

Una vivienda altamente autosostenible

Cordero, Raúl^(1,*)

(*) Departamento de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Construcción Arquitectónica y eficiencia energética, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, raul.cordero@ucuenca.edu.ec, +5934051000.

Resumen Una casa autosustentable es aquella capaz de generar y autoabastecerse por sí sola de energía para funcionar de forma autónoma, es decir, sin depender de las redes de suministro exterior y tomando en cuenta que al ser independiente se alimenta de energías renovables para su consumo interno. Este trabajo describe y analiza la construcción de una casa autosustentable en el cantón Paute-Ecuador. El objetivo de esta construcción fue lograr la auto-sostenibilidad en varios aspectos como el técnico constructivo, formas arquitectónicas creativas y funcionales, uso de energías alternativas y producción de alimentos. Este trabajo pretende evidenciar una vivienda única e innovadora, destinada al disfrute de quien la habite. Como consecuencia de las varias tecnologías incluidas en esta casa, como cubiertas vegetales, ventilación cruzada, paneles solares, entre otros, es satisfactorio decir que esta casa está dando un gran paso para lograr su sustentabilidad, especialmente en nuestra región en donde los ejemplos que demuestren sustentabilidad son casi nulos. Finalmente, la sostenibilidad incluye el bienestar humano y la satisfacción emocional, y esta casa ha hecho un esfuerzo importante en esa búsqueda.

Palabras clave autosustentable, sostenibilidad, revestimientos vegetales, ventilación cruzada, energías renovables.

1 Introducción

El mundo industrializado principalmente se encuentra preocupado por la destrucción que ha causado en el planeta, esto ha originado una serie de reflexiones e intentos por frenar y si fuera posible revertir ese daño. En los países desarrollados, “el movimiento verde se desarrolla en los años 70 con especial énfasis en la conservación de la energía y la eficiencia energética. En los 80 crece la preocupación acerca del impacto que produce la operación de un edificio y la fabricación de los materiales de construcción sobre el medioambiente natural.” (Macías y Navarro 2010)

En esos países surge una conciencia ecológica de conservar recursos y ambiente, y la repetida frase “Desarrollo Sostenible aquel que satisface las necesidades del presente, sin crear problemas medioambientales, y sin comprometer las demandas de las futuras generaciones” (Lamela, 2005) que se refiere al consumo energético y de recursos, así que hoy se plantea por ejemplo “el ahorro energético, (...) en prácticamente todos los ámbitos” (Asrar, Hippias, & Kanemasu, 1984).

En ese ámbito existen cientos de iniciativas, investigaciones y prácticas, algunas de ellas intentan conseguir la casa y la arquitectura autosustentable. Esta casa en particular emplea recursos bioclimáticos como ventilaciones cruzadas y otros recursos alternativos adicionales como cubiertas verdes, reduciendo así, aún más la necesidad de energías para su climatización.

Por otra parte, dicha vivienda reutiliza también los residuos, sobre todo los orgánicos, convirtiéndolos en abono o compost, lo que vincula el concepto de ahorro de energía con el de una agricultura sin químicos, que es parte del concepto de auto-sustentabilidad de esta casa.

Como finalidad, la casa pretende estar de acuerdo con las aspiraciones de creatividad de sus propietarios que deseaban una construcción de este estilo, pues habían visto algo similar e investigaron hasta encontrar su autor. Igualmente escogieron la ubicación en una colina con vistas espectaculares del valle y de sus propios cultivos. En realidad el concepto de sostenibilidad involucra el bienestar del ser humano como uno de sus pilares, y este a su vez involucra el bienestar psicológico y la búsqueda de sus ilusiones estéticas emocionales, y la expresión de sus preferencias.

El objetivo de esta construcción fue lograr la auto-sostenibilidad en varios aspectos.

El camino seguido fue:

- o Entender las necesidades y deseos de una casa vacacional de una familia en un lugar semi-cálido con una excelente vista, encontrar un arquitecto que entendiera sus gustos y sus deseos de sostenibilidad.
- o Barajar opciones de estilo que se puedan adaptar a los requerimientos de sustentabilidad y planificar la casa.
- o Construir esta obra poco frecuente en un medio donde no se han desarrollado escasos ejemplos de este tipo, lo cual representa un reto.
- o Anexarle las tecnologías alternativas.
- o Crear un huerto biosustentable.
- o Medir sus resultados por la satisfacción de sus usuarios.

2 Ubicación y datos generales

La casa en estudio se encuentra emplazada en el cantón Paute ubicado en el noreste de la provincia del Azuay, en el sector de Uzhuput, parroquia Chicán, aproximadamente a cuarenta y cinco kilómetros de la *Capital de la Provincia "Cuenca"*. El terreno posee una extensión de 2700 m², y está a 2100 m.s.n.m, su clima varía entre 15° C a 26° C., permite la producción de una gran variedad de flores y frutos. Un lugar privilegiado ya que por su clima y paisaje se ha constituido en un lugar tradicionalmente turístico.

2.1 El partido arquitectónico

La sostenibilidad completa es también el bienestar humano, que incluye también aspiraciones emocionales. Los propietarios son dos esposos científicos, un ingeniero ecuatoriano master especialista en sistemas eólicos y fotovoltaicos, así como en sostenibilidad y ahorro energético. El otro dueño es una ingeniera italiana experta en biocultivos agrícolas sin químicos, la combinación perfecta para este resultado. Tienen ya una casa en la ciudad de Cuenca, cerca de las universidades donde son profesores, su casa es diferente y está hecha de adobe, pero asesorados por el arquitecto autor de este artículo buscan algo diferente para su casa de fin de semana. Después de mirar un proyecto construido por el autor, una construcción de cascarones de Hormigón Armado experimental y cubiertas vegetales, los dueños deciden construir su casa basada en este concepto. La construcción de cascarones fue parte de una investigación realizada en la Universidad de Cuenca un par de décadas atrás.



Fig. 1 Proyecto "Cascarones" con cubierta vegetal en la Universidad de Cuenca

De allí surge el acuerdo, más aun con la revisión de casas como la de Pier Cardan del arquitecto Anti Lovac, claro que, con menos presupuesto pero con más emociones y con el anhelo de llevar a cabo propuestas como: las cubiertas verdes, los sistemas fotovoltaicos, los eólicos, los cultivos orgánicos, una piscina con algas que purifican el agua sin químicos etc...

Se plantea que las casas autosuficientes se autoabastecen de energías renovables, como la solar mediante paneles térmicos para calentar el agua, paneles fotovoltaicos o los novedosos y ligeros termodinámicos que captan electricidad para calefacción y climatización, de energía eólica, y de biomasa, captada a través de la materia orgánica.

Las casas autosuficientes deben ser energéticamente eficientes, pero esa eficiencia supone disponer de una altísima conducta térmica, por lo que deben proteger su interior de oscilaciones de temperatura con aislamientos térmicos y la instalación de fachadas ventiladas que las convierten en viviendas maxi-ahorradoras. Suelen incluir una gestión energética inteligente, con sistemas domóticas, para controlar constantemente el consumo y el gasto interior.

Pero todo eso conciliando el presupuesto, se concreta en una casa de ferrocemento de 150 m², con una orientación que prioriza la vista al paisaje, dado lo benévolo del clima templado.

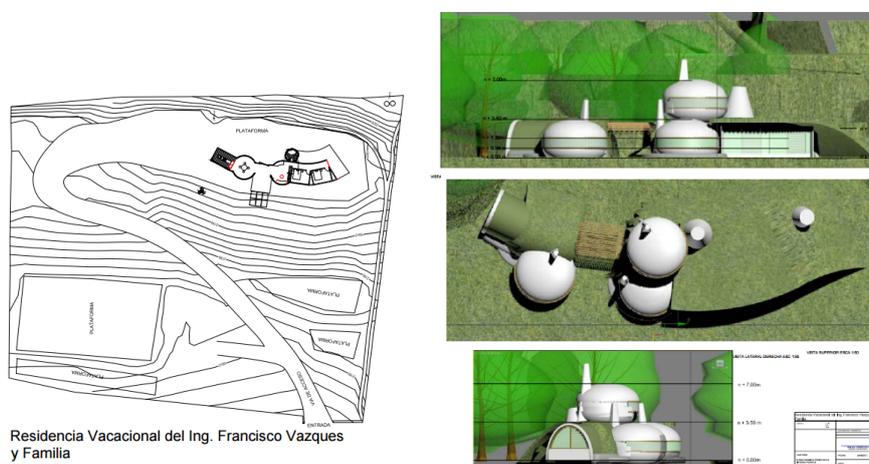


Fig. 2 Emplazamiento y forma de la vivienda (Archivo de autor)



Fig. 3 Resultado de la vivienda (Foto de autor)

3 Aspectos arquitectónicos

La forma de la casa parte del concepto de una estructura de doble curvatura altamente eficiente como las estructuras naturales, como el caparazón de la tortuga o el esqueleto de los insectos, por solo mencionar un par de casos.

Con el solo ejemplo de una hoja de papel plana o con un ligero arqueado, se puede evidenciar el efecto de la curvatura en la resistencia estructural de los elementos, sin aumentar su material. Este efecto aumenta exponencialmente si tenemos superficies de doble curvatura.

Es muy frecuente el ejemplo de la resistencia del huevo que soporta con un mínimo espesor, pesos más allá de lo sospechado. En realidad, siempre que la naturaleza construye una superficie resistente escoge una de doble curvatura.

Esto genera espacios interiores de formas sinuosas relajantes y exóticas. Así mismo, efectos interesantes son los acústicos que por la forma del espacio y sus dimensiones en la práctica actúan como amplificadores de la música o de la comunicación verbal.



Fig. 4 Doble curvatura (Foto de autor)

La técnica constructiva es de ferrocemento, y está constituida por varillas de 10 mm de sección con límite de fluencia de 2400 Kg cm², con mallas de enlucido que reciben un mortero 1-3 de cemento arena en capas aproximadas de 2 cm. por cada lado y dos capas de pintura elastomérica.

El ferrocemento a diferencia de los cascarones de hormigón armado ahorra el costo de encofrados pero la forma se la tiene que dar con guías en obra y el resultado es menos perfecto pero más económico.

Funcionalmente la casa tiene sala de juegos, comedor, cocina, sala de estar, dos dormitorios en planta baja y el master en la planta alta. Todos los ambientes tienen una vista panorámica al valle mediante ventanas curvas que se abren hacia arriba,

y al hacerlo crean ventilaciones cruzadas, y nuevos ambientes como se puede apreciar en la fotografía.



Fig. 5 Ventanas abatibles (Foto de autor)



Fig. 6 Vista interior (Foto de autor)

4 Tecnología bioclimática o ecosostenible

Si bien la casa tiene prácticamente todos los recursos de tecnologías alternativas, en ella también se ha aplicado un concepto nuevo como bioclimática o eco sostenible, el uso de ventanales para el manejo de los agentes externos e internos del clima, la ventilación, la iluminación, la vista, la estética y el paisaje como parte de la arquitectura.

4.1 Ventilación cruzada

Ventilación cruzada es un concepto utilizado por la Arquitectura bioclimática, para definir un modo de ventilación correcta en los edificios.

Dependiendo de cada sitio y de la hora del día hay vientos característicos que generan zonas de alta presión y baja presión a barlovento. Esto implica favorecer una ventilación para que cuando estén abiertas las ventanas y puertas interiores se ventilen homogéneamente todas las habitaciones de la vivienda.

4.2 Revestimientos vegetales

Hace algunas décadas las cubiertas vegetales eran una novedad e innovación, que si bien tenía algunos antecedentes en la arquitectura popular e histórica de algunos países del trópico norte, en realidad eran poco comunes en nuestra época.

En aquellos momentos se realizaron proyectos de investigación y varias tesis de grado de Arquitectura para conocer mejor y de forma técnica, desde sus pesos y su manejo agrícola, hasta sus capacidades de aislamiento térmico.

Hoy el uso y el diseño con cubiertas vegetales está más extendido y cada vez se ven más proyectos que las incorporan en su diseño. Incluso construcciones tradicionales las colocan en sus terrazas por tener un espacio más natural. Estos recubrimientos traen varios beneficios como la lenta evacuación de aguas lluvias, y sobre todo el aislamiento térmico que producen. (La tabla 1 incluye datos que muestran la temperatura alcanzada en el interior de la casa de estudio)

Cabe mencionar que es una alternativa que contribuye al paisaje natural y al rescate del verde que muchas veces arquitectura destruye, permitiendo una mejor relación del proyecto con el paisaje que lo rodea.



Fig. 7 Cubierta vegetal en la parte frontal (Foto de autor)



Fig. 8 Cubierta vegetal en la parte posterior (Foto de autor)

5 El confort térmico

Las pruebas de clima interior mostraron un comportamiento correcto del clima buscado dentro de la casa, además de la experiencia vivencial que la ratifican sus habitantes.

Tabla 1 Temperatura de las paredes, ventanas y ambientes de la casa (C°)

n.	Adquisición (Fecha y hora)	Tw (C)	Tg (C)	Ta (C)
1	Date=2015/12/02 10:11:03	14,6	19,8	19,9
2	Date=2015/12/02 10:11:18	14,6	19,8	19,9
3	Date=2015/12/02 10:11:33	14,6	19,8	19,9
4	Date=2015/12/02 10:11:48	14,6	19,8	19,9
5	Date=2015/12/02 10:12:03	14,6	19,8	19,9
6	Date=2015/12/02 10:12:18	14,6	19,8	19,9
7	Date=2015/12/02 10:12:33	14,6	19,8	19,9
8	Date=2015/12/02 10:12:48	14,6	19,8	19,9
9	Date=2015/12/02 10:13:03	14,6	19,8	19,9
10	Date=2015/12/02 10:13:18	14,5	19,8	19,9

Con alrededor de 300 datos en cada día se infieren algunas observaciones:

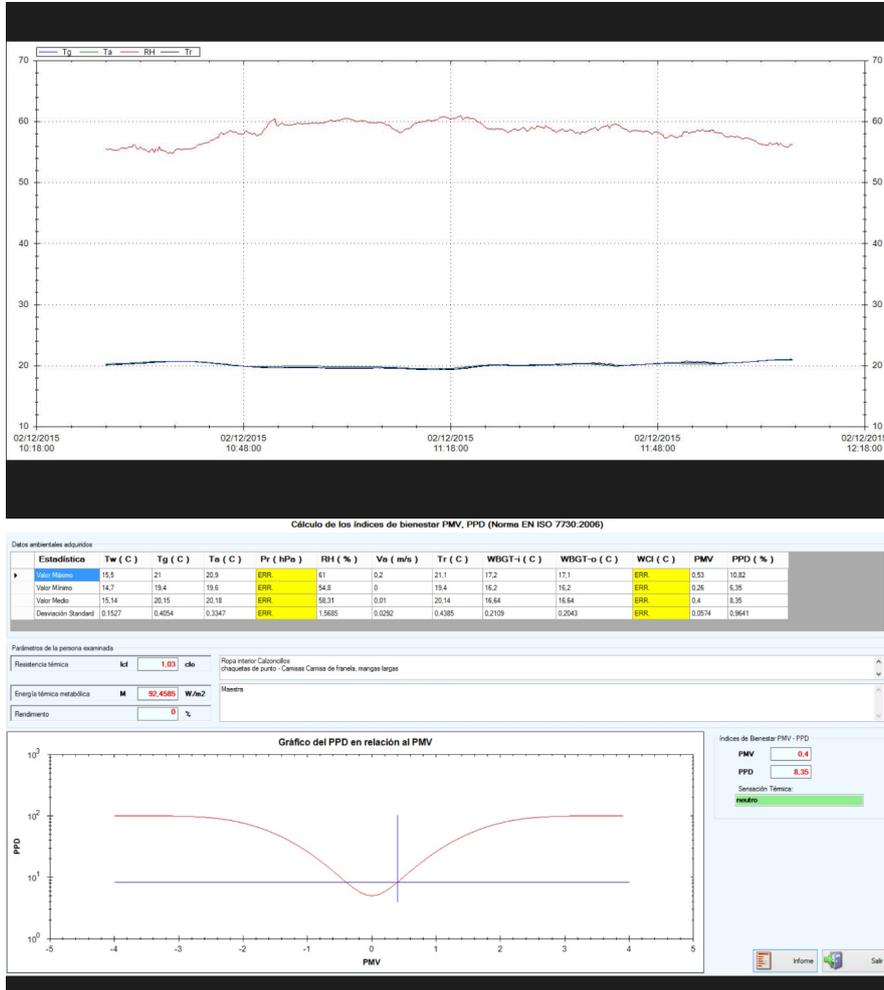


Fig. 9 Gráfico del PPD en relación al PMV

Según Edison Castillo Carchipulla, (Jefe de departamento de Bio climatismo, Facultad de Arquitectura) los datos que contienen la resistencia térmica (1,03 clo) y la energía térmica metabólica (92.4585 W/m²), generando un PMV de 0,4 y un PPD de 8.35, y en el análisis del diagrama de Fanger se puede ver que se cuenta con una sensación térmica neutra, que nos representa ni frío ni calor, que para el rango de medición no se genera inconformidad térmica.

Se debe recordar que el rango de medición puede variar, porque la cantidad de clothes ingresados pueden diferir y esto genera información diferente al igual que la energía térmica metabólica. También cabe anotar que la ventilación de puertas genera una variación del confort interior, que puede manejarse a voluntad.

5.1 Aprovechamiento solar térmico

Este sistema aprovecha la radiación del sol mediante un colector solar para calentar un fluido. De ahí, que el calor absorbido por el colector solar sea transferido al agua y de esta forma ya puede ser directamente usada o almacenada.

En nuestro caso, la vivienda ha incorporado este sistema de aprovechamiento solar térmico. El colector solar diseñado absorbe la energía procedente del Sol a través de los diferentes elementos que lo componen. Está compuesto por una caja de madera cubierta por un plástico que provoca el denominado efecto invernadero. En el interior de la caja se coloca un absorbedor que transforma la radiación solar en calor. El agua circula por unos tubos adheridos al absorbedor y elevan su temperatura.

El colector solar se ha colocado directamente sobre la techumbre de la vivienda sin emplear ninguna estructura adicional. El agua caliente producida por el colector solar varía en función de diferentes elementos: la posición, la zona geográfica, la radiación solar diaria, la inclinación, la orientación, entre otros aspectos. La orientación en la que se colocó el colector solar está orientada al sur, ya que es la posición más ventajosa. El tejado tiene una inclinación de 25° respecto al plano horizontal. Debemos tener cuidado para que en ningún momento haya sombras que cubran el colector de los rayos del Sol.

El sistema de calentamiento de agua está compuesto por dos paneles de 2 metros cuadrados cada uno, y un tanque de almacenamiento de 200 L. Y se tiene un sistema auxiliar compuesto por unas niquelinas que por el momento no está conectado pero se podría conectar al eólico cuando ya las baterías están cargadas y tengo exceso de energía podría alimentar una niquelina, pero esa instalación aún no está realizada.



Fig. 10 Ubicación del colector solar (Foto de autor)

6 Sistema de generación de energía eléctrica

La energía eólica y la energía solar pertenecen a las energías renovables, ambas tienen su origen en la radiación solar, aunque la energía eólica de una forma indirecta. El sistema planteado, conforma un sistema ecológico y sostenible, y contribuye a escala real a la autosuficiencia energética de las viviendas, a la lucha contra la contaminación, el cambio climático, entre otras muchas más aportaciones.

En nuestro caso, el sistema planteado, está basado en el diseño de una veleta eólica y paneles fotovoltaicos. Con la energía eléctrica suministrada por estas fuentes de energía renovables, iluminamos la vivienda mediante LED's.

De esta manera, aseguramos la iluminación y servicios de la vivienda sostenible, incluso en condiciones ambientales poco favorables, pues la electricidad puede ser generada a partir del sol o el viento.



Fig. 11 Ubicación del aerogenerador (Foto de autor)



Fig. 12 Paneles solares (Foto de autor)

En detalle el sistema de generación eléctrico de la casa es híbrido, es decir está compuesto por un sistema fotovoltaico más un sistema eólico, que está compuesto por un generador eólico que tiene 500 vatios y tiene tres aspas, (un triaspa), el diámetro del aspa es de 1,5m.

El sistema híbrido alimentado por la parte fotovoltaica más un regulador que controla la entrada y salida de energía del sistema eólico hacia las baterías, y de las baterías hacia la instalación de la casa. Tiene un sistema cuando las baterías están cargadas, el exceso de energía puede ir a una niquelina para calentar agua. Además, tiene un sistema de generación eléctrica para la refrigeradora que está compuesta por:

- 2 paneles de 100 vatios
- Una batería de 150 amperios – hora
- Una refrigeradora pequeña (4 pies cúbicos)
- El sistema de alimentación de la refrigeradora es independiente

La casa tiene un sistema energético de la siguiente manera:

- 8 paneles de 100 vatios para iluminación y fuerza de la casa.
- Una batería de 750 amperios – hora.
- 2 reguladores de 30 amperios cada uno
- 3 inversores (aparatos que pasan de corriente continua a corriente alterna)
Los inversores de corriente son 3, 2 de 250 y 1 de 400 vatios (el más grande)

7 Tratamiento de desechos

Uno de los objetivos principales de una casa autosuficiente es generar apenas basura. Y si la crean, deben reciclarla y transformarla. En el caso de los residuos orgánicos se reciclan diariamente con compostadores que más tarde se transformarán en compost y abono para el huerto y el jardín

La casa posee también sistemas de tratamiento de desechos sólidos como un Biodigestor, y se complementa con una agricultura sin fungicidas ni abonos químicos pues, como se mencionó inicialmente, los propietarios son dos científicos, el uno ingeniero Master en sistemas alternativos de energía, y la esposa master en agricultura sostenible.

Se tiene un sistema compuesto por un biodigestor que procesa las aguas servidas y nos da un lixiviado que es bastante bueno y con ese alimentamos y abonamos la cancha. También nos da abono orgánico sólido o pastoso que le ponemos a secar y en el biodigestor puede ayudar, no utilizamos eso para los cultivos de las hortalizas, preferimos ocuparlo solamente para la cancha de fútbol y para el césped.

La casa tiene dos composteras grandes de 7 metros cuadrados cada una, ahí se prepara el compost y el biol el cual se realiza con unos tanques plásticos que se tiene en la vivienda.

Utilizan compost, humus.

7 Agricultura orgánica

Toda la propiedad está construida en una ladera que está terraceada al estilo Inca (civilización ancestral), la cual funciona de la mejor manera. Se va insertando materia orgánica en cada terraza, y la producción agrícola va en aumento.

Uno de los principales elementos que se busca en esta vivienda es la auto-sustentabilidad tanto energética como alimenticia, causando el menor impacto ambiental posible y teniendo productos sanos. Entonces trabajan con cultivos estrictamente orgánicos, sin productos químicos.

Para el cultivo del tomate tienen un pequeño invernadero en plástico, que produce unos productos que necesitan un poco más de calor y con eso se evita las plagas. También tiene un cuarto de sombra en donde se ha comenzado a trabajar con orquídeas, para lograr repoblar la zona con estas plantas que son propias del sector. Fundamentalmente se tiene plantaciones de hortalizas y un huerto de plantas medicinales y cultivos de frutas de la zona, recuperando la chirimoya. También tiene cultivos de ají, pimiento, etc. Lo interesante de la zona del cultivo es que está terraceado. Hubo que trabajar muy duro equilibrando el Ph del terreno, debido a que era demasiado alcalino, entonces había que irle neutralizando, dependiendo como conviene, unos sitios están un poco más alcalinos y otros un poco más ácidos, entonces en función de eso se va seleccionando que tipos de cultivos tiene, utilizando redes, mallas, etc. Hacen sus propios productos para evitar las plagas. Se utiliza productos naturales para insecticidas, como penco, ají, tabaco, etc.

Así que, los 2000 m² de terreno son empleados para de igual manera producir la alimentación necesaria y para sus usuarios.

7 Conclusiones

Esta casa no se conecta a la red pública pues la energía obtenida por los sistemas fotovoltaico y eólico, así como de calefacción solar, son suficientes.

El rol del diseño arquitectónico es un factor importante para desarrollar hábitats sostenibles.

La producción de alimentos orgánicos en el mismo terreno representa el ahorro energético en cuanto a transporte, y además, garantizan alimentos más naturales, por lo tanto una mejor salud para sus habitantes, los alimentos producidos incluso sirven para obsequiar a los visitantes.

Es importante el análisis de edificaciones que ofrezcan sistemas más sostenibles para habitar, y así tener un punto de partida para mejorar dichos sistemas en otras edificaciones.

Una casa como la estudiada fue posible alcanzar porque sus dueños son científicos, sin embargo, deberían existir más intentos para que esta tecnología sea disponible para todos.

Los dueños y el arquitecto se sienten orgullosos del logro, aunque lo extraño es que una vivienda como esta, pese a los múltiples beneficios que representa, ha sido objeto de muchas críticas y para nuestro medio aún suscita opiniones divididas, como al principio todo lo nuevo.

8 Citas y referencias

Lamela, A. (2005). La Sostenibilidad, Un reto global inaludible. *Informes de la Construcción*, 11.

Satterthwaite, D. (2009). The implications of population growth and urbanization for climate change. *Environment and Urbanization*, 21(2), 545–567. doi:10.1177/0956247809344361

Ihlen, Ø. (2009). Business and Climate Change: The Climate Response of the World's 30 Largest Corporations. *Environmental Communication: A Journal of Nature and Culture*, 3(2), 244–262. doi:10.1080/17524030902916632

Macías, M., & Navarro, J. G. (2010). Metodología y herramienta verde para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 14.

Barbier, E. B. (2010). Poverty, development, and environment. *Environment and Development Economics*, 15(Special Issue 06), 635–660. doi:10.1017/S1355770X1000032X

Pérez, M. V. (2010). *Recursos Naturales del Ecuador*. Quito.

Ghosh, N. K., & Blackhurst, M. (2014). Energy savings and the rebound effect with multiple energy services and efficiency correlation. *Ecological Economics*, 105, 55–66. doi:10.1016/j.ecolecon.2014.05.002

Cordero, R. (2015). *Cubiertas Verdes*. Congreso de soluciones ecosostenibles Sevilla

Cordero, R. (2015). *Complementos para evaluación de la sostenibilidad*. Congreso Euroelecs. Portugal