

PERSPECTIVAS DE CUBIERTAS FOTOVOLTAICAS Y ARQUITECTURA EN CONTEXTOS URBANOS PATRIMONIALES

Esteban Felipe Zalamea-León, Juan David Mena-Campos, Maria
Soledad Moscoso-Cordero, Edgar Antonio Barragán-Escandón,
Pablo Méndez-Santos

Cómo citar este artículo: ZALAMEA-LEÓN, E.; MENA-CAMPOS, J.; MOSCOSO-CORDERO, M.; BARRAGAN-ESCANDON, E. y MENDEZ-SANTOS. P. *Perspectivas de cubiertas fotovoltaicas y arquitectura en contextos urbanos patrimoniales* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 13 (38): 185-210, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.13.38.5369> ISSN: 1886-4805.

ARCHITECTURAL PERSPECTIVES AND PHOTOVOLTAIC ROOFS IN HERITAGE URBAN CONTEXTS

Keywords: Renewables; building integrated photovoltaics; photovoltaic tiles; heritage cities

Structured abstract

Objective

To estimate electric self-sufficiency through added or integrated photovoltaics (PV) on roofs jointly with heritage and architectural implications analysis. Discussing the impact associated with achieving energy democratization, observing consequences of typical PV technology with crystalline solar cells products, more efficient, mature and economical, compared to new "architectural" PV products developed for mimicry, less efficient, costly, and involving to remove the authentic original coating tiles.

Methodology

Through three-dimensional BIM roof diagrams, the overall solar potential is estimated, and this with respect to own demands. Self-generation margins are projected with locally validated PV production models. Then, through photomontages the relative impact of crystalline PV solar products as well PV tiles, observing the relative impact from different urban perspectives.

Conclusions

PV crystalline solar panels superimposed on roofs could reach electrical surpluses, between four and twenty times. PV roof tiles also would cover a very high demand with substantial surpluses, between two and nine times. From an architectural perspective, it has been shown from urban perspectives, crystalline solar panels are not being noticeable when buildings have more than two floors, but in one floor buildings or from distant and aerial perspectives the impact is significant. From street point of view and urban scale, PV roof tiles, despite having been created for mimicry, also have an effect on one floor buildings, specially in near sight view.

Originality

The originality of this work lies besides estimating the urban solar potential widely analysed in the literature, to counterpose conservation and authenticity aspects, against renewable energy integration consequences. These aspects have not been analysed jointly in the literature so far we know.

PERSPECTIVAS DE CUBIERTAS FOTOVOLTAICAS Y ARQUITECTURA EN CONTEXTOS URBANOS PATRIMONIALES

ZALAMEA-LEÓN, Esteban Felipe ¹

MENA-CAMPOS, Juan David ²

MOSCOSO-CORDERO, Maria Soledad ³

BARRAGÁN-ESCANDÓN, Edgar Antonio ⁴

MÉNDEZ-SANTOS, Pablo ⁵

Remisión inicial: 24-11-2017

Remisión definitiva: 18-01-2018

Aceptación inicial: 07-01-2018

Aceptación definitiva: 26-01-2018

Palabras clave: Energías renovables; integración arquitectónica fotovoltaica; tejas fotovoltaicas; centros urbanos patrimoniales

Resumen estructurado

Objetivo

Estimar el potencial de autogeneración eléctrica fotovoltaica conjuntamente con las implicancias arquitectónicas en contexto patrimonial, en análisis conjunto. Someter a discusión el impacto asociado frente a alcanzar la democratización energética, analizando la aplicación de tecnología típica fotovoltaica con placas de sílice, más eficiente, madura y económica frente a nuevos productos “arquitectónicos” desarrollados para mimetización, menos eficientes, costosos, y que implican eliminar el recubrimiento original auténtico.

Metodología

Desde levantamientos geométricos tridimensionales de techumbres, se estima el potencial solar existente respecto a demandas con herramienta BIM. Se prevén márgenes de autogeneración a partir de modelo validado localmente para cálculo de rendimiento fotovoltaico. Con fotomontajes se visualiza el impacto relativo tanto de placas de sílice como de tejas fotovoltaicas desde distintos perspectivas urbanas.

¹ Doctor en Arquitectura y Urbanismo, Universidad del Bio Bio, Chile. Profesor asociado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca, Ecuador. Correo electrónico: esteban.zalamea@ucuenca.edu.ec

² Arquitecto de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Correo electrónico: david.mena@ucuenca.ec

³ Arquitecta, Universidad de Cuenca. Master in Conservation of Monuments and Sites K.U. Leuven. Profesor asociado de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Cuenca. Correo: soledad.moscoso@ucuenca.edu.ec

⁴ Master en Energías Renovables, Master en Sistemas Eléctricos de Potencia. Profesor de la Universidad Politécnica Salesiana. Investigador del Grupo Energía de la UPS. Correo electrónico: ebarragan@ups.edu.ec

⁵ Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana. Máster Sistemas Eléctricos de Potencia, Universidad de Cuenca. Director de Comercialización, Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. Correo e.: pablo.mendez@centrosur.gob.ec

Conclusiones

Las placas de sílice cristalino colocados superpuestos en tejados alcanzaría a suplir en exceso la demanda eléctrica, entre cuatro y veinte veces en los casos estudiados. Las tejas fotovoltaicas alcanzarían a cubrir una demanda inferior a la estimada con placas de sílice, aunque también con excedentes sustanciales, entre dos y nueve veces. Desde la perspectiva arquitectónica, se ha demostrado que en perspectiva y a escala urbana, las placas solares no serían perceptibles cuando las edificaciones poseen más de dos plantas, pero, en edificaciones de una planta o desde perspectivas distantes y aéreas el impacto sí es significativo. Desde la perspectiva de calle y por escala urbana, las tejas fotovoltaicas a pesar de haberse creado para mimetización se observa afectación de imagen en edificaciones de una planta.

Originalidad

La originalidad de este trabajo radica, adicionalmente a estimar el potencial solar urbano, ampliamente analizado en la literatura, el contraponer esta situación a aspectos de conservación y de autenticidad, respeto a aspectos perceptibles. Estos aspectos no se han analizado conjuntamente hasta donde se pudo revisar en la literatura.

1. Introducción

La necesidad de controlar la contaminación ambiental y reducir emanaciones de CO₂ son compromisos de los países firmantes del Acuerdo de París (Organización de las Naciones Unidas 2015). Los países en desarrollo, entre ellos el Ecuador, tienen una importancia significativa en este contexto, porque es en ellos en donde se encuentra el mayor incremento de consumo energético basado en combustibles fósiles y por ende de emanaciones de gases de efecto invernadero, se prevé que en estos se incrementaría la afectación a entornos vírgenes a menos que se asumen alternativas al modelo actual (Navarra, Molen y Molen 2013). Sin embargo la falta de tecnología, normativas y empoderamiento social impiden la inclusión de micro y auto-generación energética distribuida (Mikkola et al. 2014; Wegertseder et al. 2016). Se prevé que en un futuro estos aspectos sean minimizados, más aún cuando la tendencia indica que las alternativas renovables se van tornando asequibles tanto para edificaciones como para ciudades, trascendiendo la eficiencia energética. Son medidas para que los edificios sean CO₂ neutrales, incluso resilientes, bajo un paradigma regenerativo, de acuerdo con el concepto *Plus Energy* (Disch 2010). Esto implica equilibrar el impacto causado en el proceso constructivo y consumo cotidiano, produciendo energía en mayor medida respecto al consumo, compensando así la huella ecológica causada durante la construcción y vida útil de la edificación (Attia 2016). Bajo este contexto, los países en vías de desarrollo, también deben promover la difusión de las energías renovables. A pesar de que las falencias tecnológicas, costos iniciales, falta de normativa, de políticas estatales o incluso el proteccionismo arquitectónico, pueden ser más críticos que en otros lugares.

Se prevé que en las ciudades en países en desarrollo estará el mayor incremento de emanaciones de gases de efecto invernadero (Wegertseder et al. 2016). Ecuador ha alcanzado recientemente un abastecimiento eléctrico de hasta un 93 % explotando recursos hídricos a partir de centrales de gran potencia (Ponce-Jara et al. 2018). Esto posibilitaría que a mediano plazo se disponga de energía más barata y limpia si consideramos el aspecto de las

emanaciones, pero muy impactante desde la perspectiva ambiental en cuanto a afecciones causadas por su construcción y la ocupación de grandes infraestructuras. Aun así, el consumo actual per cápita local está en el orden de entre una cuarta parte y una novena parte respecto a países desarrollados, incluso es de la mitad respecto a otros de la región como Chile o Argentina (International Energy Agency 2015). La alta dependencia de una o dos fuentes energéticas puede ser perjudicial, más aún frente a escenarios de estiaje u oscilación de precios, por ello se propone diversificar la producción de energía con otras fuentes.

Cualquiera de estas fuentes renovables conllevan ciertos impactos, ya sea por ocupación espacial, inundación, afectación a especies o contaminación visual (Yang, Lim y Yoo 2017; Poggi, Firmino y Amado 2018; Zalamea-León 2016). La micro generación distribuida solar urbana supone que el espacio ocupado por ciudades sea utilizado para el aprovechamiento de la irradiación, además, mitiga el cambio climático, genera fuentes de trabajo, propicia la independencia energética individual, más allá de que la fabricación tecnológica no sea local (IEA 2009). Por lo tanto, las ciudades y sus edificaciones como soporte de fuentes energéticas se consideran entre las alternativas más promisorias (Barragán et al. 2017). La producción eléctrica a partir de fuentes solares ha crecido por diez en los últimos años (Pean, Ortiz y Salom 2017). Al integrar los fotovoltaicos (*Building Integrated Photovoltaics, BIPV*) en las edificaciones, se reduce la necesidad de ocupar suelo adicional para producción energética (Barbos et al. 2012).

Varios estudios han pre-dimensionado el potencial abastecimiento fotovoltaico (en adelante PV) desde las propias edificaciones. Se ha determinado que en Estados Unidos, Israel, Canadá y España es factible solventar entre el 15 % y 45 % de la demanda (Assouline, Mohajeri y Scarcezzini 2017), otros estudios prevén incluso un mayor margen, hasta de un 88 % a escala urbana (Byrne et al. 2017); incluso se ha previsto puede existir sobre-disponibilidad de espacio o exceso de potencial para cubrir demandas de edificaciones en sus propios techos (Zalamea, García y Sánchez 2016). Varias sociedades están profundizando estudios y escenarios para la transición eminente a mediano y largo plazo (Han et al. 2017).

A diferencia de los países señalados en los que las demandas son consistentes fundamentalmente por requerimientos de ambientación de los edificios, esta investigación se desarrolla en un contexto en donde los requerimientos energéticos son más bien reducidos por las características climáticas excepcionales, considerando que la temperatura promedio es 15 ° C con extremos que no sobrepasan los 21,8 °C y no disminuyen por debajo de los 8,1 ° C (ClimateData-Org 2018). Ello sumado a la alta y estable irradiación, se prevé un potencial particularmente propicio.

Desde la perspectiva arquitectónica y de conservación patrimonial, hay exigencias acerca de intervención en edificaciones que, por lo subjetivo del concepto, posee varias acepciones. Aquella que interesa de manera particular es la relacionada con la autenticidad material y la integración de sistemas de producción energética. Al respecto, se conocen dos posturas diferenciadas: i) una dogmática que propone que los materiales históricos deben ser entendidos como los materiales originales, estratigrafía histórica, marcas históricas, procesos de envejecimiento. En este sentido cada objeto patrimonial es único e irreplicable y no puede ser restaurado, pues si se interviene, se pierde para siempre (Kulevičius 2014); ii) por otro lado se propone una postura amplia basada en el concepto de la ciudad como paisaje urbano

histórico, que contempla al patrimonio como una estratificación histórica de significados, considerando la idea de que existen límites aceptables de transformación, *“permitiendo que ocurran cambios sin perder aquellas características más distintivas y valoradas”* (Buckley, Cooke y Fayad 2016).

El discurso autorizado sobre conservación, muchas veces se resiste a promover modificaciones en las edificaciones, basándose en argumentos estéticos sin tener en cuenta temas de eficiencia energética que poco a poco se convierten en asuntos primordiales. Se propone que la gestión del patrimonio debe ser dinámica, pues *“los edificios históricos dotan de una cierta calidad y carácter a sus alrededores, haciéndolos populares y atractivos para vivir, pero no deben ser tratados como piezas de museo”* (Crockford 2014). Barragán-Escandón, Terrados-Cepeda y Zalamea-León (2017) establecen para el caso de Cuenca que una de las tecnologías más importantes a implementar en el entorno urbano es la energía proveniente de paneles PVs. Así mismo establecen que una consideración para su implementación es el espacio y la valoración arquitectónica, pero no establecen un análisis específico para áreas patrimoniales.

El artículo 8 de la Carta de Washington propuso que las nuevas funciones y nuevas actividades de la vida moderna deben ser compatibles con el carácter del área urbana histórica (Charter for the conservation of historic towns and urban areas, 1987), por lo que es posible la adaptación de nuevos sistemas y nuevas tecnologías en sus edificaciones (Bougiatioti y Michael 2015). Entre estas nuevas tecnologías bien podría pensarse en la incorporación de paneles PV, más aún si las tecnologías de dichos sistemas son cada vez más adaptables y causan un menor impacto en la imagen de las edificaciones.

La inserción de paneles PV en edificaciones históricas tiene larga data en Europa. En Inglaterra por ejemplo, se incluyen paneles en casas victorianas (Crockford 2014). *“El siguiente paso para la conservación del patrimonio es obvio, alinear los principios y la práctica de la conservación en el siglo XXI con los principios de sostenibilidad (...) Realignar la conservación con principios sólidos de sostenibilidad es una definición contemporánea atractiva pero desafiante”* (Cassar 2009). En ciudades de alto valor patrimonial como Florencia, los eventos naturales resultantes del cambio climático, están llevando al replanteo de posiciones de las autoridades y ciudadanos en la postura de mantenerse en estado de autenticidad de forma pragmática (Ryan et al. 2016).

Así, los estudios recientes de rehabilitación de edificios patrimoniales, consideran necesariamente la incorporación de PV, incluso de tecnologías que podrían considerarse invasivas como las placas de sílice incorporadas a gran escala (Berardinis, Rotilio y Capannolo 2017). Estudios llevados a cabo en Italia, muestran la necesidad de resolver técnicamente la integración arquitectónicamente de PVs en remplazo de tejas de arcilla o sobreponiéndose en ella, midiéndose su desempeño (D'Orazio, Di Perna y Di Giuseppe 2013). En este sentido deben buscarse soluciones que eviten el impacto visual (Cellura et al. 2017).

Existen tres niveles de adaptación arquitectónica PV: i) colocados en edificación, ii) sobrepuestos en edificación BAPV⁶ y iii) colectores integrados arquitectónicamente BIPV⁷. La

⁶ Building Attached Photovoltaics (Fotovoltaicos Adheridos a Edificación)

⁷ Building Integrated Photovoltaics (Fotovoltaicos Integrados a Edificación)

primera categoría implica el despliegue de placas sin guardar relación alguna con el lenguaje de la edificación ni paralelismo en las superficies envolventes, siendo la situación más nociva desde el punto de vista formal. La implantación de colectores sobrepuestos e integrados arquitectónicamente suponen diversos grados de adaptación arquitectónica. En el primer caso respetando, por lo menos el paralelismo con la superficie de la envolvente. En el segundo caso cuando se trata del despliegue de productos PV que cumplen condiciones arquitectónicas de aspecto y funcionales. En este sentido se busca tener aptitud de ser recubrimiento en sí mismos o ser elementos constructivos constitutivos de la arquitectura como parasoles, balaustradas, etc (Zalamea-león y Quesada-molina 2017). En integración arquitectónica se podrían diferenciar distintos grados y valores, sujetos aún a discusión (Kaan y Reijenga 2004; IEA SHC Task 41 2012).

Para el caso de la integración en centros patrimoniales urbanos latinoamericanos, la teja de arcilla es el material tradicional. Entonces las tejas fotovoltaicas (tejas PV) poseerían las mejores condiciones de integración estética por mimetización, no obstante, aún existen limitaciones técnicas de capacidad de colocación y producción. Además son de inferior rendimiento y conllevan complejidad de instalación al requerirse más unidades por m², se multiplican las conexiones y el cableado, situación que aún supone una barrera práctica (Cinnamon 2016); más allá de ello, nuevos productos y cada vez más eficientes emergen en el mercado (Shukla, Sudhakar y Baredar 2016).

2. Materiales y métodos

Se representa y se simula las implicaciones de adoptar tecnología PV en techumbres de contextos urbanos patrimoniales. A través de distintos niveles de incorporación arquitectónica de esta tecnología, se observan rendimientos energéticos y consecuencias expresivas. La zona de estudio se emplaza a 2° 55' latitud Sur, muy próximo al ecuador lo que conlleva un recorrido solar a gran altura durante todo el año, con leves desviaciones hacia el norte y sur en los solsticios. La altura solar es baja solamente hacia el este y oeste, temprano en las mañanas o al final de la tarde. En consecuencia, las techumbres son superficies idóneas para captación solar en la localidad de estudio. Las cubiertas consideradas son inclinadas, la morfología largamente predominante, siendo su función única la de cobertura más allá de asuntos estéticos. De acuerdo a investigación *VLIR CPM*, las inclinaciones mayoritarias son de 14.00°, 18.26° y 26.56°. Si bien por incidencia de irradiación, PV desplegados cercanos a la horizontal sería la disposición ideal; no obstante colectores dispuestos en inclinación garantizan limpieza natural pluvial, sobre todo en el sitio de estudio en donde las precipitaciones contribuyen a ello durante todo el año. Las precipitaciones continuas permiten mantener pérdidas inferiores al 1 % del rendimiento por suciedad y facilitan mantenimiento (Smith et al. 2013). Las terrazas planas por lo general poseen usos alternativos.

Por las pendientes reducidas, existe buena insolación en cualquier orientación de los faldones. En una investigación anterior, se identificó un rendimiento anual PV, en el que en balance anual se obtiene un volumen energético muy similar al considerar variaciones en orientación, esperándose una reducción de producción de máximo un 6 % anual en la orientación más desfavorable frente a la más favorable. Sí se advierte que por variación en orientación, la producción varía en cuanto a horas, pero en balance de producción neta se equilibran (Izquierdo y Pacheco 2017).

Como dato de entrada se tiene el consumo semanal de doce edificaciones con lecturas cuatroras tomadas de dos semanas en cada caso. Todos los casos son de uso residencial, en nueve de ellos existe también un uso comercial, una edificación tiene alternativo mixto (residencial y museo). Es de anotar que los usuarios del servicio eléctrico no siempre aportan con la información solicitada. A pesar de un limitado conocimiento sobre el equipamiento y el consumo existente por su uso, en la práctica, el objetivo de este trabajo es mostrar las posibilidades de la autogeneración y la incidencia en la red, por lo que la información global de consumo es la requerida. En el período de lecturas para muestra no se identificó variación de consumos por oscilaciones climáticas estacionales, pero se advierte una variación como consecuencia de día laboral frente a fines de semana. Se tomaron cuatro casos de estudio de acuerdo a: i) valor arquitectónico, ii) altura de la edificación (uno o dos pisos) y iii) la exposición de los techos hacia la vía pública. Con proyecciones visuales y simulaciones energéticas, se muestran y discuten las consecuencias de la adopción de placas PV superpuestas a la techumbre frente al despliegue de tecnología para integración arquitectónica.

Como productos para la superposición en techumbres se analiza el despliegue de placas de células mono cristalinas rectangulares de sesenta celdas y de tejas PV. La primera es una tecnología madura y está ampliamente difundida en el mercado. La segunda opción permite la mimetización con la teja y por tanto podría ser favorable para su aceptación al ser visualmente compatible con la arquitectura local. Por otro lado, las placas de sílice cuestan actualmente alrededor de 3,33 veces menos respecto a las tejas, en contextos en donde se comercializan ambos tipos de productos (Cinnamon 2017).

El análisis formal se ejecuta a través de fotomontajes en vistas normales desde perspectiva de calle y a través de vistas aéreas tomadas desde sobrevuelos en dron. En primera instancia, se supone el despliegue de placas PV considerando una ocupación y producción máxima. Luego se despliega la cantidad de PV necesarios para lograr edificaciones eléctricamente neutras en balance anual, colocándose solamente en aquellos faldones secundarios y menos expuestos visualmente. La tercera opción es la incorporación de tejas PV, con características de mimetización respecto al material original. Las eficiencias tomadas para simulación se adoptan a partir de rendimientos de placas de sílice, detectados en un estudio previo, con mediciones en orientaciones e inclinaciones representativas de las techumbres (Izquierdo y Pacheco 2017).

En cuanto a tejas PV, por la falta de productos en el medio, se adoptan rendimientos teóricos para tecnología de sílice amorfo o lámina delgada, la cual presenta una eficiencia reducida frente a las de sílice cristalino tradicional. No obstante, por condiciones de la teja (superficie curva y no factibilidad de ocupar la superficie total de las placas por traslapes y contigüidad de la superficie absorbente), se toma un rendimiento factible de 4,5 % (Shukla, Sudhakar y Baredar 2016).

Se consideran casos puntuales de estudio para observar afectaciones a través de fotomontajes, con el objeto de mostrar el impacto de los dos tipos de colectores tanto desde la perspectiva de calle o peatonal, así como afectación desde perspectiva aérea y distante. Los casos de estudio están catalogados como categorías VAR A en dos de los cuatro casos

analizados y dos de Categoría VAR B, acorde a calificación patrimonial⁸. Finalmente se compara la superficie de captación efectiva de ambas situaciones en estudios futuros.

Puesto que la ciudad de Cuenca está inscrita en la lista de Patrimonio Mundial de la Unesco, se revisó la normativa vigente para determinar la posibilidad real de intervención en las techumbres. En el artículo 23 se enuncia lo siguiente: *“Se admitirá la incorporación de elementos recientes necesarios para dotar a la edificación de condiciones de habitabilidad, higiene y salubridad, tales como: instalaciones sanitarias, de ventilación, cielo rasos, etc., siempre que no afecten a la estructura y tipología del edificio y tengan carácter reversible”* (Municipalidad de Cuenca 2010)

La normativa además propone que las techumbres sean tratadas a manera de “buhardillas”, y es factible realizar alteraciones en las cubiertas en edificaciones VAR B, ambientales y sin valor especial siempre que *“la intervención prevista no signifique alteraciones de: a) Cubierta original. Se admitirá pequeñas aberturas para entrada o salida de aire y luz, siempre que no alteren los perfiles alimétricos de la misma y estén ubicadas en las vertientes que no hacen fachada a la calle.”* (Municipalidad de Cuenca 2010). Por lo antedicho podría ser factible realizar los cambios propuestos sin incurrir en prohibiciones legales.

3. Resultados

3.1 Caracterización de demandas urbanas

Se dispone de información de las lecturas de consumo total urbano de la zona de emplazamiento de las edificaciones, al ser analizadas y caracterizadas se evidencia que en magnitud semanal se tienen oscilaciones de consumo diario consecuencia de fines de semana y días no laborales. Durante el año, la variación de consumo estacional es mínima. Se evidencia una leve reducción (3,5 % inferior al promedio) de la demanda promedio en julio y agosto por tratarse de meses vacacionales. En la Figura 1 se muestra el consumo mensual de 80 manzanas de la zona de estudio en donde se localizan las edificaciones.

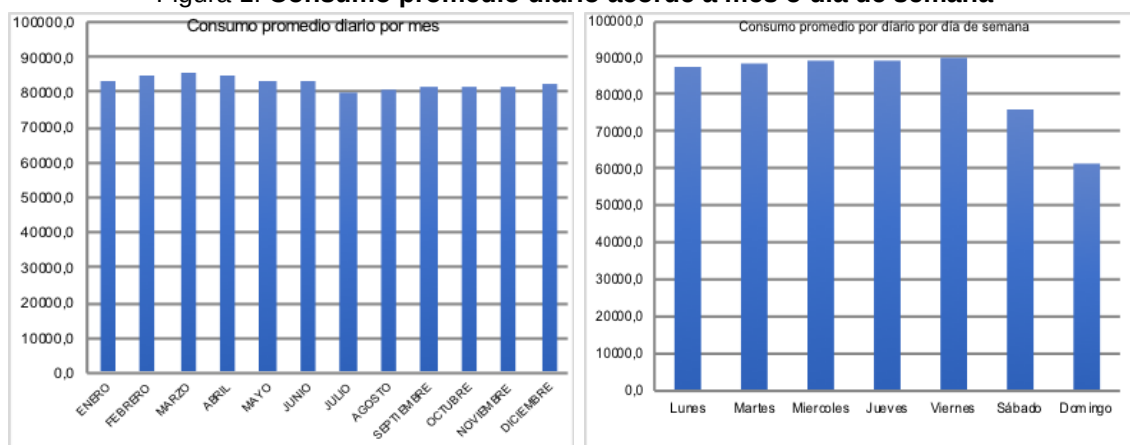
Para caracterizar las demandas de edificaciones puntuales, se colocan lectores de datos A1800 ALPHA Meter, en los medidores de doce casas, este equipo toma lecturas de consumo cada 15 minutos. Por la disponibilidad de los aparatos se toman mediciones durante dos semanas por caso, con ello, se logra caracterizar las demandas diarias y horarias, las cuales se suponen constantes durante el año. La información recabada expone gran variabilidad de demanda por caso, y no se observa dependencia respecto a la dimensión de la edificación (Figura 2).

Si bien se pueden caracterizar los consumos de las edificaciones, es necesario señalar que el comportamiento humano diverge en gran medida y dista de ser previsible. Ello supone que

⁸ De acuerdo a la Ordenanza para la gestión y conservación de las áreas históricas y patrimoniales del cantón Cuenca vigente, existen categorías de las edificaciones del Centro Histórico de Cuenca (Municipalidad de Cuenca 2010): emergente, VAR A, VAR B, ambiental, sin valor, de valor negativo. Para el presente estudio se descartan aquellas de la categoría “emergente” debido a que no existe el uso vivienda en edificaciones de esta categoría, así como aquellas de la categoría “sin valor” porque en ellas no es necesario buscar una adaptabilidad pues pueden ser íntegramente reemplazadas.

cualquier presunción y simulación difiere frente al comportamiento real y ello determina, entre otras cosas, el consumo de energía en una edificación (Op 't Veld y Van der Aa 2014). Luego, el modo más aceptado es caracterizar consumos precedentes y considerarlos como factibles a futuro, o simularlos acorde a usos probables. Cualquiera sea la situación, es necesario advertir que los rangos de variabilidad pueden distar de lo medido estadísticamente y más aún entre casos puntuales.

Figura 1. Consumo promedio diario acorde a mes o día de semana



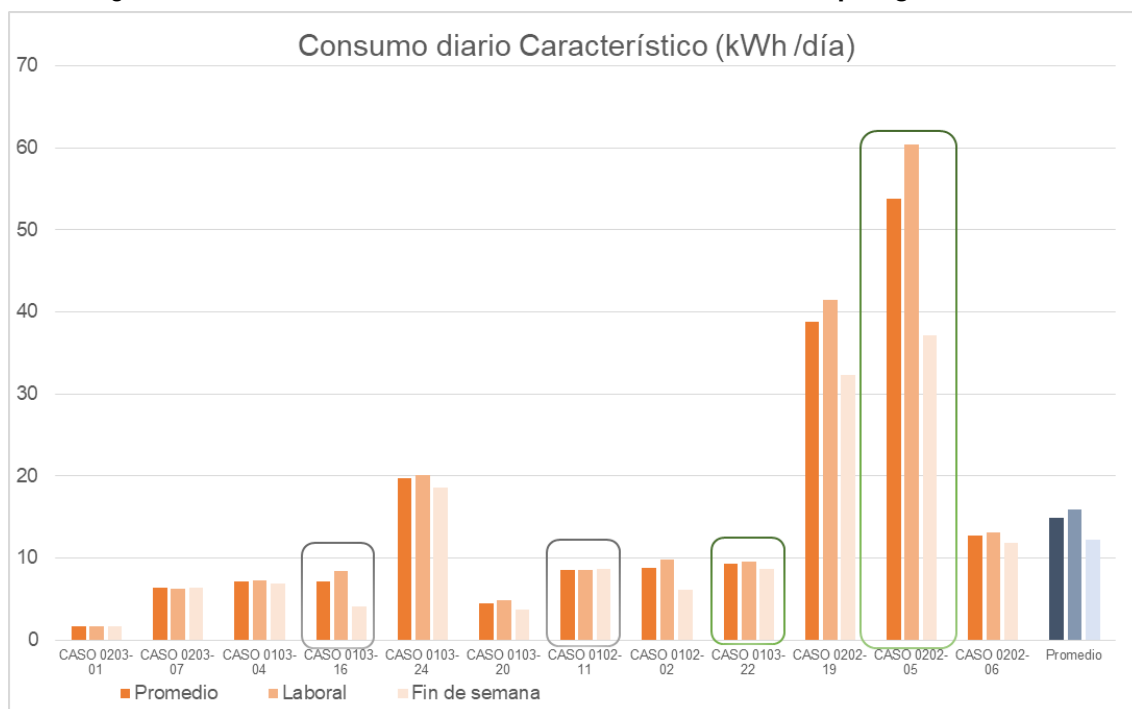
Fuente: Elaboración propia

La Figura 2 compara consumos entre edificaciones, muestra una gran dispersión, así, entre el día de mínimo consumo medido en el caso con consumos más bajos, comparado con el día de máximo consumo del caso de mayor requerimiento energético, este segundo lo supera en más de treinta y cinco veces. Esto responde al uso, así como a la variabilidad de comportamiento de los usuarios y cantidad de habitantes. Así en los dos casos de mayor demanda, el modelo 0202-19 y 0202-05, en el primero habitan varias familias y en el segundo caso, su uso principal es un museo turístico.

Los demás casos muestran consumos semejantes entre ellos. En este contexto climático, la dimensión de las edificaciones no es determinante en el consumo como es habitual en zonas con climas estacionales o extremos, en los que la necesidad de ambientación espacial, determina en buena medida el consumo energético e incluso es habitual caracterizar indicadores por superficie o volumen de ocupación (García Álvarado y González 2014). En consecuencia, no solo por la variable capacidad de producción, sino también por la variación en el consumo, resulta de importancia la interconexión de mediciones energéticas en una red inteligente (Smart Grid).

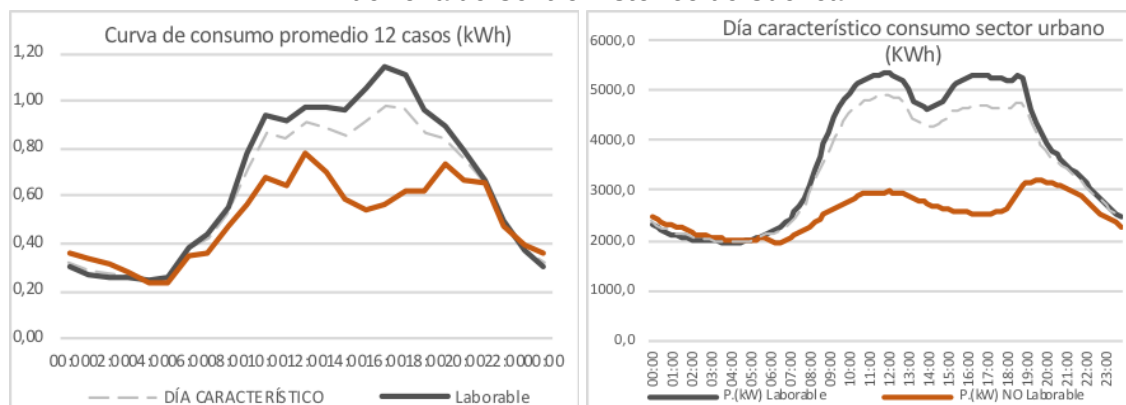
Contrariamente, cuando se analizan los consumos de varias edificaciones conjuntamente y más aún de todo un sector urbano, las curvas de consumo se tornan menos impredecibles y las oscilaciones de consumo y el consumo neto son menores. En la medición de consumo promedio diario de todos los meses se tiene un diferencial un 7,1 % entre el promedio diario de mes de máximo consumo (marzo) y el de mínimo consumo (julio).

Figura 2. Consumo característico diario de doce casos de tipología estudiada



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Curvas de consumo eléctrico de doce casos edificados y curva de consumo de zona de Centro histórico de Cuenca



Fuente: Elaboración propia

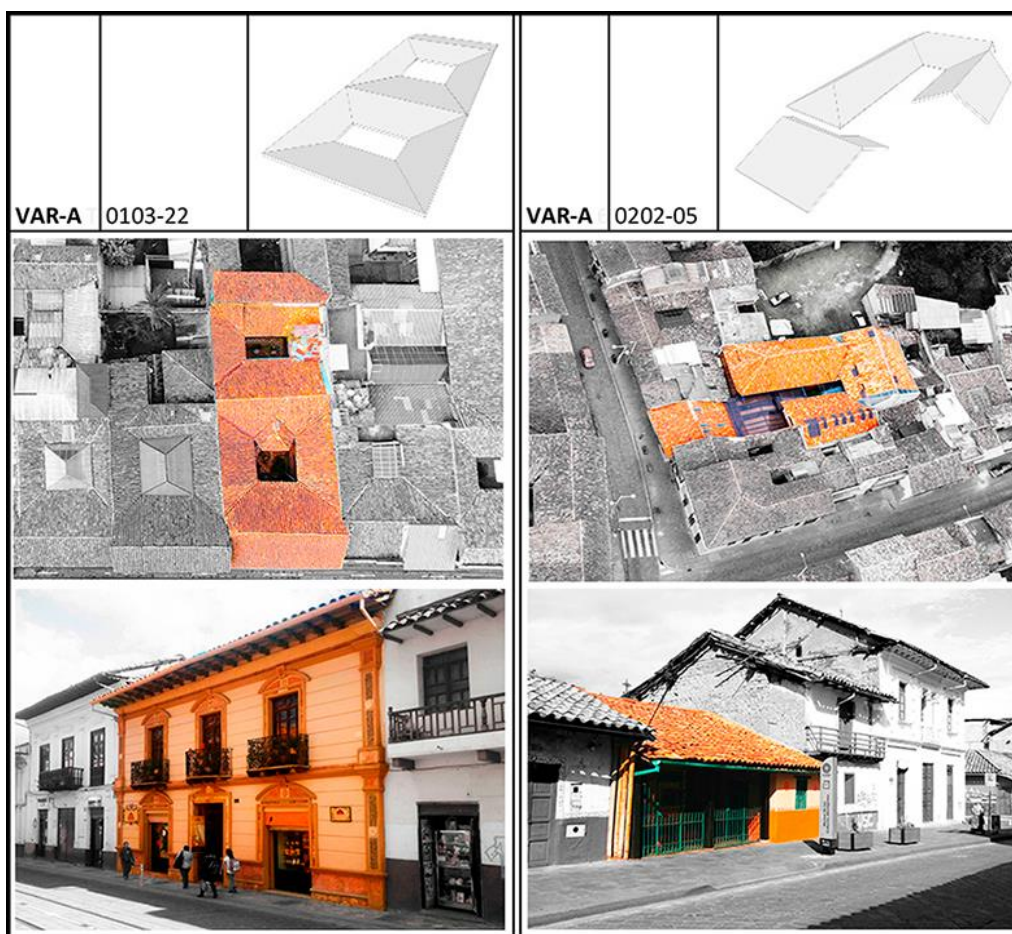
Al compararse las mediciones de carga en sectores urbanos correspondientes al requerimiento energético de edificaciones más el requerimiento de equipamiento urbano, se detecta es marcadamente diferente entre los días laborables frente a aquellos no laborables. El promedio es cercano a la curva representativa de días laborables por ser más recurrentes. Al comparar el perfil de consumo horario urbano frente al de las edificaciones, se encuentra una similitud, pero a distinta escala, diferenciándose en la distancia de la línea perfil respecto a línea base o cero, situación explicable por la demanda nocturna en iluminación y servicios urbanos, no existente en el caso de las edificaciones individuales (Figura 3). Es perceptible que las demandas de los

inmuebles, así como la demanda urbana total, los mayores requerimientos energéticos estén próximos a las horas de mayor irradiación, con excepción del pico de consumo existente en horas del final de la tarde en días laborales. Estas características suponen una adecuada concordancia para adaptación de la producción PV.

3.2 Casos de Estudio VAR A, VAR B, en condición de despliegue de recolección PV e integración arquitectónica BIPV

Se seleccionan cuatro edificaciones puntuales como casos de estudio, tomando unidades de una y dos plantas, las que están catalogadas como de valor patrimonial en distinto grado. Considerando la altura de la edificación, al adaptar tecnologías PV implica impacto arquitectónico relativo. En los cuatro casos se simula el despliegue PV, buscando una máxima superficie de captación. Se considera el despliegue de placas de sílice mono-cristalino de 60 celdas. Luego se calcula para cada caso, la alternativa de incorporar la cantidad de placas necesarias para absorber la totalidad de las demandas eléctricas en balance anual. Finalmente se analiza una potencial aplicación de tejas PV en la totalidad de faldones. Las casas VAR A están codificadas como 0103-22 y 0202-05, las casas VAR B en tanto se denominan 0103-16 y 0102-11 para su identificación (Figuras 4 y 5).

Figura 4. Casos de estudio VAR A

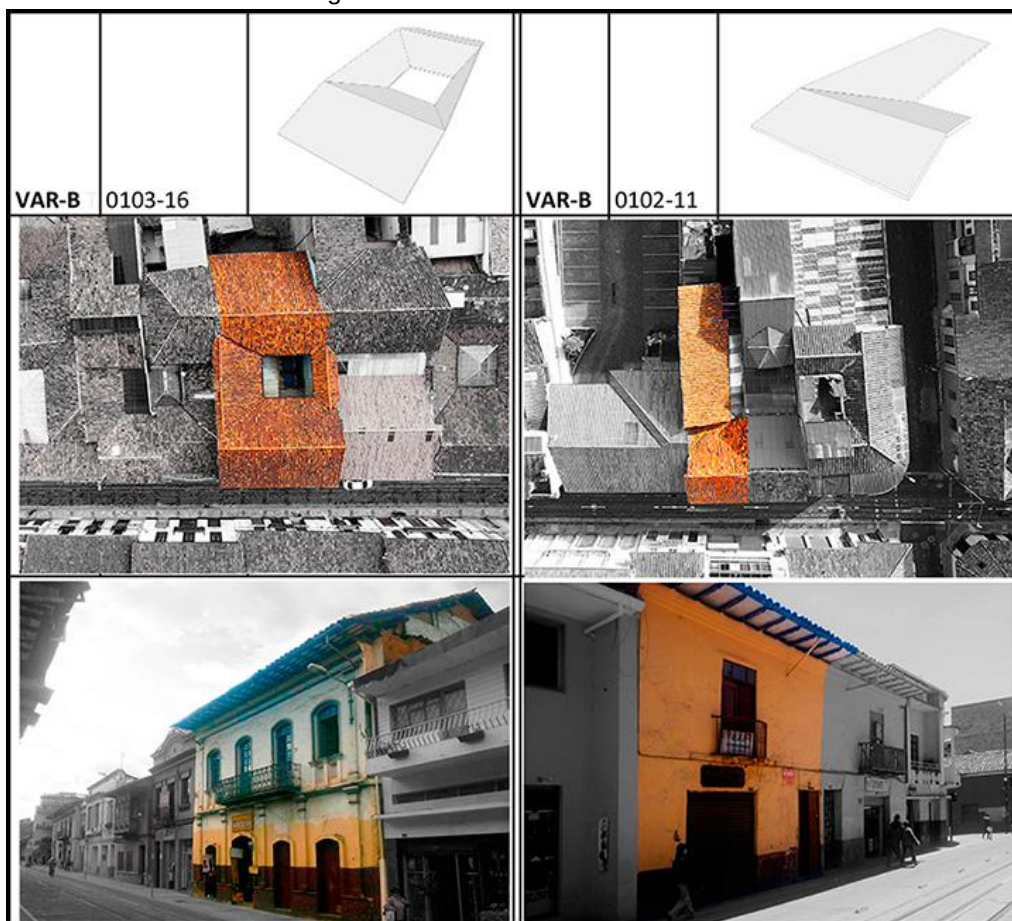


Fuente: Elaboración propia

Para cada caso se caracteriza la demanda semanal. La edificación 0202-05 funciona actualmente como museo, siendo estas actividades, en mayor medida, durante las horas diurnas. La Figura 2 muestra que este inmueble posee demandas consistentemente superiores a los otros once casos de la misma tipología en la zona. El caso 0103-22 tiene uso comercial (venta de artesanías, cafetería y oficina) con demandas concordantes con el resto. Los inmuebles VAR B casos 0103-16 y 0102-11, tienen comercio menor en planta baja, las segundas plantas corresponden a vivienda (Figura 5).

El primer análisis es la inserción de placas solares directamente sobre la techumbre original. Acorde a esta situación hipotética, las placas de sílice típicas se colocan sobre la teja, sin remplazar la techumbre auténtica. Bajo este escenario se respeta la materialidad original en el concepto de mantenimiento del material físicamente, pero no las características aspectuales, se anota que los elementos pueden ser fácilmente retirados, garantizando el principio de reversibilidad. Los resultados muestran que desde la perspectiva del transeúnte no existiría afectación visual en edificaciones de dos plantas o más (Figuras 4 y 5). No obstante, se observa una alteración visual fuerte en la casa de una planta desde la perspectiva pública inmediata. En el mismo orden, se realiza el ejercicio de simular la integración de tejas PV, asumiendo un modelo de teja española PV, acorde a la expresión del producto *Solar Roof* de Tesla (Tesla 2018).

Figura 5. Casos de estudio VAR B



Fuente. Elaboración propia

Al simular placas de sílice el impacto es importante tanto en cromática como en textura, los PV lógicamente se superponen a la teja. Al incluirse tejas PV se denotaría un material nuevo, sin patina, entra en especial contraste con las viviendas vecinas inmediatas, aunque este contraste sería menos llamativo si la inserción de tejas PV se diera en el conjunto de varias casas y no en una edificación aislada (Figura 6). En las edificaciones de dos plantas, al incluir placas de sílice o tejas PV indistintamente, no se observaría afectación mayor desde la perspectiva de calle inmediata, la vista de los techos se limita acaso al perfil o margen de la cubierta. Pero en perspectivas distantes o aéreas, el contraste cromático del material nuevo será evidente, además de tener un aspecto nuevo sin pátina original del material (Figuras 4 y 5). Entra en discusión entonces, los beneficios ambientales y sociales del aprovechamiento energético PV, en contraparte a aspectuales e invasivos en las edificaciones. A partir de esto, se confrontan dos posturas, la patrimonial frente a la ambientalista: ¿Es preferible contrarrestar contaminación, calentamiento global y democratizar de la energía, afectando con ello el aspecto urbano y de autenticidad?

Figura 6. Caso Modelo 0202-05 con placas de sílice y tejas PV integradas



Fuente. Elaboración propia

3.3 Capacidad de abastecimiento acorde a disponibilidad y geometría de techumbre

El primer escenario es encontrar la máxima capacidad de abastecimiento al desplegar a gran escala placas de sílice mono-cristalinas, ocupando la totalidad de techumbre (placas de formato típico de sesenta celdas). Se realiza un despliegue virtual a través de herramienta BIM (Archicad 19 de Graphisoft[®]), y se mide así la cantidad de placas adaptables geométricamente en cada uno de los faldones de los casos de estudio, (ver Figura 7). Se simula la producción eléctrica factible por caso a través de modelo en SAM (NREL 2018), utilizando datos climáticos y la validación del modelo de placas de sílice mono-cristalino determinado previamente (Izquierdo y Pacheco 2017). Con ello y de acuerdo con la superficie PV estimada por orientación e inclinación, se prevé un potencial de producción eléctrica por cada modelo. Este potencial puede ser caracterizado en producción típica y casos extremos detectados durante el año 2016.

A través del modelado de generación eléctrica y demandas, se estima la cantidad de placas de sílice necesarias para alcanzar edificaciones con consumo eléctrico neutro o edificaciones *Net-zero* desde los consumos eléctricos. Existen varias acepciones para este concepto, pero el más común es “*edificaciones con demandas próximas a la energía producida en balance anual*” (Torcellini et al. 2006; Karlessi, Kampelis y Kolokotsa 2017). A partir de las demandas y

Figura 7. Capacidad geométrica de adaptación PV de placa de sílice cristalino en techumbres inclinadas

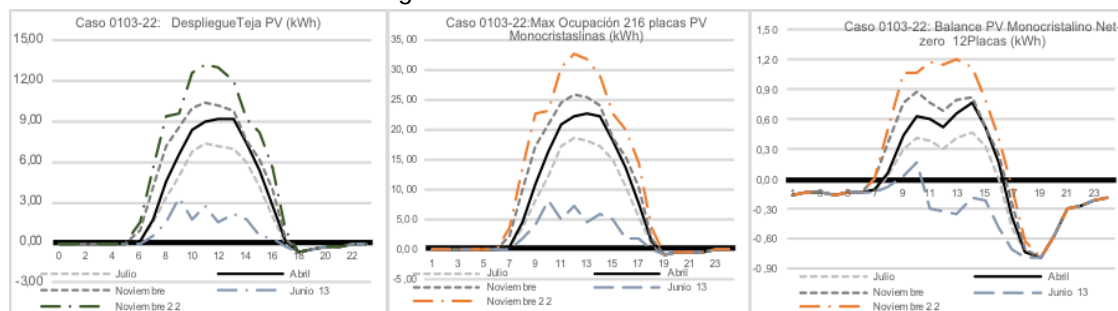
VALOR	CÓDIGO	Placas PV	VALOR	CÓDIGO	Placas PV	VALOR	CÓDIGO	Placas PV	VALOR	CÓDIGO	Placas PV
		216 Máximo			323 Máximo			179 Máximo			99 Máximo
VAR A	0103-22	12 Net-Zero	VAR A	02012-05	53Net-Zero	VAR B	0103-16	11 Net-Zero	VAR B	0102-11	9 Net-Zero

Bajo la consideración hipotética de despliegue PV en distintas configuraciones geométricas y tecnológicas, se observa variabilidad en interacción de la producción-demanda por caso de estudio respecto a la red. Para ello se toman cinco días que reflejan períodos extremos y promedio detectados en el año 2016: Condición de máxima irradiación disponible (22 de noviembre), mínima irradiación (13 de junio), día promedio de mes de máxima irradiación (noviembre), día promedio de mes con mínima irradiación (julio), día promedio del mes con irradiación promedio (abril). De acuerdo con incidencia de factores de consumo y producción, se ha detectado que, en el presente entorno urbano, es más influyente la variabilidad en la producción, que la variabilidad de la demanda, siendo la primera variable aquella que provocaría mayores desbalances, a pesar de que ambos factores son relativamente estables

durante el año. Se simula y grafica la producción-demanda en oscilación horaria en los días característicos y extremos descritos. Los resultados se reflejan en Figuras 8a, 8b, 8c y 8d y se resume la producción y abastecimiento neto diario en Tablas 1a, 1b, 1c y 4d.

En las figuras siguientes se representa el Balance energético en cuatro casos de estudio al desplegar tejas PV y placas de sílice considerando máxima ocupación PV y placas de sílice para alcanzar Net-Zero eléctrico.

Figura 8a. Caso VAR A 0103-22



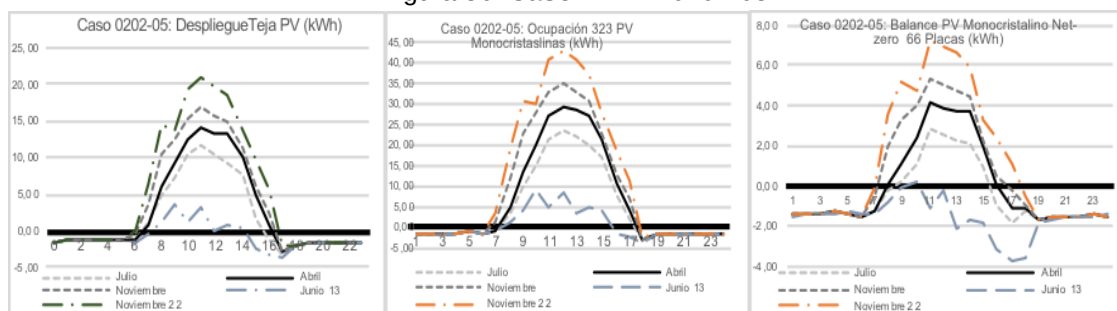
Fuente. Elaboración propia

Tabla 1a. Producción y demanda caso 0103-22

VAR A 0103-22	Uso: Comercio-vivienda	Consumo Anual: 3399,7 kWh	Superficie construida: 753,2 m ²	Techos: 425,16 m ²
Tecnología	Producción (kWh/año)	% Abastecimiento	Cantidad PV	Unidades PV
Teja PV	25748,9	757%	425,1	m ² teja
Placas Mono-sílice (Máxima ocupación)	61233,1	1801%	216	Placas
Placas Mono-sílice (net Zero)	3417,2	101%	12	Placas

Fuente. Elaboración propia

Figura 8b. Caso VAR A 0202-05



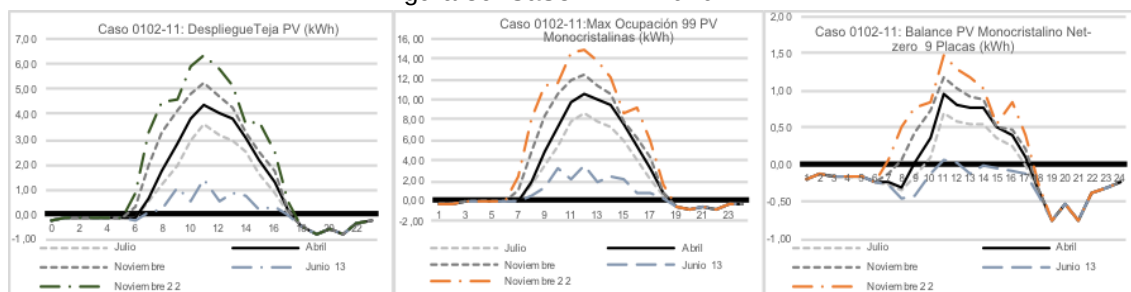
Fuente. Elaboración propia

Tabla 1b. Producción y demanda caso 0202-05

VAR A 0202-05	Uso: Museo	Consumo Anual: 19652,0 kWh	Superficie construida: 979 m ²	Techos: 1012,0 m ²
Tecnología	Producción (kWh/ año)	% Abastecimiento	Cantidad PV	Unidades PV
Teja PV	43068,10	219%	708	m ² teja
Placas Mono-sílice (Máxima ocupación)	80761,74	411%	323	Placas
Placas Mono-sílice (net Zero)	19955,64	102%	53	Placas

Fuente. Elaboración propia

Figura 8c. Caso VAR B 0102-11



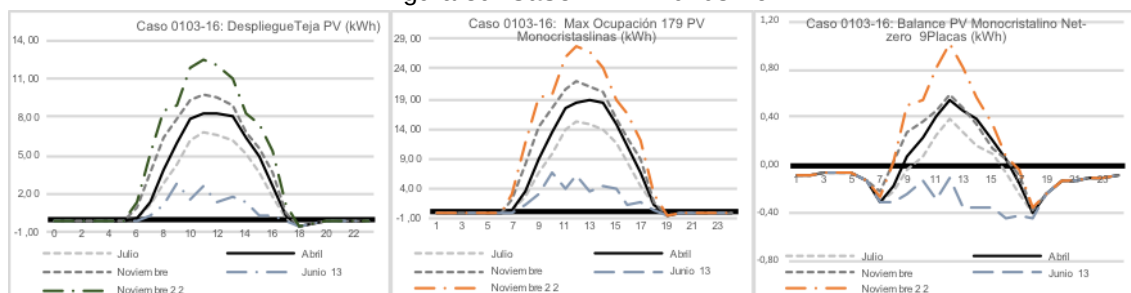
Fuente. Elaboración propia

Tabla 1c. Producción y demanda caso 0102-11

VAR A 0102-11	Uso: Comercio-vivienda	Consumo Anual: 2625,3 kWh	Superficie construida: 673,5 m ²	Techos: 388,5 m ²
Tecnología	Producción (kWh/ año)	% Abastecimiento	Cantidad PV	Unidades PV
Teja PV	23461,6	894%	387,1	m ² teja
Placas Mono-sílice (Máxima ocupación)	50784,3	1934%	179	Placas
Placas Mono-sílice (net Zero)	2560,7	98%	9	Placas

Fuente. Elaboración propia

Figura 8d. Caso VAR B 0103-16



Fuente. Elaboración propia

Tabla 1d. Producción y demanda caso 0103-16

VAR B 0103-16	Uso: Comercio-vivienda	Consumo Anual: 3136,7 kWh	Superficie construida: 322.6 m ²	Techos: 199,7 m ²
Tecnología	Producción (kWh/año)	% Abastecimiento	Cantidad PV	Unidades PV
Teja PV	12147,33	387%	199,7	m ² teja
Placas Mono-sílice (Máxima ocupación)	28189,89	899%	99	Placas
Placas Mono-sílice (net Zero)	3152,81	101%	11	Placas

Fuente. Elaboración propia

4. Discusión

4.1 Contribución Energética PV

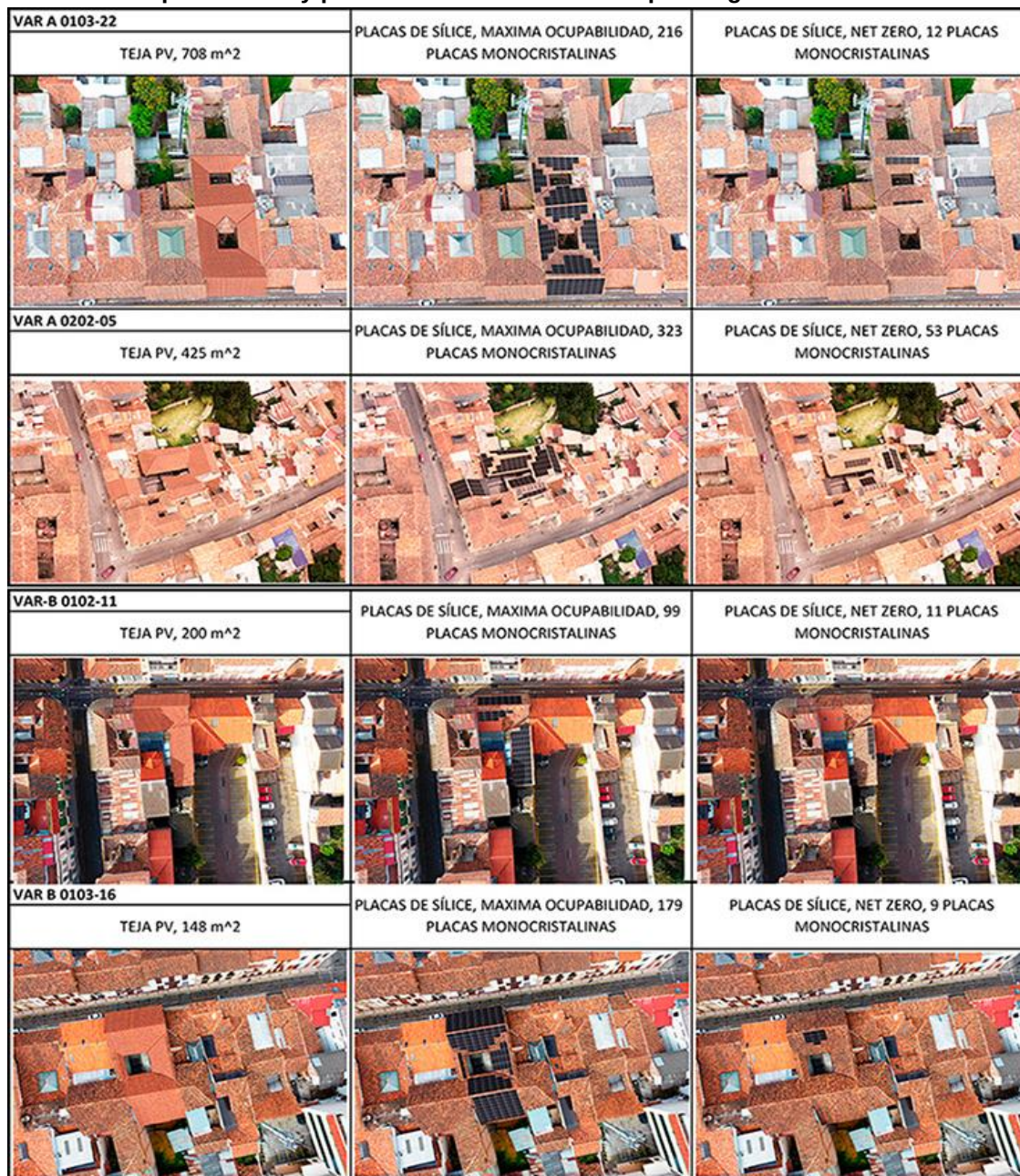
Las Tablas 1a, 1b, 1c y 1d muestran el balance entre producción y consumo con distintas disposiciones y tecnologías PV en días característicos y extremos. Se advierten fluctuaciones importantes, con sobreproducciones extremas principalmente en los picos de consumo, consecuencia de la generación eléctrica concentrada durante el día y particularmente en las horas cercanas al mediodía, frente a los consumos más distribuidos en todas las horas.

No obstante, las mayores demandas son coincidentes con las horas de alta producción. En balance, los excedentes son sustanciales en la mayor parte de horas del día. Así en sobreproducción neta, en el día de máxima insolación se alcanzaría teóricamente hasta 43 kWh de excedentes en una sola hora (VAR A: 0202-05, Figura 3b); así mismo, en el caso de estudio con menor sobreproducción se alcanza 15 kWh de excedentes en una hora (Figura 3c). Contrariamente, la máxima demanda no varía considerablemente entre épocas del año, siendo la más alta alrededor de 3,7 kWh en el modelo 0202-05 (Figura 3b). Los excedentes en una sola hora no son menores, lo sobre producido en una hora alcanzaría para abastecer el promedio de consumo eléctrico per cápita de un habitante de la ciudad, estimado en 41 kWh/mes (Jaramillo 2017). La red debería configurarse para redirigir estos excedentes a otras zonas y usos urbanos, o considerar opciones para contrarrestar otras posibles demandas alternativas y reducir el consumo de combustibles no renovables.

La adopción de almacenamiento eléctrico debe considerarse como opción para balancear la red y como complemento para reducir flujos excesivos, lo cual es indispensable bajo la situación de instalación masiva. En casos de instalación en una vivienda aislada, la red de baja tensión no se vería sometida a estrés, pero si de repetirse en varias o en todas las casas. Por otro lado, la diversidad de orientaciones contribuye a su vez a distribuir la producción durante horas del día, variando la producción de unos faldones y otros acorde a orientación de los mismos (Freitas, Reinhart y Brito 2018). Una alternativa obvia para este contexto sería dirigir la sobreproducción a abastecer transporte eléctrico, que actualmente supone el 60 % de las demandas urbanas o suplir demandas de cocción y calentamiento de agua de las propias

edificaciones con sistemas eléctricos (política que actualmente está incentivando el gobierno del país).

Figura 9. Fotomontaje de vista aérea de tejas PV, placas de sílice mono-cristalino para máxima producción y placas de sílice en cantidad para lograr balance Net-zero



Fuente. Elaboración propia

Bajo el supuesto de abastecer demandas térmicas, en estudios de la empresa de electrificación local, (Empresa Eléctrica Regional Centrosur), se sugiere que el remplazo o introducción de cocinas a inducción. Esto implicaría potencialmente un incremento de 187,5 kWh al mes por vivienda (Vizhñay 2013). Al considerar que en cada edificación vive una familia, se

incrementaría la demanda neta alrededor de 6 kWh al día. En función de los rendimientos simulados, incluso en días de mínima irradiación es factible alcanzar a abastecer esta demanda adicional. Sin embargo, los consumos de cocción y de agua caliente sanitaria se concentran temprano en la mañana, al medio día y en la noche, lo cual implicaría que principalmente durante el pico del final de la tarde, el más incidente, no esté en el rango de la posibilidad de ser absorbido por la producción PV, a menos que se considere almacenamiento eléctrico.

Con lo anterior se infiere que la ciudad tiene el potencial de convertirse en una planta o huerto solar PV en sí misma. Los excedentes de producción anuales del modelo con máxima producción VAR A 0202-05 alcanzan los 61100 kWh, a pesar de tratarse de aquel con mayor demanda. Además, se observa que, en todos los casos, el promedio de producción diaria del mes de mayor irradiación (noviembre), los excedentes son 30 % superiores al promedio de excedentes del mes con inferior sobreproducción (junio).

Un estudio reciente ha determinado que para tecnologías de placas de sílice resultarían convenientes solamente si se instalasen con precio de mercado internacional de los PV, amortizándose la inversión en poco más de cinco años; pero con el precio de mercado nacional, este período se duplica a diez años. Ello supone que la política actual que subsidia la producción tradicional sea una barrera contundente para la autogeneración (Izquierdo y Pacheco 2017). Este trabajo contribuye a mostrar potenciales energéticos, para que, en el futuro conducir subsidios a la autogeneración y evitar el flujo de recursos estatales a fuentes energéticas contaminantes e importadas.

4.2 *Afectación al Patrimonio Edificado*

Las placas de sílice instaladas a gran escala resultan en relativo impacto visual, sobre todo cuando la edificación es de una planta y son contrastantes con las tejas típicas de edificaciones vecinas. Pero si las edificaciones son de dos o más plantas, desde la perspectiva cercana de calle por lo menos, no existirían visualidades, son los PV no evidentes y en consecuencia no distorsionan el ambiente urbano (Tablas 1 y 2). Desde la perspectiva aérea, y desde la distancia, la afectación es importante, lo que se ha comprobado con vistas desde sobrevuelos y fotomontajes, aunque en el caso de tejas PV se adaptarían sin ser contrastantes. En el caso de aplicar placas de sílice mono-cristalino PV en cantidad necesaria para asumir las demandas eléctricas propias, el impacto es significativamente menor, mucho menos perceptibles incluso en sobrevuelos y acaso menos incidente que otras alteraciones que ya son recurrentes en los techos de la zona, afectaciones como placa metálica, vidrio o fibrocemento, (Tabla 5). Una ventaja de la localidad, es la capacidad de producción no afectada por condición de orientación de techumbres; con las inclinaciones de techumbre típicas de la zona, los PV se pueden colocar sobrepuestos paralelamente a cualquier tejado, sin incidir significativamente en el rendimiento. En consecuencia, son por geometría menos impactantes frente a otros contextos, en los que se deben adaptar colectores solares de forma no paralela a la envolvente, si se requiere maximizar el rendimiento (Scognamiglio et al. 2009; Bougiatioti y Michael 2015). Desde la perspectiva patrimonial, la colocación de placas de sílice a pesar de ser una modificación visual fuerte, no resulta extremadamente grave pues es un elemento que puede ser retirado en cualquier momento manteniendo la techumbre original. De todas formas, sería preferible colocarlas hacia el interior de las edificaciones, como opción para mantener la

uniformidad visual de las cubiertas del centro histórico, sin que exista un contraste con la edificación vecina. El despliegue masivo de tejas PV, resultaría también en sobreproducciones consistentes, aunque en promedio, de la mitad respecto al alcanzado con placas de sílice. En el modelo VAR-B 0102-11 por la reducida demanda, la proporción de abastecimiento alcanzaría una sobreproducción neta de veinte veces respecto a la demanda en un año.

Se infiere que existe claramente una sobre disponibilidad espacial solamente en los techos para cubrir un eventual auto-aprovisionamiento, que se evidencia en el dimensionamiento para alcanzar un balance eléctrico neutro. Con el 10 % de la disponibilidad espacial aplicándose placas de sílice, como se observan en las simulaciones, en algún caso se alcanza hasta 7 kWh de excedentes al medio día. El alcanzar el balance energético neutral es dependiente de la demanda, se aprecia entonces diversas necesidades entre los casos de estudio (entre 7 y 53). En el caso de tejas PV, en vistas aéreas con fotomontaje simulado, a la distancia la afectación no es tan contrastante, de hecho, en edificaciones actuales se observa que existe teja nueva, con similar afectación a la que se daría en el caso de aplicación de tejas PV. Sin embargo, desde la perspectiva de la autenticidad, no existe una posible reversibilidad, si bien la colocación de las tejas resulta menos agresiva que las placas de sílice, en principio, es necesario realizar una sustitución de materiales originales de las edificaciones, lo que a largo plazo podría constituir una mayor afección solamente desde la perspectiva de la autenticidad material.

De cualquier manera, es necesario entender que las edificaciones patrimoniales deben adaptarse a las demandas de la vida moderna y para hacerlo es necesario llegar a un balance entre conservación e innovación, teniendo presente el concepto de “cambio aceptable” y este último concepto será objeto de profundo debate y controversia.

5. Conclusiones

Este trabajo muestra las implicancias de la incorporación urbana de generación de energía renovable, desde perspectivas; energética y urbano-arquitectónica. El debate está en torno a valores estéticos frente a valores de conservación del medio ambiente, ambos muy trascendentes en contextos de estas características. El entorno analizado tiene significativo potencial tanto de autoabastecimiento solar y al mismo tiempo, condiciones arquitectónicas, que restringirían este potencial. Este trabajo contribuye a la urgente necesidad de soluciones al cambio climático, a la contaminación y el recorte de suelo disponible para la producción energética e incluso como solución económica a futuro. Entonces es necesario proponer y analizar opciones en este tipo de entornos. La metodología propuesta puede aplicarse a otras localidades con similares condiciones y restricciones.

Los resultados señalan que, en la localidad de estudio, la integración a gran escala de placas de sílice cristalino de manera superpuesta en los tejados, suple en exceso la demanda eléctrica, entre cuatro y veinte veces en los casos estudiados. Si bien es generación excesiva para la demanda, podría absorber otros consumos urbanos impactantes como el transporte o demandas térmicas de las propias edificaciones. Demandas actualmente suplidas a base de combustibles fósiles.

Desde la perspectiva arquitectónica, se ha demostrado que en perspectiva y a escala urbana, las placas solares no serían perceptibles cuando las edificaciones poseen más de dos plantas, pero, en edificaciones de una planta o desde perspectivas distantes y aéreas el impacto sí es significativo. Sin embargo, las edificaciones antiguas y nuevas, incluso muchas de la tipología analizada, a lo largo del tiempo han ido incorporando elementos tecnológicos necesarios para el confort como chimeneas, antenas o cableados.

Las tejas PV alcanzarían a cubrir una demanda inferior a la estimada con placas de sílice, aunque también con excedentes sustanciales, entre dos y nueve veces el consumo actual. Desde la perspectiva de calle y por escala urbana, a pesar de haberse creado para mimetización se observa afectación de imagen en edificaciones de una planta. La tonalidad pareja de la teja PV, con aspecto más regular, sin la pátina característica y diferente geometría de onda contrastan con la teja original. La teja PV considera aspectos como tonalidades distintas que simulan variaciones cromáticas características del quemado de la teja artesanal, en consecuencia en perspectivas y vistas lejanas, el impacto es menor.

Es trabajo futuro el someter a juicio de expertos los resultados aquí estimados. El uso de técnicas multi-criterio que incluyan aspectos cualitativos o cuantitativos podría ayudar a definir políticas y determinar condiciones para favorecer la implantación no solo en ambientes urbanos sino en edificaciones con valor histórico o estético.

Este análisis además contribuye a focalizar el estudio en aspectos que han sido hasta el momento relegados. Pues no solo los condicionamientos de la red deben estudiarse para la adopción de generación distribuida, sino aspectos arquitectónicos en edificaciones sensibles. En el caso ecuatoriano se dispone de un recurso energético limpio y estable, óptimo respecto a cualquier otra latitud. Se debe abordar, por tanto, aspectos políticos económicos que ahora son limitantes sociales para la promoción de configuraciones urbanas que utilicen recursos endógenos.

Se advierte que existen ventajas y desventajas al contraponer eficiencia para suplir energía o mantener los valores patrimoniales de la zona de estudio. Los tejados existentes son el resultado lógico de una tecnología pasada, útil para la época en que fueron concebidos, el color rojo del ladrillo cocido es el resultado de su propia fabricación. ¿Acaso lo más lícito para el futuro es considerar los PV con aspecto de tales en integración arquitectónica?, es decir, mostrándose como tales, con el formato técnico adecuado que permita un adecuado rendimiento e instalación, considerando el lenguaje de esta materialidad. Así los techos cumplirían un doble objetivo, cobertura y producción energética, con color y textura consecuente de la tecnología PV.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de investigación: “Abastecimiento energético renovable desde recursos endógenos, en ciudades de países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano. Caso de Estudio Cuenca, Ecuador” y contribuye al proyecto: “Determinación de potencial de integración arquitectónica de captación solar activa en tipología constructiva de baja altura en centro patrimonial de ciudades andinas. Caso de Estudio

Cuenca, Ecuador". Se agradece a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca por financiar este trabajo, y a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, por las facilidades prestadas en el montaje de equipos de medición.

Contribuciones de los autores: El primer autor idealiza y desarrolla la metodología, además revisa y coordina simulaciones y fotomontajes; desarrolla discusión y conclusiones. El segundo autor tiene a cargo el levantamiento de información, diagramación de casos de estudio, estimación de porcentaje y horario de soleamiento y sombras y fotomontajes. El tercer autor desarrolla la introducción y aspectos teóricos desde la perspectiva de conservación patrimonial, discutiendo desde la perspectiva patrimonial. El cuarto autor contribuye con la caracterización de las demandas, colocación de lectores horarios y en simulaciones en SAM y en ejecución y revisión de texto. El quinto autor contribuye con la información de las demandas globales urbanas de las 80 manzanas de emplazamiento, y la colocación y gestión de medidores horarios; es además representante de la empresa local de distribución, interesada en la elaboración del estudio.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

ASSOULINE, D., MOHAJERI, N. y SCARTEZZINI, J.-L. *Quantifying rooftop photovoltaic solar energy potential: A machine learning approach*. En: *Solar Energy* [en línea] 2017. vol. 141, pp. 278-296. ISSN 0038092X. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.045>> Disponible en: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X16305850>>

ATTIA, S. *Towards regenerative and positive impact architecture: A comparison of two net zero energy buildings*. En: *Sustainable Cities and Society* [en línea] 2016. vol. 26, pp. 393-406. ISSN 22106707. DOI <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.017>> Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.017>>

BARBOS, G., BOLINGER, M., BRINKMAN, G., COGGESHAL, C., COR, K., DENHOL, P. y DRURY, E. *Solar Power Environmental Impacts and Siting Challenges*. En: *SunShot Vision Study* [en línea] February 2012, pp. 157-191. Disponible en: <https://energy.gov/sites/prod/files/2014/01/f7/47927_chapter7.pdf>

BARRAGÁN-ESCANDÓN, A., TERRADOS-CEPEDA, J. y ZALAMEA-LEÓN, E. *The Role of Renewable Energy in the Promotion of Circular Urban Metabolism*. En: *Sustainability*, 2017. vol. 9, no. 12, pp. 2341. ISSN 2071-1050. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/su9122341>>

BARRAGÁN, E.A., TERRADOS, J., ZALAMEA, E. y ARIAS, P. 2017. *Electricity production using renewable resources in urban centres*. En: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. In Press. DOI <<http://dx.doi.org/10.1680/jener.17.00003>>

BERARDINIS, P. De, ROTILIO, M. y CAPANNOLO, L. *Energy and Sustainable Strategies in the Renovation of Existing Buildings: An Italian Case Study*. En: Sustainability [en línea] 2017. vol. 9, no. 8, pp. 1472. ISSN 2071-1050. DOI <<http://dx.doi.org/10.3390/su9081472>> Disponible en: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1472>>

BOUGIATIOTI, F. y MICHAEL, A. *The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region*. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea] 2015. vol. 47, pp. 966-982. ISSN 13640321. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.030>> Disponible en: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001835>>

BUCKLEY, K., COOKE, S. y FAYAD, S. 2016. *Using the HUL to re-imagine Ballarat*. En: W.L. SOPHIA LABADI (ed.), Urban Heritage, Development and Sustainability: International Frameworks, National and Local Governance. New York: Routledge, pp. 93-106. ISBN 978-1-138-84573-2.

BYRNE, J., TAMINIAU, J., SEO, J., LEE, J. y SHIN, S. *Are solar cities feasible? A review of current research*. En: International Journal of Urban Sciences [en línea] 2017. vol. 0, no. 0, pp. 1-18. ISSN 1226-5934. DOI <<http://dx.doi.org/10.1080/12265934.2017.1331750>> Disponible en: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/12265934.2017.1331750>>

CASSAR, M. 2009. *Sustainable Heritage: Challenges and Strategies for the Twenty-First Century*. En: APT bulletin: journal of preservation technology, vol. 40, no. 1, pp. 3-11.

CELLURA, M., CIULLA, G., GUARINO, F. y LONGO, S. *Redesign of a Rural Building in a Heritage Site in Italy: Towards the Net Zero Energy Target*. En: Buildings [en línea] 2017. vol. 7, no. 3, pp. 68. ISSN 2075-5309. DOI <<http://dx.doi.org/10.3390/buildings7030068>> Disponible en: <<http://www.mdpi.com/2075-5309/7/3/68>>

Charter for the conservation of historic towns and urban areas (Washington Charter), 1987. 1987. S.l.: s.n.

CINNAMON, B. *When Can I Get Solar Shingles?* [en línea] 2016. San Jose, CA. Disponible en: <<http://cinnamonsolar.com/when-can-i-get-solar-shingles/>>

CINNAMON, B. 2017. *Tesla Solar Roof Tiles – Customer and Installer Perspectives*. [en línea]. Campbell, CA. Disponible en: <<http://cinnamon.energy/tesla-solar-roof-tiles/>>

CLIMATEDATA-ORG. *CLIMATE: CUENCA*. [en línea] 2018. [Fecha de consulta: 2 enero 2018]. Disponible en: <<https://es.climate-data.org/location/875185/>>

CROCKFORD, D. *Sustaining Our Heritage: The Way Forward for Energy-Efficient Historic Housing Stock*. En: The Historic Environment: Policy & Practice, 2014. vol. 5, no. 2, pp. 196-209. ISSN 1756-7505. DOI <<http://dx.doi.org/10.1179/1756750514Z.00000000051>>

D'ORAZIO, M., DI PERNA, C. y DI GIUSEPPE, E. *Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate*. En: *Energy Procedia* [en línea] 2013. vol. 42, pp. 183-192. ISSN 18766102. DOI <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.018>> Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.018>>

DISCH, R. *PlusEnergy - The Manifesto*. [en línea] 2010. [Consulta: 8 noviembre 2017]. Disponible: <http://www.rolfdisch.de/files/pdf/12_PLUSENERGIE_EIN_MANIFEST_6_englisch.pdf>

FREITAS, S., REINHART, C. y BRITO, M. C. *Minimizing storage needs for large scale photovoltaics in the urban environment*. En: *Solar Energy* [en línea] 2018. vol. 159, no. September 2017, pp. 375-389. ISSN 0038092X. DOI <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.011>> Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.011>>

GARCÍA ÁLVARADO, R. y GONZÁLEZ, A. *Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro - sur de Chile 1*. En: *Revista INVI* [en línea] 2014. vol. 29, no. 80, pp. 111-141. Disponible en: <<http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/790/1126>>

HAN, S., ZHANG, B., SUN, X., HAN, S. y HÖÖK, M. *China's Energy Transition in the Power and Transport Sectors from a Substitution Perspective*. En: *Energies* [en línea] 2017. vol. 10, no. 5, pp. 600. ISSN 1996-1073. DOI <<http://dx.doi.org/10.3390/en10050600>> Disponible en: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/10/5/600>>

IEA 2009. *Cities, Towns & Renewable Energy Cities, Towns*. Paris: IEA/OECD.

IEA SHC TASK 41. *SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE integration criteria and guidelines*. English [en línea]. 2012. S.l.: Disponible en: <<http://leso2.epfl.ch/solar/pdf/SolThePh.pdf>>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY Statics. *ENERGY STATISTICS* [en línea] 2015. [Consulta: 19 noviembre 2017]. Disponible en: <<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/>>

IZQUIERDO, I. y PACHECO, G. *Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca* [en línea]. 2017. S.l.: Universidad de Cuenca. Disponible en: <<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27386>>

JARAMILLO, C. *Estudio de metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca* [en línea]. 2017. S.l.: Universidad Politecnica Salesiana. Disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14260/1/UPS-CT007009.pdf>>

KAAN, H. y REIJENGA, T. *Photovoltaics in an architectural context*. En: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2004. vol. 12, no. 6, pp. 395-408. ISSN 10627995. DOI <<http://dx.doi.org/10.1002/pip.554>>

KARLESSI, T., KAMPELIS, N. y KOLOKOTSA, D. 2017. *The concept of smart and NZEB buildings and the integrated design approach*. En: *Procedia Engineering* [en línea], vol. 180, pp. 1316-1325. ISSN 18777058. DOI <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.294>> Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.294>>

KULEVIČIUS, S. 2014. In Search for Cultural Heritage Authenticity Definition: History and Current Issues (EN). *Historical and Cultural Studies / Історико-культурні студії*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6.

MIKKOLA, J., SALPAKARI, J., YPYÄ, J. y LUND, P. *Increasing the Solar Share through Smart Matching of PV, Load and Energy Infrastructure in Urban Context*. En: *U. BETANCOURT y T. ACKERMANN (eds.), 4th Solar Integration Workshop* [en línea]. 2014. Berlin, Germany: Energynautics GmbH, Disponible en: <http://solarintegrationworkshop.org/wp-content/uploads/sites/12/2016/01/SIW14_Proceedings_Content_Overview.pdf>

MUNICIPALIDAD DE CUENCA, *Ordenanza para la gestión y conservación de las áreas históricas y patrimoniales del cantón cuenca*. 2010. S.l.: s.n. 2010.

NAVARRA, D., MOLEN, P.V.A.N.D.E.R. y MOLEN, V.A.N.D.E.R. *Ace 24 Governance in View of Climate Change*. 2013. vol. 8, no. 24, pp. 59-72. DOI <<http://dx.doi.org/10.5821/ace.8.24.2716>>

NREL 2018. *System Advisor Model (SAM)*. U.S. Department of Energy [en línea] 2018 [Consulta: 12 junio 2018]. Disponible en: <<https://sam.nrel.gov>>

OP 'T VELD, P. y VAN DER AA, A. *Driving forces of energy-related behaviour in residential buildings*. En: *WSB2014* (ed.) Barcelona: GCNe, pp. 24-33. 2014.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. *Convención Marco sobre el Cambio Climático* [en línea]. 2015. Francia: s.n. Disponible en: <http://moodleubb.ubiobio.cl/pluginfile.php/142262/mod_resource/content/1/09s.pdf>

PEAN, T., ORTIZ, J. y SALOM, J. *Impact of Demand-Side Management on Thermal Comfort and Energy Costs in a Residential nZEB*. En: *Buildings* [en línea] 2017. vol. 7, no. 2, pp. 37. ISSN 2075-5309. DOI <<http://dx.doi.org/10.3390/buildings7020037>> Disponible en: <<http://www.mdpi.com/2075-5309/7/2/37>>

POGGI, F., FIRMINO, A. y AMADO, M. *Planning renewable energy in rural areas: impacts on occupation and land use*. En: *Energy*, July 2018, vol. 155, n. 15, pp. 630-640. ISSN 0360-5442. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.009>>

PONCE-JARA, M. A., CASTRO, M., PELAEZ-SAMANIEGO, M., ESPINOZA-ABAD, J. L. y RUIZ, E. *Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007 – 2017 decade*. En: *Energy Policy* [en línea] Febrero 2018. vol. 113, pp. 513-522. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>> Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517307826>>

RYAN, C., GAZIULUSOY, I., MCCORMICK, K. y TRUDGEON, M. *Virtual City Experimentation: A Critical Role for Design Visioning*. En: *The Experimental city* [en línea] 2016, pp. 1-18. Routledge. Disponible en: <<https://www.coursera.org/learn/gte-sustainable-cities/supplement/vrQtm/readings-week-4>>

SCOGNAMIGLIO, A., MUNNO, E. Di, TEMPORIN, V. y PALUMBO, M. L. *Use of photovoltaics in historical buildings: an architectural approach*. En: *24h European Photovoltaic Solar Energy Conference* [en línea] 2009. Hamburg: s.n., ISBN 9788578110796. Disponible en: <http://www.inarch.it/Data/inarch/Upload/Download/Intervento_Scognamiglio.pdf>

SHUKLA, A. K., SUDHAKAR, K. y BAREDAR, P. *A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system*. En: *Energy and Buildings* [en línea] 2016. vol. 128, pp. 99-110. ISSN 03787788. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.077>> Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.077>>

SMITH, M. K., WAMSER, C. C., JAMES, K. E., MOODY, S., SAILOR, D. J. y ROSENSTIEL, T. N. *Effects of Natural and Manual Cleaning on Photovoltaic Output*. 2013. En: *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme*, vol. 135, no. August 2013, pp. 4. ISSN 0199-6231. DOI <[https://doi.org/DOI 10.1115/1.4023927](https://doi.org/DOI%2010.1115/1.4023927)>

TESLA. *Solar Roof*. [en línea] 2018. [Fecha de consulta: 1 mayo 2018]. Disponible en: <<https://www.tesla.com/solarroof>>

TORCELLINI, P., PLESS, S., DERU, M. y CRAWLEY, D. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. En: *ACEEE Summer Study Pacific Grove* [en línea], 2006. pp. 15. ISSN 14710846. DOI <[https://doi.org/10.1016/S1471-0846\(02\)80045-2](https://doi.org/10.1016/S1471-0846(02)80045-2)> Disponible en: <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>>

VIZHÑAY, J. M. *Análisis de la incidencia del uso de cocinas eléctricas de inducción*. [en línea]. 2013. Cuenca. Disponible en: <<http://jorgepatriciomunoz.blogspot.com/2014/04/analisis-de-incidencia-del-uso-de.html>>

WEGERTSEDER, P., LUND, P., MIKKOLA, J. y GARCÍA ALVARADO, R. *Combining solar resource mapping and energy system integration methods for realistic valuation of urban solar energy potential*. En: *Solar Energy* [en línea] 2016. vol. 135, pp. 325-336. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2016.05.061. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.061>.

YANG, H.-J., LIM, S.-Y. y YOO, S.-H. 2017. The Environmental Costs of Photovoltaic Power Plants in South Korea: A Choice Experiment Study. *Sustainability* [en línea], vol. 9, no. 10, pp. 1773. ISSN 2071-1050. DOI <<https://doi.org/10.3390/su9101773>> Disponible en: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1773>>

ZALAMEA-LEÓN, E. y QUESADA-MOLINA, F. *Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales*. En: *Revista de Arquitectura* [en línea] 2017. vol. 19, no. 1, pp. 1-15. DOI <<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1018>> Disponible en: <http://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatolica/revistas_ucatolica/index.php/RevArq/article/view/1018/1375>

ZALAMEA-LEÓN, E. F. *Potencial de recolección solar activa integrada en vivienda unifamiliar. Caso de estudio Concepción, Chile*. 2016. S.l.: Universidad del Bio Bio.

ZALAMEA, E. F., GARCÍA, R. y SÁNCHEZ, R. *Influencia de la Geometría de techumbre de Vivienda Unifamiliar para Integración de Energía Solar Activa(BIPVTa)*. En: ACE: Architecture, City and Environment [en línea] Febrero 2016, vol. 10, no. 30, pp. 57-74. DOI: <<http://dx.doi.org/10.5821/ace.10.30.3979>> Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/handle/2117/84265>>