

“In Germany prices for a typical 10 to 100 kWp PV rooftop-system were around 14,000 €/kWp in 1990. At the end of 2015, such systems cost about 1,270 €/kWp. This is a net-price regression of about 90 % over a period of 25 years and is equivalent to an annual compound average price reduction rate of 9 %.”

Fraunhofer ISE, 2016 Photovoltaics Report, p. 9

“En Alemania los precios de una instalación PV en cubiertas estaban en torno a los 14.000 €/kWp en 1990. A finales de 2015, estos sistemas costaban en torno a 1.270 €/kWp. Esto supone una reducción del precio neto cercana al 90% en el período de 25 años, equivalente a una reducción anual de un 9% compuesto.”

**Estudio para la rehabilitación ambiental de la Universidad de Sevilla –
campus de Reina Mercedes: energía fotovoltaica | 03.2017 v.0 *beta***

Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad de Sevilla
Subdirección de Hábitat Sostenible



Estudio para la rehabilitación ambiental de la Universidad de Sevilla – campus de Reina Mercedes: energía fotovoltaica | 2017 v.0 *beta*

Índice/

0/ Resumen ejecutivo	3
1/ Contexto	6
1.1/ ¿Es posible hacerlo!	8
2/ Ideas para la rehabilitación medioambiental del campus de Reina Mercedes, Universidad de Sevilla	12
2.1/ No sólo es posible la transición energética sino que supondría un importante ahorro económico	18
2.2/ Gestión en colaboración con cooperativas ciudadanas de producción de energías renovables	22
2.3/ El caso piloto del conjunto ETS Arquitectura y ETSI Edificación	23
3/ Conclusiones	26
Referencias	28
Anexos	30



Estudio para la rehabilitación ambiental de la Universidad de Sevilla – campus de Reina Mercedes: energía fotovoltaica | 2017 v.0 *beta*

José Pérez de Lama, Álvaro Gómez Chica, Belén Rey, Rafael Herrera Limones¹; con la colaboración de María Jiménez, Irene Machuca y Benito Sánchez-Montañés

0/ Resumen ejecutivo

Cambio climático y sostenibilidad

La realidad del deterioro del planeta producido por las actividades humanas, - cambio climático, destrucción de la biodiversidad, drástica reducción de los recursos que dejaremos a futuras generaciones... - hacen que el avance hacia modelos de producción y consumo sostenibles se haya constituido en una de las principales prioridades de nuestras sociedades actuales. Consideramos, por tanto, que ésta preocupación también debería ser una prioridad destacada para las universidades públicas.

Objetivos UE 2020:

20% energías renovables y 20% mejora de la eficiencia energética

Tanto las Naciones Unidas, con sus *17 objetivos para el desarrollo sostenible*, como la Unión Europea con las *Estrategias 2020, 2030 y 2050*,² refrendan la urgencia de las acciones a tomar. En concreto, la Unión Europea, en su estrategia de clima y energía estableció el objetivo de alcanzar para el año 2020, un 20% de producción de energía a partir de fuentes renovables, así como un 20% de mejora de la eficiencia energética. Para 2030, los objetivos plantean lograr un 27% para el uso de

1 Este trabajo se inició en la asignatura *Arquitectura y Medio Ambiente* impartida en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, curso 2016-17. José Pérez de Lama y Rafael Herrera son doctores arquitectos profesores en esta Escuela. El Dr. Herrera es Subdirector de Hábitat Sostenible del centro. Álvaro Gómez Chica y Belén Rey Álvarez son estudiantes de Arquitectura. Además, han colaborado para hacer posible el presente trabajo Benito Sánchez Montañés Dr. Arquitecto y profesor de la Universidad de Sevilla; Irene Machuca arquitecta y doctoranda en la Universidad de Sevilla y María Jiménez, estudiante de Arquitectura. Ver Anexo 1 al final del presente documento con listado de todos los estudiantes participantes en el proceso de trabajo. La imagen de cabecera, *Pink and Rose*, es una estampado de William Morris, 1890; fuente: <https://www.william-morris.co.uk>

2 Véase: European Commission Climate Action: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en

energías renovables y para a mejora de la eficiencia energética. La Universidad ha hecho avances en el campo de la eficiencia energética (12.5% de mejora entre 2009 y 2014), pero casi nada en el campo de las renovables. Consideramos que la Universidad de Sevilla tiene la responsabilidad de asumir estos objetivos.

Es posible y económicamente viable: los ejemplos de Alemania o Google

Las acciones que vienen llevando a cabo tanto los países más cultos y ricos, como algunas de las principales corporaciones tecnológicas globales, demuestran que estos objetivos no sólo son deseables, sino que también son posibles de alcanzar y económicamente viables. Alemania se ha convertido en los últimos años en uno los países líderes en la creación de instalaciones de energías renovables, y 19 países de la UE 25 alcanzarán, algunos de ellos con mucha suficiencia los objetivos 2020 – España tiene previsto lograr tan solo un 15% en el ámbito de las renovables. Por otra parte, Google, posiblemente la más famosa empresa de las primeras décadas del siglo XXI, ha anunciado que en 2017 logrará usar un 100% de energías renovables en el conjunto de sus operaciones globales.

La cuestión adicional de la dependencia energética española

Para España y Andalucía, la cuestión de la transición del uso de energías fósiles a renovables es de mayor importancia económica aún, que para otros países: nuestras importaciones energéticas constituyen un factor de marcado desequilibrio en la balanza de pagos. En 2007 (máximo históricos de los precios del petróleo) supusieron en torno 55.000 millones de euros, una cantidad equivalente a los ingresos totales por turismo o al gasto nacional en sanidad. En la actualidad se sitúan en torno a los 23.000 millones para un balance comercial que se sitúa en torno a cero; lo que quiere decir que las importaciones energéticas son aproximadamente iguales al total de nuestras exportaciones.

Interés científico y económico para la Universidad de Sevilla

Además del interés ambiental, que para los autores del presente documento es el principal, las acciones que conduzcan a lograr estos objetivos consideramos que serán de gran interés científico y económico para la Universidad de Sevilla y la sociedad andaluza.

En cuanto al interés científico, el desarrollo de un proyecto de estas características permitiría tanto formar llevar a cabo estrategias colaborativas entre múltiples grupos de la Universidad, como llevar a cabo operaciones de transferencia tecnológica, al resto de las universidades andaluzas, como a la sociedad en su conjunto.

¿Ahorrar el 50% o el 100% de la factura eléctrica?

En cuanto al interés económico directo, según los datos que se presenten en este documento, la transición energética podría suponer la reducción de la factura eléctrica entre un 50 y un 30% incluyendo los costes de amortización.

El interés económico indirecto, de mayor relevancia aún a juicio de los redactores del presente documento, es el de contribuir a la transformación del modelo productivo de Andalucía, en el

sentido de una mayor sostenibilidad, soberanía energética y de la creación de empleos de mayor calidad.

En el presente trabajo se desarrollan estudios previos para el conjunto del campus de Reina Mercedes y para el conjunto Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. Para estos casos se estiman los posibles ahorros anuales de 941.000 y 188.000 euros, respectivamente. Para el conjunto Arquitectura-Edificación, se estima viable la producción del 100% del consumo eléctrico con energías renovables.

Liderazgo social de la Universidad en la transformación del modelo productivo

La conclusión del presente estudio es que la Universidad de Sevilla debe asumir una posición de responsabilidad y liderazgo social en este campo. Sería otra manera de avanzar en la incierta ruta de la excelencia, que no sólo debe pasar por los vericuetos académicos habituales, sino además por la contribución a la construcción de una sociedad mejor, en este caso, más sostenible y de mayor oportunidades económicas para todas.



1/ Contexto

Cambio climático y recursos escasos

Hoy es un lugar común plantear la necesidad de avanzar hacia la sostenibilidad en todos los campos, necesidad justificada por la amenaza del cambio climático, la desproporcionada huella ecológica (destrucción de recursos no renovables), los conflictos geoestratégicos derivados de la escasez de los recursos, y en el caso de España y Andalucía, por el impacto económico que supone la dependencia respecto de las energías fósiles.

Coste económico para España y Andalucía

En el orden de las implicaciones económicas cabe destacar, entre otras cuestiones, que el coste de las importaciones energéticas (petróleo y gas) son en la actualidad de un orden similar al total de las exportaciones españolas (Figura 1). En el año 2007, cuando se produjo un máximo en el precio del crudo, el monto de las importaciones energéticas fue equivalente al total de los ingresos por turismo, como es sabido uno de los principales sectores económicos del país.³

3 Véase: http://economia.elpais.com/economia/2015/12/21/actualidad/1450727108_901761.html

COMERCIO EXTERIOR DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

Diferencia entre exportaciones e importaciones de mercancías.
Enero - octubre, en millones de euros

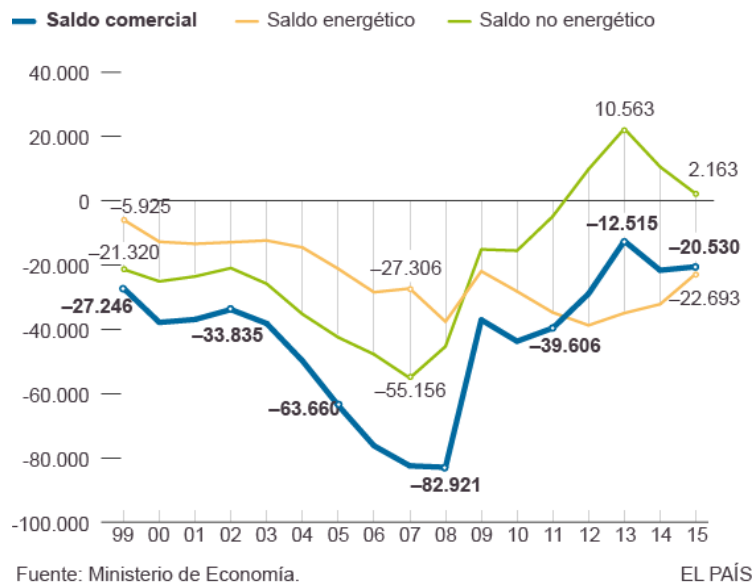


Figura 1: Saldo comercial (importaciones / exportaciones) de España, 1999-2015, en el que se aprecia la importancia de las importaciones energéticas, superiores en 2015 al total de las exportaciones. Fuente: http://economia.elpais.com/economia/2015/12/21/actualidad/1450727108_901761.html (2015).

Cambio del modelo productivo y creación de puestos de trabajo de calidad

Desde el punto de vista económico, pero desde una perspectiva positiva, la transición a una economía basada en las energías renovables supondría la dinamización de un sector económico de interés y según las diferentes estimaciones la creación neta de un importante número de puestos de trabajo de calidad (Rifkin, 2011).

Una prioridad internacional: Naciones Unidas y Unión Europea

Tanto las Naciones Unidas como la Unión Europea plantean la urgencia de abordar el cambio de nuestro mundo hacia un sistema económico sostenible.

NNUU: 17 objetivos de desarrollo sostenible

Naciones Unidas acordó en 2015 la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible que se despliega en los llamados *17 objetivos para transformar nuestro mundo* (Figura 2).⁴

4 Véase: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>



Figura 2: Los 17 objetivos de desarrollo sostenible promovidos por Naciones Unidas. Fuente: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Unión Europea: estrategias y objetivos 2020, 2030, 2050

La Unión Europea, a su vez, estableció los programas 2020, 2030 y 2050, con objetivos fijados para estas fechas centrados en la energía y la emisiones de carbono, que todos los países miembros deben asumir, y que cuentan con programas de financiación para apoyar sus desarrollos.⁵

Los objetivos 2020 plantean que para esta fecha se haya logrado:

- * una reducción del 20% en las emisiones de gases invernadero (respecto de 1990).
- * una cuota del 20% energías renovables del total de la energía producida.
- * un aumento del 20% en la eficiencia energética.

Para 2030 y 2050 los objetivos son más amplios. Para 2050 el objetivo es que los edificios hayan reducido su emisión de gases generadores de efecto invernadero en un 90%.

Independientemente de los avances a nivel nacional y autonómico, consideramos que la Universidad de Sevilla debería asumir estos objetivos como mínimo, para constituirse como una referencia de investigación y sostenibilidad para la sociedad en estos ámbitos.

1.1/ ¡Es posible hacerlo!

Según demuestran diferentes planteamientos teóricos, y sobre todo los ejemplos prácticos, reales y concretos, actualmente ya es posible conseguir los objetivos planteados tanto por NNUU como por la UE.

⁵ Véase: European Commission Climate Action, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en

Modelos teóricos como los de la *Tercera Revolución Industrial* (Rifkin, 2011, Figura 3), *Ciudades en transición* (Hopkins, 2014), *Cradle To Cradle* (McDonough & Braungart, 2002) o la *Circular Economy* (Hellen McArthur Foundation, 2013) muestran la viabilidad de la transición a un mundo sostenible, en sus múltiples aspectos.

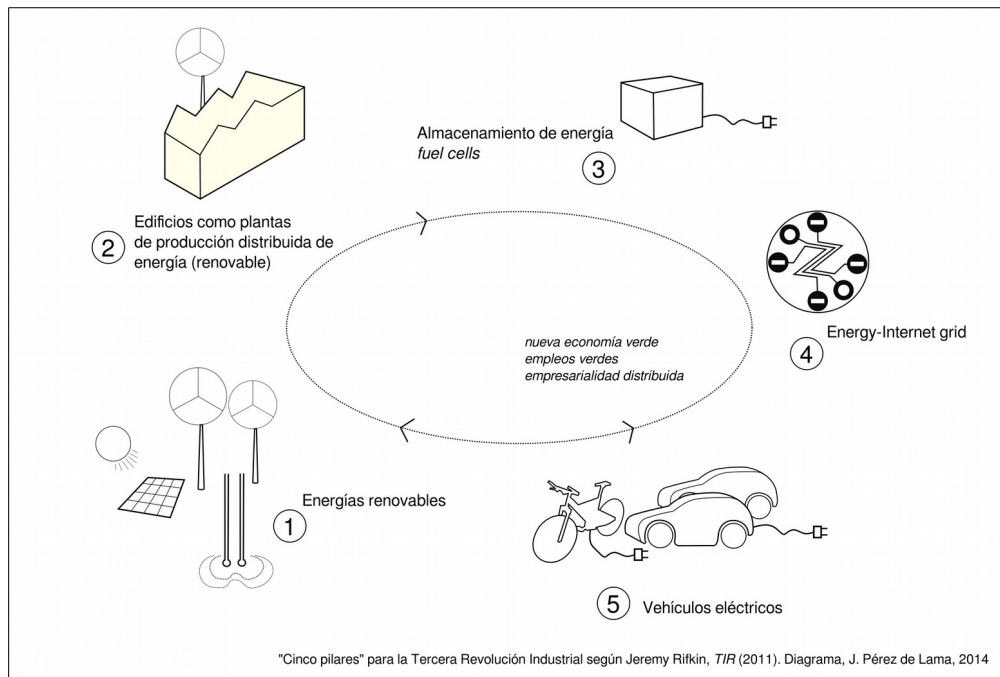


Figura 3: Diagrama de los “cinco pilares” de la *Tercera Revolución Industrial* propuestos por Jeremy Rifkin, 2011; (imagen: J. Pérez de Lama, 2014)

En cuanto a las realizaciones, podemos estudiarlas a diferentes escalas: países, grandes corporaciones, barrios y edificios.

Países: el ejemplo de la *Transición Energética en Alemania*

Entre los países, llama la atención el caso de Alemania, en el aspecto energético, que por un lado se ha transformado en uno de los países líderes en la producción de energía renovable, y por el otro, por estar llevando a cabo esta transición, al menos en parte, en un marco que denominan de la *energía ciudadana (Bürger Energie)*, en el cual, particulares, cooperativas, pequeñas empresas y ayuntamientos producen buena parte de la energía (Morris & Pehnt, 2016: 25-26). Para 2020, Alemania, - junto con otros 18 países de la UE-25, algunos con creces - lograrán que el 20% de la total energía que consumen proceda de fuentes renovables. La Comisión plantea dudas sobre las posibilidades de España de hacerlo: “algunos Estados miembros, entre ellos [...] España, tienen que determinar si sus políticas e instrumentos son suficientes y eficaces para alcanzar sus objetivos en materia de energías renovables”. (Comisión Europea, 2015: 6-7)

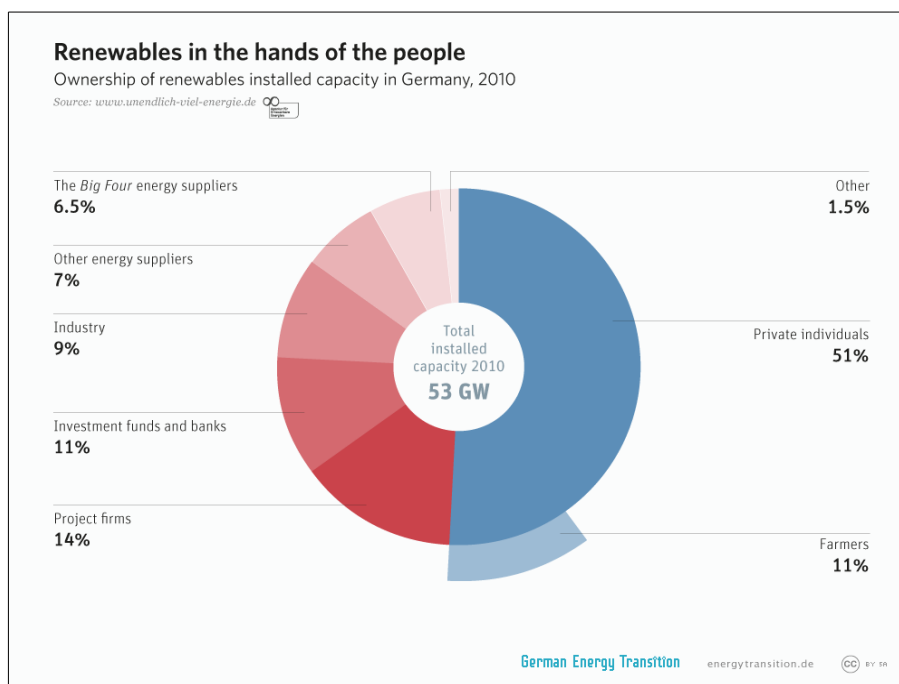


Figura 4: *Renovables en manos de la gente*, distribución entre diferentes productores de la capacidad de generación en la primera etapa de la Energie Wende alemana (2010). Fuente: https://energytransition.org/files/2012/12/GET_2A16_renewables_in_the_hands_of_the_people_2.png

Corporaciones: el ejemplo de Google

Entre las grandes corporaciones tecnológicas cabe destacar a Google y Tesla y el grupo empresarial de Elon Musk, ambos en Estados Unidos.

Google, una de las empresas más innovadoras de la última década tiene una area dedicada a la sostenibilidad de sus instalaciones y del uso de sus servicios. La ambición de su planteamiento se reconoce en uno de sus lemas: “100% de energías renvables es sólo el principio”. Y en 2017 esperan alcanzar esta cuota.⁶

Eco-barrios

En la escala de barrio existen también múltiples ejemplos, entre los más consolidados puede mencionarse Vauban en Alemania (Coates, 2013). Proyectos recientes de gran interés conceptual y formal son, entre otros muchos, Can Valldaura, Barcelona (Guallart, 2012) o Re-Gen Village en Holanda.⁷ Los eco-barrios son relevantes porque ofrecen modelos a una escala similar a la de los campus de la Universidad de Sevilla.

⁶ Véase: <https://environment.google/>. Y no es sólo Google, entre las grandes corporaciones tecnológicas, la que se ha propuesto lograr un 100% de uso de energías renovables en el conjunto de sus operaciones, sino que también lo habían hecho Apple, Facebook y Amazon, ya desde 2014. Véase: <https://www.wired.com/2014/11/amazon-vows-run-100-renewable-energy/>

⁷ Véase: <https://www.fastcoexist.com/3060167/this-new-neighborhood-will-grow-its-own-food-power-itself-and-handle-its-own-waste/1> | <http://www.regenvillages.com/>

Arquitectura, edificación

En la escala de la arquitectura es donde existe una mayor tradición en temas medioambientales y sostenibles, aunque su aplicación aún sea moderada. Líneas de trabajo como el bioclimatismo, la bioconstrucción o la permacultura ofrecen la posibilidad de construir edificios altamente respetuosos con el medio ambiente, o incluso, que contribuyan a su mejora. En este campo, cabe destacar, entre otras experiencias, las participaciones recientes de equipos de la Universidad de Sevilla en el concurso internacional internacional de vivienda sostenible Solar Decathlon, en los que han conseguido numerosos galardones.⁸ Se puede decir, por tanto, que en este campo, como en muchos otros, la Universidad de Sevilla cuenta con el *know how* más que suficiente para abordar este tipo de proyectos.

Rankings de universidades en relación con la sostenibilidad

Existe una red global de universidades que vienen incorporando estas cuestiones ambientales como un elemento de calidad. El *ranking* internacional UI Green Metrics recoge parte de estas iniciativas.⁹

En la Universidad de Sevilla existen diversos programas que avanzan en este sentido, aunque consideramos que se debería hacer un esfuerzo adicional para darles mayor amplitud y profundidad.¹⁰

8 Véase: <http://www.proyectoaura.net/>

9 Véase: <http://greenmetric.ui.ac.id/>

10 Véase: <http://sostenibilidad.us.es/>



2/ Ideas para la rehabilitación medioambiental del campus de Reina Mercedes, Universidad de Sevilla: energía fotovoltaica

Tratando de alinearnos con lo desarrollado hasta aquí, hemos hecho un estudio previo sobre la rehabilitación medioambiental del campus de Reina Mercedes de la Universidad de Sevilla. Se trataría de desarrollar un plan con horizonte 2020, 2030 y 2050, en paralelo a las estrategias y objetivos planteados por la UE.

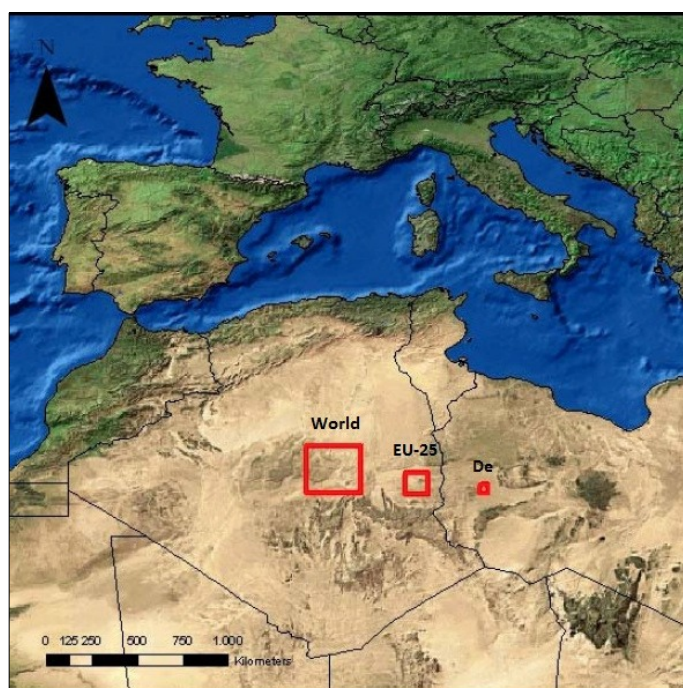


Figura 5: Superficies necesarias para captar la energía consumida en diferentes partes del planeta, usando las tecnologías disponibles en 2005 según estudio del consorcio *Desertec*; el consorcio de empresas que constituía la entidad promotora incluía a la española Abengoa. fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/Desertec>

Este estudio previo partía de la necesidad de un plan de intervención complejo, en muchas áreas, entre otras:

- * Energías renovables
- * Rehabilitación medioambiental de la edificación e instalaciones
- * Materiales; metabolismo urbano y salud
- * Ciclo del agua
- * Transporte
- * Sociabilidad y calidad de vida
- * Comunicación, medidas de promoción y transferencia a la sociedad
- * Marco legal, aspectos de gestión y financiación

Transición a energías renovables

Hasta la fecha el aspecto desarrollado en mayor profundidad ha sido el del uso de energías renovables, en concreto de energía solar fotovoltaica (PV). El estudio realizado considera los parámetros generales para posibles intervenciones.

La edificación

En primer lugar estudiamos la edificación y los espacios libres del campus, calculando los datos que se consideran relevantes en esta fase del estudio:

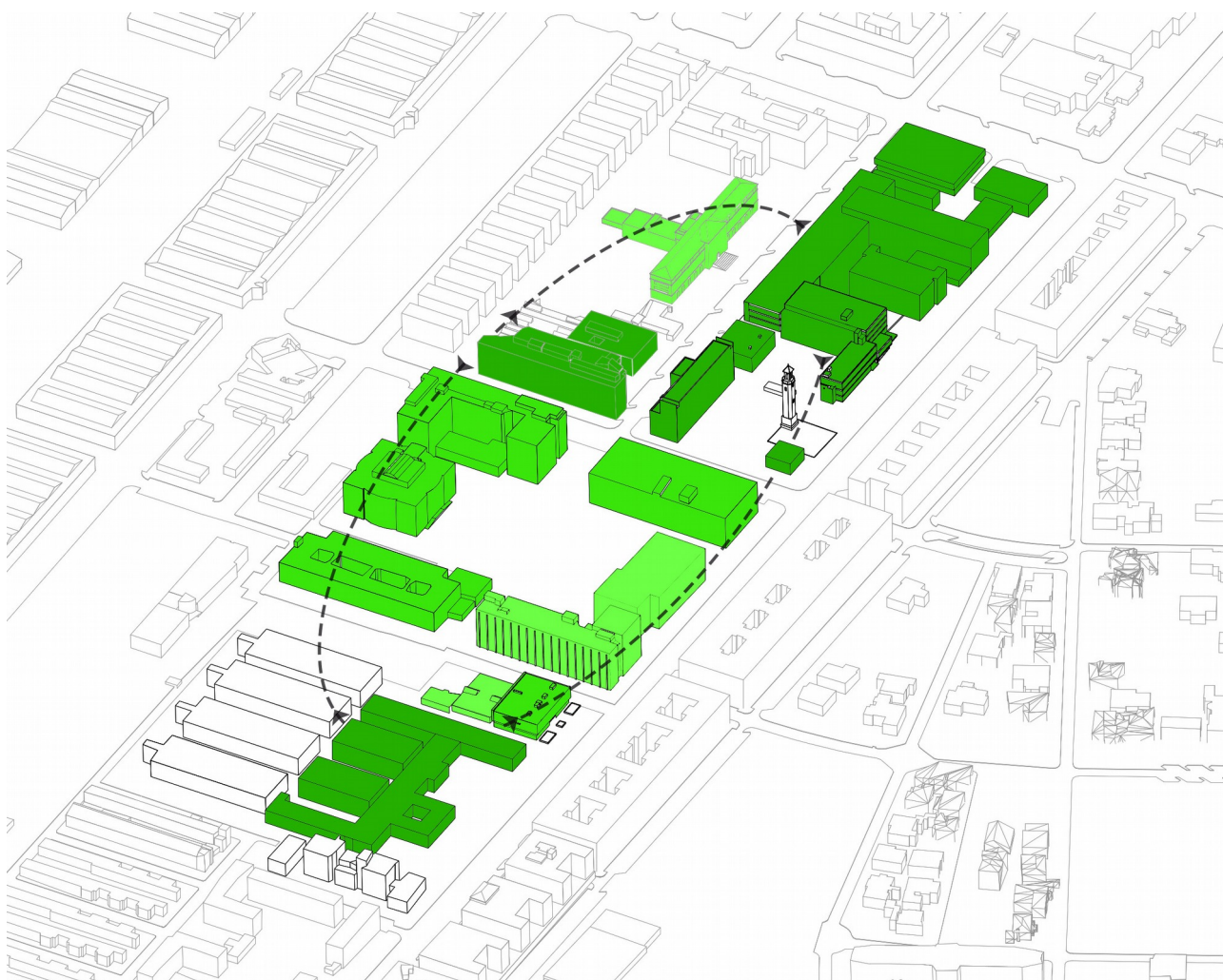


Figura 6: Volumetría de la edificación del campus de Reina Mercedes de la Universidad de Sevilla. El gradiente de verde indica la capacidad relativa de captación de energía en relación al consumo de las diferentes áreas del campus, desde el verde intenso donde existiría superávit, al verde claro deficitario. Una *energy-grid* a partir de las redes ya existentes permitiría intercambiar energía entre las diferentes áreas del campos. Dibujo base: Cynthia Urbina, AMA 2016-17.

Tabla 1: Superficies construidas, de cubiertas y para captación solar (campus Reina Mercedes)

<i>Superficies construidas (S)</i>	200.600	m2
<i>Superficies cubiertas (SCub)</i>	46.370	m2
<i>Superficies captadoras (0.80*SCub)</i>	38.000	m2
<i>Otras superficies susceptibles de uso para captación solar (espacios libres)</i>	<i>Pendientes de medición</i>	m2

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se obtienen, en grandes números, la energía solar recibida y susceptible de conversión en energía eléctrica mediante sistemas PV convencionales. Se considera un rendimiento de referencia de los paneles fotovoltaicos de un 15%, un valor que observando la acelerada evolución de estas tecnologías será probablemente superior en años próximos.¹¹

Tabla 2: Estimación de producción de energía con paneles fotovoltaicos (campus Reina Mercedes)

<i>Superficies captadoras (Scap)</i>	38.000	m2
<i>Radiación total anual en la orientación horizontal para Sevilla / m2</i>	1.900	kWh/m2
<i>Energía fotovoltaica producida (rendimiento paneles 15%)</i>	7.920.000	kWh/año

Fuentes: Para las superficies: elaboración propia; para la radiación: JRC European Commission & Agencia Andaluza de la Energía

En el Anexo 2 puede verse un análisis más detallado de superficies y balance energético de los diferentes centros del campus de Reina Mercedes.

11 Para la estimación del rendimiento de los paneles solares se toma como referencia Fraunhofer ISE, 2015 & 2016, así como consulta con proveedores locales. Para el cálculo de la radiación solar se han usado las siguientes herramientas: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>; <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>

Consumo de energía

Para determinar el consumo de energía eléctrica (y gas) se ha recurrido a información de los datos históricos de la Universidad de Sevilla, cabiendo señalar el esfuerzo de ahorro hecho por la Universidad de Sevilla durante los últimos años: entre 2009 y 2014 se produjo un ahorro del consumo eléctrico de un 12.5%. Los datos relevantes se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3: Consumo anual de electricidad en la Universidad de Sevilla (2014)

<i>Consumo anual US</i>	35.353.000	<i>kWh</i>
<i>Consumo anual US m2 edificado</i>	59,84	<i>kWh/m2/año</i>
<i>Superficie edificada US</i>	590.790	<i>m2</i>
<i>Importe factura electricidad</i>	5.47	<i>Mill. €</i>
<i>Precio energía</i>	15,48	<i>c€/kWh</i>

Fuentes: <http://comunicacion.us.es/centro-de-prensa/institucional/la-universidad-de-sevilla-consiguio-reducir-en-un-125-el-consumo>; cuentas anuales Universidad de Sevilla.

El conjunto completo de datos a los que hemos podido acceder ha sido el de 2014; según las cuentas anuales de 2015 la factura eléctrica ascendió a 5.88 millones de euros, lo que supuso un aumento del 7.5 % respecto de 2014.

A estas cantidades hay que añadir el consumo de gas natural (68.380 m3 en 2016) que se utiliza fundamentalmente para calefacción, y de gasóleo C (43.800 l en 2015), datos ambos para el campus de Reina Mercedes, facilitados por el servicio de Mantenimiento de la US. La factura total de gas para toda la Universidad de Sevilla ascendió en 2015 a 220.000 euros (Cuentas anuales de la Universidad de Sevilla 2015).

La distribución del consumo de la energía según los diferentes usos, que será de interés para el establecimiento de estrategias de acondicionamiento y producción de energía, se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 4: Consumo eléctrico en la Universidad de Sevilla según usos (2014)

<i>Climatización (sobre todo refrigeración)</i>	71%
<i>Iluminación</i>	12%
<i>Laboratorios</i>	8%
<i>Salas de máquinas</i>	5%

Administración y despachos

4%

Fuentes: <http://comunicacion.us.es/centro-de-prensa/institucional/la-universidad-de-sevilla-consiguio-reducir-en-un-125-el-consumo>; cuentas anuales Universidad de Sevilla.

La gestión energética del campus de Reina Mercedes se organiza en diferentes sectores. El consumo medio del campus es ligeramente superior al consumo medio del conjunto de instalaciones de la Universidad de Sevilla. Cabe señalar que, actualmente, este consumo es monitorizado en tiempo real por el equipo de Mantenimiento de la US.

Tabla 5: Consumo eléctrico en el campus Reina Mercedes, 2016

<i>Área / centros</i>	<i>m²</i>	<i>kWh/año</i>	<i>kWh/m²</i>
Total Campus Reina Mercedes	216.180	14.157.600	65.49
ETS Arquitectura + Edificación	37.500	1.289.012	34.37

Fuentes: Estimaciones propias a partir de información publicada en la web de la Universidad de Sevilla, entre otros:
http://smantenimiento.us.es/uma/consumo_electricidad.php (2014) y consultas con el servicio de Mantenimiento de la US (2016). Véase el Anexo 2 del presente documento para mayor detalle.

La superficie edificada del campus de Reina Mercedes supone, aproximadamente, un 36.59 % de la superficie total de la edificación de la Universidad de Sevilla; el consumo del campus asciende a un 40.41% del consumo total de la US; el consumo medio por m² es un 9% superior al de la media.¹²

Cabe señalar la gran diferencia de consumo entre diferentes instalaciones/sectores de Reina Mercedes, con conjuntos como Arquitectura y Edificación, con consumos notablemente inferiores a los de la media de la Universidad de Sevilla, y otros, como CITIUS 1 y 2, Edificio Rojo y CRAI (200 kWh/m²), con consumos que llegan a triplicar el consumo medio de la US.

Potencial del uso de energías renovables

De acuerdo con los datos que se han ido presentando hasta ahora, en el estado actual de la edificación y de las instalaciones del campus de Reina Mercedes el porcentaje de la energía que podría ser producida mediante la instalación en cubiertas de sistemas fotovoltaicos sería de un 56% del total consumido durante el ciclo anual (Tabla 6).

¹² En este apartado se están comparando datos de 2014 y 2016 por lo que los resultados deben considerarse sólo a título orientativo.

Tabla 6: Comparación consumo actual y capacidad de producción de energía con sistemas fotovoltaicos para el campus de Reina Mercedes (sólo cubiertas)

	<i>Consumo kWh/año (2016)</i>	<i>Producción fotovoltaica kWh/año</i>	<i>Proporción de energía susceptible de ser producida con renovables</i>
<i>Total campus Reina Mercedes</i>	14.157.600	7.920.000	56%

Fuentes: Elaboración propia

Es necesario, no obstante, matizar los anteriores datos y las posibles conclusiones.

La cuestión del almacenamiento de energía

Es bien conocido que uno de los asuntos que diferencia el uso de las energías renovables respecto de las convencionales es el carácter cíclico de la producción de renovables, que en nuestro caso dependerán de la radiación solar (ciclos día-noche, verano-invierno, días nublados-días soleados). Para abordar esta cuestión se vienen desarrollando tecnologías de almacenamiento energético, aunque éstas están en un estado de desarrollo anterior al de la producción mediante sistemas PV. No obstante existen numerosas experiencias y una relevante esfuerzo de investigación e innovación a nivel global en este ámbito.¹³ Para la elección de las tecnologías a emplear debe tenerse muy en cuenta su calidad medioambiental. A este respecto las tecnologías relacionadas con el hidrógeno son las que presentan un mayor interés a medio-largo plazo (Rifkin, 2011).

En todo caso, el planteamiento que aquí se propone, para una primera fase en la que se producirá sólo parte de la energía necesaria mediante renovables, no demanda necesariamente de sistemas de almacenamiento. Éste podría desarrollarse a medio plazo, en paralelo al avance de las tecnologías, para un escenario de autosuficiencia del 90 o 95%, que podría plantearse para el horizonte 2030.

Una alternativa complementaria sería la de usar centrales deslocalizadas, reproduciendo la actual estrategia de Google, por ejemplo, en las que se produjese la energía que no fuera posible generar in situ en las propias instalaciones de la Universidad. Un posible localización para ubicar estas centrales serían en los terrenos actualmente no utilizados del Puerto de Sevilla.

Producción de renovables combinado con mejora de la eficiencia energética de la edificación

b) Una de las principales conclusiones alcanzadas en el desarrollo del presente trabajo es que la transición al uso de energías renovables debe ser acompañada por un programa de mejora de la eficiencia energética de las edificaciones y las instalaciones de la Universidad de Sevilla. Se trataría, en primer lugar de reducir la demanda energética, y en segundo lugar, de satisfacerla con energías renovables en lugar de convencionales.

¹³ Véase por ejemplo la central de almacenamiento recientemente inaugurada por la empresa Tesla en California, Estados Unidos: <http://www.hybridcars.com/tesla-opens-worlds-largest-battery-storage-facility-with-utility-company/>. Podría ser de gran interés el establecimiento de convenios con empresas líderes en el sector, como podría ser el caso de la propia Tesla.

La Universidad de Sevilla viene desarrollando políticas en este línea, y ya en 2014, según se ha indicado, se informó de un ahorro de un 12.5 % en el consumo de energía (respecto de 2009). Consideramos necesario, sin embargo, seguir avanzando en esta línea, tal como se indica por ejemplo en los objetivos de 2020 de la UE. En la tabla siguiente se presentan una serie de medidas adicionales en este sentido, con estimaciones de las mejoras de eficiencia y costes. A continuación (Tabla 7) planteamos un posible programa de aplicación de éstas medidas. La tabla considera tanto los objetivos 2020 y 2030 como diversas recomendaciones e indicadores planteados por agencias y grupos implicados en este tipo de trabajos (WWF, 2008; Cuchí & Sweatman, 2011). Las áreas principales áreas de intervención estarán relacionadas con intervenciones en la edificación (aislamiento, carpinterías, protección solar, ventilación...) y mejora de la eficiencia de las instalaciones y equipos.

Suponiendo que se aplicase este programa, el escenario de necesidades energéticas, de amortización y ahorro sería más beneficioso para la Universidad de Sevilla que en la hipótesis previamente considerada. Debe tenerse en cuenta, además, que existen numerosas políticas y líneas de financiación para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Tabla 7: Comparación consumos y potencial de la producción fotovoltaica en la actualidad y con mejoras de la eficiencia energética tomando como referencia los objetivos 2020 y 2030 acordados por la Comisión Europea (sólo instalaciones en cubiertas)

	<i>Consumo kWh/año (2016)</i>	<i>Producción fotovoltaica kWh/año</i>	<i>Proporción de energía susceptible de ser producida con renovables</i>
<i>Total campus Reina Mercedes 2017</i>	14.157.600	7.920.000	56%
<i>Consumo total campus RM horizonte 2020 (7.5% mejora eficiencia energética)</i>	13.095.780	7.920.000	60%
<i>Consumo total campus RM horizonte 2030 (20% adicional de mejora de la eficiencia energética)</i>	10.476.624	7.920.000	76%

Fuentes: Elaboración propia

2.1/ No sólo es posible la transición energética sino que supondría un importante ahorro económico

Estimación del coste de las instalaciones solares fotovoltaicas

Para la estimación económica tomamos datos de los informes más recientes de centros de

investigación en Alemania vinculados al proyecto nacional de transición energética. Los precios se estudian incluyendo la instalación completa, lo que se describe habitualmente como parte módulos (paneles fotovoltaicos e inversores) y BOS (*Balance Of Systems*, que incluye instalación, estructuras de montaje, cableado DC, partes proporcionales de conexión a la red e infraestructuras, proyecto y documentación y transformador). Cabe señalar que, como se recoge en la portada del presente documento, el precio de este tipo de instalaciones se redujo en un 90% entre 1990 y 2016, y que las previsiones informadas estiman que se seguirá reduciendo a un ritmo alto.¹⁴ En la tabla siguiente se resumen los precios actuales y el precio que se estima en función de estos datos para la instalación en la Universidad de Sevilla.

Tabla 8: Estimación costes instalaciones fotovoltaicas (Alemania, 2015)

<i>Tipo de instalación</i>	<i>€/kWp (PV+BOS)</i>
Pequeñas instalaciones en cubiertas	1.270
Instalaciones exentas 1MW-100MW	935-1.055
Estimación Universidad Sevilla (2018)	1.250

Fuente: Fraunhofer ISE, 2016, p. 40; Fraunhofer ISE, 2015, pp. 39-40.

Es pertinente señalar que desde el punto de vista del balance energético de los módulos solares (silicio multicristalino), actualmente se estima que la energía consumida en su fabricación es recuperada en un período inferior a 1.5 años (para la latitud de Andalucía), - el denominado *Energy Payback Time* -, con lo que a partir de esta fecha, y durante el resto de vida útil, considerada habitualmente de 25 años, toda la energía producida supondrá balance positivo (Fraunhofer, 2016, p. 34).

Según lo cuantificado previamente se tratará de instalar paneles en un 80% de las superficies de cubierta de los edificios de Reina Mercedes (38.000 m²). No se incluye en el presente estudio la posible instalación de pérgolas con superficies de captación fotovoltaica en parte de los espacios abiertos en los que también podrían colocarse. La estimaciones resultantes se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9: Coste de la instalación en cubiertas para el abastecimiento del 56% de la energía eléctrica necesaria en el campus de Reina Mercedes

<i>Superficie total paneles fotovoltaicos</i>	38.000 m ²
---	-----------------------

¹⁴Fraunhofer, 2015, p. 1: “Solar power will soon be the cheapest form of electricity in many regions of the world. Even in conservative scenarios and assuming no major technological breakthroughs, an end to cost reduction is not in sight.” (La energía solar será pronto la forma más barata de electricidad en muchas regiones del mundo. Incluso en escenarios conservadores y asumiendo que no se produzcan grandes avances tecnológicos, no se prevé que el proceso de reducción de precios vaya a detenerse próximamente.)

<i>Potencia pico de la instalación</i>	5.7 MWp
<i>Coste total estimado (Módulos+BOS)</i>	7.125. Mill. €

Fuentes: Elaboración propia a partir de Fraunhofer, 2015 & 2016.

Parte de las cubiertas en que se coloquen las instalaciones fotovoltaicas podrían incorporar, simultáneamente y por debajo de aquellas ,cubiertas verdes, como uno de las acciones para la reducción de la demanda.¹⁵



Figura 7: Pérgola solar fotovoltaica en el Forum 2004 (Barcelona); arquitectos: Torres y Martínez Lapeña. Fuente: flickr.com.

Estimación del ahorro económico

Para calcular el ahorro generado por el uso de las instalaciones fotovoltaicas se estima un plazo de vida útil, habitual para este tipo de estimación, de 25 años para el que se considera su amortización. Dividendo entre 25 años el coste de la instalación se obtiene el coste anual de la energía, que comparado con el importe actual de la factura nos da una primera idea aproximada del ahorro, anual y total (Tabla 10). El precio de la electricidad solar obtenido para esa primera hipótesis es el resultante de dividir el precio estimado de las instalaciones según Fraunhofer ISE por la energía producida por el sistema. Es un precio más bajo que los habitualmente propuestos por los especialistas, pero nos servirá como primera estimación.

15 El precio de la cubierta verde se puede estimar orientativamente entre los 85 €/m² para las soluciones no transitables y los 140 €/m² para las transitables (fuente: <http://www.generadordeprecios.info/>).

Tabla 10: Estimación del ahorro económico hipótesis 1

	<i>Energía convencional (2014)</i>	<i>Energía renovable con PV</i>
<i>Coste estimado de la instalación PV</i>		7.125.000 €
<i>Energía anual producida (kWh)</i>	7.920.000	7.920.000
<i>Precio kWh no renovable (precio pagado por la US en 2014)</i>	15.48 ct€/kWh	3.61 ct€/kWh
<i>Coste energía anual / coste amortización 25 años inst. PV</i>	1.226.016 €	285.000 €
<i>Ahorro anual estimado</i>		941.416 €

Fuentes: Elaboración propia según cálculos presentados en el presente informe y <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/Pvcalc.php>.

Según este cálculo preliminar el ahorro económico potencial en el plazo de 25 años podría ascender a 23.52 millones de euros.

Otra forma de computar el ahorro sería dividir el coste total de la instalación entre el ahorro anual, lo que indicaría que la inversión realizada se recuperaría en el plazo de 7.5 años, y que a partir de esta fecha y hasta los 25 años de vida útil de la instalación, es decir durante 17.5 años, esta parte de la electricidad sería gratuita para la Universidad.

Conviene, no obstante, revisar esta primera estimación para incluir otros posibles gastos derivados de la instalación como sería el coste de financiación y el coste adicional de mantenimiento respecto de las actuales instalaciones. Con esta revisión podemos estimar el precio de la electricidad generada mediante sistemas PV entre 6 y 8 c€/kWh, un precio para el que existe un cierto consenso entre los analistas en la actualidad para nuestra región (Frauenhofer, p. 63). Con este precio revisado obtendríamos los siguientes resultados.

Tabla 11: Estimación del ahorro económico; hipótesis 2 y 3, considerando costes de financiación (WACC) y otros gastos

	<i>Energía convencional (precios US 2014)</i>	<i>Energía renovable con PV hipótesis 2</i>	<i>Energía renovable con PV hipótesis 3</i>
<i>Energía anual producida (kWh)</i>	7.920.000	7.920.000	7.920.000

<i>Precio kWh</i>	15.48 ct€/kWh	6.00 ct€/kWh	8.00 ct€/kWh
<i>Coste energía anual</i>	1.226.016 €	475.200 €	633.600 €
<i>Ahorro anual estimado</i>		750.816 €	592.416 €
<i>Ahorro total 25 años</i>		18.770.400 €	14.810.400 €

Fuentes: Elaboración propia según cálculos presentados en el presente informe.

Otros parámetros a considerar

Un extremo que no se ha llegado a estudiar es el del detalle de la factura eléctrica que la producción solar debería reducir, y que como es conocido tiene una parte importante fija relacionada con la potencia contratada. Dado que la configuración que se propone, al menos en una primera fase compatibilizará el uso de energía procedente de la red eléctrica con la producida en las instalaciones de la Universidad, el ahorro será necesariamente menor, al menos mientras se mantenga el actual marco normativo¹⁶, que por otra parte está siendo objeto de cuestionamiento desde instancias como la Unión Europea. La participación en cooperativas ciudadanas constituidas como empresas eléctricas se plantea como una vía a estudiar a este respecto.

2.2/ Gestión en colaboración con cooperativas ciudadanas de producción de energías renovables

Para abordar posibles alternativas que palien el coste de las tarifas de potencia y peajes de vertido de energía a la red y de posibles dificultades administrativas que no conocemos con precisión, se ha estudiado y se han mantenido conversaciones con el proveedor de energía verde Som Energía, una cooperativa ciudadana de ámbito nacional (<https://www.somenergia.coop/es/>). Una posible alternativa, que se considera de gran interés, sería el establecimiento de un convenio de colaboración entre la Universidad de Sevilla y Som Energía, o entidad similar, de manera que las instalaciones fotovoltaicas de la Universidad se incorporaran, en este caso, a la red de Som Energía, contribuyendo así la resolución de aspectos administrativos, económicos, e incluso financieros.

Contratado con entidades como Som Energía, se podrá hacer también que toda la energía consumida en la Universidad de Sevilla sea de generación verde, aunque no sea producida en las propias instalaciones de la Universidad, tal como ha hecho recientemente, entre otros, el Ayuntamiento de Cádiz.¹⁷

¹⁶ <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-5-regulacion-espanola-de-las-energias-renovables/>

¹⁷ Véase: <http://www.energias-renovables.com/ahorro/el-ayuntamiento-gaditano-logra-que-electrica-de-20170111>

2.3/ El caso piloto del conjunto ETS Arquitectura y ETSI Edificación

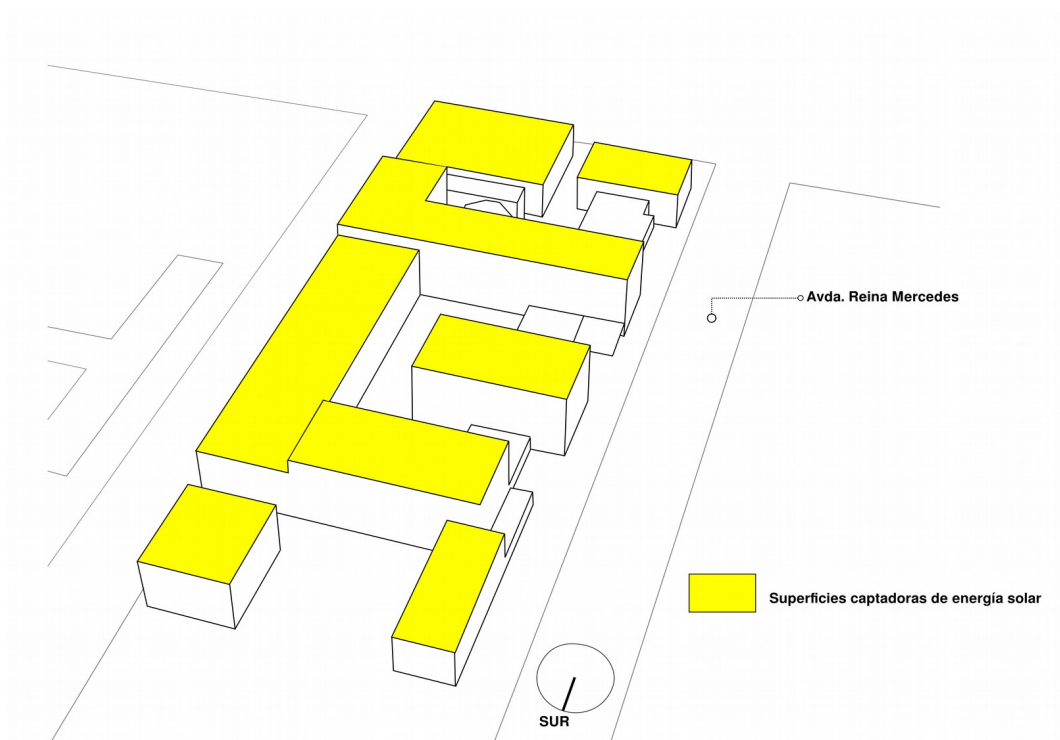


Figura 8: Volumetría de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación con datos generales del conjunto (AMA 2016-17).

Tabla 2.1: Superficies construidas, de cubiertas y para captación solar ETS Arquitectura y ETSI Edificación

<i>Superficies construidas (S)</i>	37.500 m ²
<i>Superficies cubiertas</i>	8.500 m ²
<i>Superficies captadoras</i>	6.288 m ²

Fuentes: Superficies, elaboración propia.

Con estos datos se obtienen, de nuevo en grandes números, la energía solar recibida y susceptible de conversión en energía eléctrica mediante sistemas PV tipo medio, tal como se hizo previamente para el conjunto del campus de Reina Mercedes.

Tabla 2.2: Estimación de producción de energía con paneles fotovoltaicos ETS Arquitectura y ETSI Edificación

<i>Superficies captadoras (SCap)</i>	6.288 m ²
<i>Radiación total anual en la orientación horizontal para Sevilla / m²</i>	1.900 kWh/m ²
<i>Potencia pico a instalar</i>	943 kWp
<i>Energía fotovoltaica producida (rendimiento paneles 15% - inclinación 33° optimizado)</i>	1.518.310 kWh/año

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3: Comparación consumo actual y capacidad de producción de energía con sistemas fotovoltaicos para bloque ETS Arquitectura y ETSI Edificación con mejoras de la eficiencia energética horizontes 2020 y 2030 propuestos por la UE.

	<i>Consumo kWh/año (2016)</i>	<i>Producción estimada fotovoltaica kWh/año</i>	<i>Proporción de energía susceptible de ser producida con renovables</i>
<i>Total ETS Arquitectura + ETSI Edificación (2017)</i>	1.289.012	1.518.310	117 %
<i>Consumo total campus RM horizonte 2020 (7.5% mejora eficiencia energética)</i>	1.192.336	1.518.310	127 %
<i>Consumo total campus RM horizonte 2030 (20% mejora eficiencia energética)</i>	953.868	1.518.310	160 %

Fuentes: Elaboración propia

Tabla 2.4: Estimación del ahorro económico potencial con los precios estimados en Alemania (2015), según Fraunhofer, 2016; hipótesis 1

	<i>Energía convencional (2014)</i>	<i>Energía renovable con PV</i>
<i>Coste estimado de la instalación PV</i>		1.179.000 €

<i>Energía anual consumida (kWh)</i>	1.289.012	1.289.012
<i>Precio kWh no renovable (precio pagado por la US en 2014)</i>	15.48 ct€/kWh	3.61 ct€/kWh
<i>Coste energía anual / coste amortización 25 años inst. PV</i>	199.539 €	46.533 €
<i>Ahorro anual estimado</i>		153.006 €
<i>Ahorro total a 25 años (período de amortización)</i>		3.825.150 €
<i>Energía adicional que puede usarse en otras instalaciones de la US (kWh)</i>		229.298

Fuentes: Elaboración propia según cálculos presentados en el presente informe y <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/Pvcalc.php>.

Con las hipótesis 2 y 3 más conservadoras, que estimaban el precio del kWh a 6 y 8 ct incluyendo gastos de financiación y operación, los resultados, más realistas para 2018-20, serían los siguientes:

Tabla 2.5: Estimación del ahorro económico; hipótesis 2 y 3, considerando costes de financiación (LCOE, WACC) y otros gastos

	<i>Energía convencional (precios US 2014)</i>	<i>Energía renovable con PV hipótesis 2</i>	<i>Energía renovable con PV hipótesis 3</i>
<i>Energía anual consumidad (kWh)</i>	1.289.012	1.289.012	1.289.012
<i>Precio kWh</i>	15.48 ct€/kWh	6.00 ct€/kWh	8.00 ct€/kWh
<i>Coste energía anual</i>	199.539 €	77.341 €	103.121 €
<i>Ahorro anual estimado</i>		122.198 €	96.418 €
<i>Ahorro total 25 años</i>		3.054.950 €	2.410.450 €
<i>Energía adicional que puede usarse en otras instalaciones de la US (kWh)</i>		229.298	229.298

Fuentes: Elaboración propia según cálculos presentados en el presente informe.

No hemos considerado aquí las necesarias acciones de reducción de la demanda energética que supondrían una eficiencia económica mayor (Tabla 2.3), que daría lugar a mayores eficiencias.

Para el caso del conjunto ETS Arquitectura y ETSI Edificación el estudio la incorporación de sistemas fotovoltaicos en cubiertas resultaría especialmente rentable, debido a la mayor proporción superficie de cubiertas / superficies construida que presenta comparada con otros centros de la Universidad de Sevilla, una circunstancia que convendría considerar en futuros proyectos. El bajo consumo relativo de estos centros permite que la producción de energía sea más que suficiente para abastecer sus actuales necesidades.

Como referencia, los ahorros anuales estimados (entre 122.000 y 98.000 para las hipótesis 2 y 3) son del mismo orden del presupuesto anual que la Escuela Técnica Superior de Arquitectura recibe para mantenimiento y obras.



3/ Conclusiones provisionales

Un escenario para la cooperación y la transferencia

Los escenarios propuestos podrían ser llevados a cabo mediante la cooperación de investigadores y equipos humanos de la propia universidad, vinculados a las múltiples áreas de conocimiento que estarían implicados en un proyecto de estas características, de la Arquitectura a diversas ramas de las ingenierías, y del Derecho a la Economía, pasando por la Comunicación. Una posibilidad que consideramos de interés sería la del establecimiento de un ente de carácter multidisciplinar dentro de la Universidad responsable del desarrollo del proyecto y otros relacionados que pudieran derivarse.



Figura 9: *Situation Room*, 2008, por hackitectura.net. Imaginamos que la Universidad de Sevilla podría disponer una sala de control, que funcione a la vez como espacio de visualización del desarrollo y del funcionamiento de los sistemas ambientales, para fines de experimentación, educativos y de transferencia. Imagen: Marcos Morilla / hackitectura.net / LABoral Centro de Arte y Creación Industrial, Gijón.

El desarrollo de un proyecto de este tipo contribuiría al cumplimiento de muchas de las misiones de

la Universidad, entre otras la transferencia de conocimiento o el apoyo al cambio del modelo productivo que proponen de forma unánime todos los principales partidos políticos.

En el ámbito de la transferencia, los conocimientos y experiencias adquiridos en el desarrollo de un proyecto de las características aquí descritas permitirían la transferencia a múltiples ámbitos, empezando por el conjunto de las 10 universidades del sistema universitario andaluz.

Avance hacia la sostenibilidad con beneficios económicos

El interés de la transición energética a renovables, para las autoras y autores del presente documento, justifica en sí mismo lo aquí planteado, por razones de sostenibilidad y cuidado de nuestros entornos y del planeta. Este interés es corroborado por las declaraciones y políticas propuestas por Naciones Unidas (17 objetivos para el desarrollo sostenible) y la Unión Europea (estrategias 2020, 2030 y 2050), así como por las políticas de algunos de los países y corporaciones más avanzados cultural y económicamente, como pueden ser Alemania, Google, Apple o Tesla.

Por otro lado, el interés económico inmediato para la Universidad de Sevilla, según se ha demostrado en estas páginas sería evidente, con el potencial de reducir la factura eléctrica en el medio plazo (5.8 millones de euros en 2016), dependiendo de las inversiones que pudieran ser acometidas, entre un 30 y un 70% anual.

Además, y dentro de las funciones de la universidades públicas, la experiencia adquirida y el ejemplo de la Universidad como modelo para la sociedad, repercutirá en la extensión de este tipo de iniciativas en ámbitos más amplios, suponiendo una significativa contribución a la economía andaluza y a la transición a otro modelo productivo que aporte mayor riqueza y valor a nuestras sociedades.

Referencias ///

Libros

Silvia Federici, 2014, *Revolución punto cero. Trabajo doméstico, reproducción y luchas feministas*, Traficantes de Sueños, Madrid

Vicente Guallart, 2012, *La ciudad autosuficiente: Habitar en la sociedad de la información*, RBA, Barcelona

Rob Hopkins, 2008, *The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience*, Green Books, Dartington

Serge Latouche, *Pequeño tratado del decrecimiento sereno*, 2009, Icaria, Barcelona

William McDonough & Michael Braungart, 2013, *Upcycle. Beyond Sustainability – Designing for Abundance*, North Point Press, Nueva York

_____, 2002, *Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, Nueva York

Jeremy Rifkin; 2014, *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, Palgrave MacMillan, New York

_____, 2011, *The Third Industrial Revolution. How Lateral Power is Transforming Energy, The Economy, and The World*, Palgrave MacMillan, New York

Recursos web y otras referencias principales

Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía, sf, *Radiación solar*. Disponible en:

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>

[Accedido 13/03/2017]

G. J. Coates, 2013, *The Sustainable Urban Distric of Vauban in Freiburg, Germany*, Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics. Vol. 8, No. 4 (2013) 1–22. Disponible en:

http://www.academia.edu/7662360/THE_SUSTAINABLE_URBAN_DISTRICT_OF_VAUBAN_IN_FREIBURG_GERMANY [Accedido 12/03/2017]

Comisión Europea, 2015, Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Informe de situación en materia de energías renovables. Disponible en: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/ES/1-2015-293-ES-F1-1.PDF> [Accedido 12/03/2017].

Albert Cuchí & Peter Sweatman (editores), 2011, *Una visión país para el sector de la edificación en España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda*, GBC España & Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (GTR), Barcelona

European Commission Climate Action, 2017, European Comission Climate Action. Disponible en:

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en [Accedido 10/03/2017].

European Commission, sf, *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - Interactive Maps*. Disponible en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> [Accedido 13/03/2017]

Fraunhofer ISE, 2016, *Photovoltaics report*. Disponible en: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> . [Accedido 10/03/2017].

Fraunhofer ISE, 2015, *Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende*. Disponible en: [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Kosten-Photovoltaik-2050/AgoraEnergiewende Current and Future Cost of PV Feb2015 web.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Kosten-Photovoltaik-2050/AgoraEnergiewende%20Current%20and%20Future%20Cost%20of%20PV%20Feb2015%20web.pdf) [Accedido 10/03/2017].

Google Environment, <https://environment.google/> [Accedido 12/03/2017].

Ellen MacArthur Foundation [Circular Economy], 2017. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> [accedido 03/03/2017].

Craig Morris & Martin Peht, 2016, *The German Energywende Book*, Heinrich Boll Stiftung, Berlin. Disponible en: https://book.energytransition.org/sites/default/files/etbook/en/German-Energy-Transition_en.pdf [Accedido 12/03/2017]

United Nations, 2017, *Sustainable Development Goals*. Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> [Accedido 10/03/2017].

Gerencia de la Universidad de Sevilla, 2016, *Cuentas anuales 2015. Estado de liquidación del Presupuesto*. Disponible en: http://servicio.us.es/gesteco/presupuesto-cuenta/cuentaliqu-2015/2_estadoliq.pdf [Accedido 13/03/2017]

WWF España (Evangalina Nucete, coordinadora), 2008, *Guía de ahorro y eficiencia energética para oficinas*, WWF España, Madrid. Disponible en: http://www.officinaseficientes.es/docs/guia_OFF.pdf [Accedido 13/03/2017]

Anexo 1: Listado completo de estudiantes participantes en el trabajo del curso de Arquitectura y Medio Ambiente

Asignatura: Arquitectura y Medio Ambiente, Grado en Fundamentos de Arquitectura, curso 2016/17; grupo 2; profesores: José Pérez de Lama Halcón & Benito Sánchez-Montañés Macías.



Antonine Achache, Wardani Al Banyahyati, Daniel Álvarez Alcívar, María José Barrera Pavón, David Blasco Luque, Emilio Lael Castillo López, Alexia S. Cruz González, Rocío Fraile García, Daniela C. García Rojas, Jorge Garrido Hedrera, Bella Giles Cortés, Álvaro Gómez Chica, Alejandro Gómez Ramírez, Rafael Heredia Areizaga, José Antonio Jiménez Cereceto, Crishna María León Rodríguez, Mitsúo Manaka Castillo, Marta Moreno Malpartida, Antonio Nieto Fajardo, Sharon Pulvino, Belén Rey Álvarez, Sergio Ruz Sánchez, Ma. Emiliana Sánchez Lianko, Ma. Auxiliadora Sánchez Vela, Cynthia Urbina Rosales, María del Carmen Valle Rodríguez.

El grupo tuvo un carácter internacional con estudiantes de España, México, Italia, Francia, Colombia y Chile.

Anexo 2: Balance energético por centros

Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Superficie captadora: 4162 m²

	Consumo kWh/año (2016)	Radiación media (kWh/m ²)	Energía producida (kWh)	Porcentaje de energía susceptible de ser
<i>Enero</i>	82432	79.8	64149	78%
<i>Febrero</i>	85850	99.9	69888	81%
<i>Marzo</i>	85402	156	89280	105%
<i>Abril</i>	70426	179	87680	124%
<i>Mayo</i>	84470	220	95232	113%
<i>Junio</i>	110210	240	96000	87%
<i>Julio</i>	84551	253	103168	122%
<i>Agosto</i>	58765	225	101184	172%
<i>Septiembre</i>	98208	166	87680	89%
<i>Octubre</i>	83346	129	82005	98%
<i>Noviembre</i>	83111	87.1	66560	80%
<i>Diciembre</i>	75574	71.6	60181	80%
Total	1002345	159	1004480	100 %

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación
Superficie captadora: 2128 m²

	<i>Consumo kWh/año (2016)</i>	<i>Radiación media (kWh/m²)</i>	<i>Energía producida (kWh)</i>	<i>Porcentaje de energía susceptible de ser generada</i>
<i>Enero</i>	24265	79.8	32815	135%
<i>Febrero</i>	25184	99.9	29639	118%
<i>Marzo</i>	24937	156	45670	183%
<i>Abril</i>	20684	179	44852	217%
<i>Mayo</i>	23022	220	48715	212%
<i>Junio</i>	29099	240	49108	169%
<i>Julio</i>	21341	253	52774	247%
<i>Agosto</i>	17346	225	51760	298%
<i>Septiembre</i>	17793	166	44852	252%
<i>Octubre</i>	38165	129	41949	110%
<i>Noviembre</i>	24287	87.1	34048	140%
<i>Diciembre</i>	20544	71.6	30785	150%
Total	286667	159	513830	179 %

Campus Reina Mercedes
Superficie captadora: 38000 m2

	<i>Consumo kWh/año (2016)</i>	<i>Radiación media (kWh/m2)</i>	<i>Energía producida (kWh)</i>	<i>Porcentaje de energía susceptible de ser generada</i>
<i>Enero</i>	1202789	79.8	572039	48%
<i>Febrero</i>	1323000	99.9	516680	39%
<i>Marzo</i>	1074185	156	796137	74%
<i>Abril</i>	997070	179	781870	78%
<i>Mayo</i>	1206376	220	849213	70%
<i>Junio</i>	1393447	240	856062	61%
<i>Julio</i>	1383060	253	919981	67%
<i>Agosto</i>	1080955	225	902289	83%
<i>Septiembre</i>	1310045	166	781870	60%
<i>Octubre</i>	1212401	129	731267	60%
<i>Noviembre</i>	1112700	87.1	593536	53%
<i>Diciembre</i>	1078584	71.6	536655	50%
Total	14157638	159	7.920.000	56%