27 chapters, with 312 pages, in which 44 authors from 15 different countries from Europe, America, Africa and Asia, collaborate. There is a wide variety of professions, such as architects, engineers, agronomists, botanists, physicists, chemists, philosophers, designers, economists and sociologists, among others.

The result is a melting pot of ideas, as is the urban society, with a varied and complex reality. Consequently, the target audience covers a wide range of readers: academics, entrepreneurs, functionaries, people working for NGO, and persons interested to improve their environment.

Entidades colaboradoras

