

# El ABC de la Arquitectura ambiental y post –pandemia para la ciudad de Santa Cruz: propuesta de mejora para el modelo del Plan de Vivienda Social.

Elaborado por la **Sociedad de Investigación Científica Estudiantil de Arquitectura (SICEA)**

Carrera de Arquitectura  
Universidad Católica Boliviana San Pablo  
Regional Santa Cruz  
[sicea.arq.ucb.scz@gmail.com](mailto:sicea.arq.ucb.scz@gmail.com)

Instagram: @sicea.arq  
Facebook: @siceaucb

Integrantes SICEA:

Gabriela Ismael  
Katherine Gonzales  
Alison Guzmán  
Vianka Terrazas

Tutor: César Pérez

Revisores propuestos:

Profesor Carl Smith y Profesor Gabriel Diaz (Facultad de Arquitectura *Fay Jones* de la Universidad de Arkansas)  
Profesor Fernando Magallanes (Facultad de Diseño y Arquitectura de la Universidad de Carolina del Norte).  
Christian Stalberg (Profesional Experto en Energía y Certificación LEED).  
Marcelo Torrico (Arq.). Experto en Arquitectura Bioclimática.  
Jaime San Martín (Arq.). Experto en Biomimética y Cálculo de Cargas Térmicas.  
Paula Saldaña (Arq.). Experta en Arquitectura Sostenible.

Revisores Generales:

Mariana Santa Cruz (Coordinadora de Investigación de Sede – UCB SCZ)  
Adriana Navarro (Directora de Arquitectura)  
Grover Guzmán (Coordinador Académico y Docente Tiempo Completo de Arquitectura)

Santa Cruz, diciembre 2021

# ÍNDICE

## INTRODUCCION

1. Tipología de la Vivienda Social
  - a. Antecedentes
  - b. Diseño
  - c. Materiales
  - d. Costo de construcción
2. Confort térmico
  - a. Santa Cruz
  - b. Vivienda Social
3. Línea de base de huella energética y de carbono
  - a. Santa Cruz
  - b. Vivienda Social
  - c. Análisis costo-beneficio
4. Línea de base de huella hídrica
  - a. Santa Cruz
  - b. Vivienda Social
  - c. Análisis costo-beneficio
5. Diseños pasivos para la reducción de la huella ecológica y su implementación en el proyecto
  - a. Introducción sobre la jerarquía de uso energético
  - b. Ubicación y orientación
  - c. Sistemas pasivos aplicables en Santa Cruz
    - i. Torres de Viento
    - ii. Ventilación cruzada
    - iii. Muro Trombe
    - iv. Pozos Canadienses
    - v. Cuerpos de Agua
  - d. Cubiertas o pieles envolventes
  - e. Eficiencia Energética de sistemas HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) + Lighting
    - i. Iluminación
    - ii. Ventilación
    - iii. Aire acondicionado
    - iv. Calefacción
  - f. Energía Renovable
    - i. Sistemas aislados (off grid)
    - ii. Sistemas conectados a la red (on grid)
  - g. Análisis costo-beneficio de los diferentes sistemas
6. Diseños para la reducción de la huella hídrica
  - a. Reutilización de aguas grises
  - b. Cosecha de agua de lluvia
  - c. Otros
  - d. Análisis costo-beneficio de los diferentes sistemas
7. Huella ecológica del transporte y uso de los materiales de construcción
8. Propuestas más costo-efectivas para la reducción de la huella ecológica para la vivienda social realizadas por la SICEA

## BIBLIOGRAFÍA

# INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una de las más insostenibles porque consume la mitad de los recursos no renovables del planeta (Hawken et al., 1999).

Esta industria puede demandar hasta el 50 % del agua mundial y contribuir hasta el 23 % en la degradación de la calidad de aire en las ciudades (Hawken et al., 1999).

Según miembros del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC), el 2010 las edificaciones utilizaron el 32 % de la energía mundial (Lucon et al., 2014). Las mismas que aportaron con el 19% de gases de efecto invernadero, un tercio de emisiones relacionadas al uso de carbón, y hasta un tercio de gases fluorados (que dañan la capa de ozono y con un efecto de calentamiento global hasta 23 mil veces mayor al CO<sub>2</sub>) (Lucon et al., 2014).

Tendencias globales sugieren que para el año 2050, la demanda de energía en los edificios podría aumentar hasta el 50% (Dean et al., 2016). Principalmente para la refrigeración de espacios, uso de electrodomésticos, iluminación, calentamiento de agua, cocina, y calefacción de espacios en ese orden de importancia (Dean et al., 2016).

La demanda creciente de energía eléctrica en edificios continuará representando una dependencia en combustibles fósiles asociada a emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> que se han quintuplicado en el ámbito residencial y cuadruplicado en el área comercial (Lucon et al., 2014).

Se proyecta que el uso de aire acondicionado y calefacción a nivel mundial crecerá 79% para el área residencial y 84% para el uso comercial hasta el año 2050 (Dean et al., 2016; Lucon et al., 2014). Asimismo, Dean et al. (2016) pronostica que la refrigeración o enfriamiento de espacios continuará siendo la demanda de crecimiento más rápida de energía por edificaciones hasta ese mismo año.

Un estudio comparativo realizado por La Roche (2010), muestra que la energía operativa para el funcionamiento y enfriamiento de un edificio en climas cálidos y húmedos genera el 65 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero. Ésta representa la mayor proporción si se comparan con las emisiones de la etapa de construcción (14 %), producción de residuos (13 %) y uso del agua (8 %) (La Roche, 2010).

Cifras similares de uso energético y emisiones de CO<sub>2</sub> se evidencian en países tropicales como Colombia, que para el año 2016 usaron cerca del 63 % del consumo total de energía eléctrica del país (Cárdenas et al., 2019). Para este país, se espera una demanda energética creciente del 2.1 % anual en los próximos años que conlleva emisiones de efecto invernadero en la misma proporción (Cárdenas et al., 2019).

Otro país con casi 75 % de su territorio dentro de la cuenca amazónica y con el 70% de su población que vive en ciudades es Bolivia (INE, 2012). Del total de habitantes de Bolivia, casi el 30 % vive en departamento de clima cálido y húmedo de Santa Cruz, y de este porcentaje, el 80 % vive en la ciudad principal (INE, 2012; Mendieta, 2021). La población de Santa Cruz creció un 21 % en la última década acompañado de un proceso de expansión horizontal que se refleja en el crecimiento de la ciudad con más de 600 barrios en proceso de regularización (Mendieta, 2021).

Para el 2014, las actividades que se desarrollaron en la ciudad de Santa Cruz generaron aproximadamente el 11 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero del país,

sin contar con las emisiones debido al cambio de uso de suelo y agricultura (Servicios Ambientales S. A., 2017b). Es decir, la huella de carbono anual de la ciudad de Santa Cruz es de aproximadamente 3.7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, donde la huella de carbono per cápita es de 2.5 t CO<sub>2</sub>e, el consumo energético per cápita es de 1012 kWh, el consumo de gasolina per cápita de 233 litros y el consumo de diésel per cápita de 176 litros (Servicios Ambientales S. A., 2017b). Del total de la huella de carbono de Santa Cruz, el sector que más contribuye es el transporte (51 %), seguido de la generación de residuos (19%), luego los sectores residencial, comercial e institucional aportan con el 17%, y finalmente el sector industrial con 13 % (Servicios Ambientales S. A., 2017b).

Las elevadas temperaturas que se incrementan con los años en la ciudad de Santa Cruz ocasionan cada vez mayores demandas de energía eléctrica para el uso de aire acondicionado, ventilación y refrigeradores rompiendo cada año nuevos records históricos (El Deber, 2020; Toledo, 2019). El 2017, debido a las altas temperaturas se registró una demanda de electricidad de 627 MW en días de verano, sin embargo, el mes de noviembre de 2019 cuando la temperatura superó los 36 grados centígrados el consumo se disparó a 651 MW a partir de las 15:00 horas (Toledo, 2019). Un nuevo record fue alcanzado el 2020 cuando el mes de enero la demanda subió a 692 MW y nuevamente en octubre se registró un pico elevado de 681 MW (El Deber, 2020).

Por un lado, Santa Cruz como parte de la Amazonía y el resto de pueblos amazónicos han demostrado históricamente la destreza en el manejo de técnicas constructivas en armonía con su ambiente que los hacen resilientes frente a las condiciones del clima extremo (Balderrama, 2019). Sin embargo, desde la década de los 1970s, se hace más visible la presencia de elementos exógenos y técnicas constructivas ajenas al territorio (Balderrama, 2019). De esta manera las técnicas constructivas ancestrales y pasivas que se empleaba en el territorio y eran transmitidas de generación en generación se han ido desvaneciendo (Balderrama, 2019).

Por otro lado, la ejecución de planes estatales de construcción no contempla el contexto en el que se construye las viviendas sociales e ignoran la tradición constructiva de la región, ya que, implantan una arquitectura opuesta a la de un clima amazónico, de esta manera perjudicando al entorno con materiales que no son aptos para el clima cálido y húmedo. (Balderrama, 2019).

El rol del nuevo arquitecto, en especial en ciudades tropicales como Santa Cruz, es fundamental para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y uso de agua.

Es por esta razón que la SICEA quiere contribuir en la construcción de ciudades más sostenibles y resilientes a través de la formación de nuevos arquitectos tropicales que maximicen los sistemas pasivos de ventilación y refrigeración, y reduzcan y reutilicen el agua.

El presente manual es una combinación de investigaciones empíricas y bibliográficas, y la recopilación de experiencias locales y mundiales para el diseño y construcción de diseños arquitectónicos aplicados para la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Este manual está dirigido a jóvenes arquitectos, y experimentados también, para que consideren los beneficios ambientales, económicos, y en términos de confort térmico de la aplicación de sistemas de reducción de uso de energía proveniente de combustibles fósiles y reducción de la huella hídrica. Para esto, usaremos un ejemplo transversal a lo largo del manual de una tipología obtenida del programa de vivienda social y cómo puede reducir su

huella de carbono e hídrica a partir de la implementación de varios sistemas ambientalmente amigables al mismo tiempo que se hace un análisis económico a largo plazo del retorno de estas consideraciones diseño original versus modificado.

La Vivienda Social es un claro ejemplo (tal vez representativo) de la no consideración de las condiciones climáticas tropicales para minimizar su dependencia energética, huella de carbono y huella hídrica. Esto como un ejemplo de diseño y construcción ajena al ecosistema como la mayoría de las construcciones en la ciudad. De igual manera, este párrafo debería abordar lo que el profesor Díaz nos indicó sobre la falta de calidad de vida que aporta.

El presente manual busca, utilizando como base o ejemplo representativo a la vivienda social, determinar: 1) una línea de base que incluya la huella de carbono, costos, y uso del recurso agua, 2) proponer técnicas pasivas energéticas bajas en carbono y de ahorro de agua que podrían implementarse en la ciudad de Santa Cruz, 3) Realizar un análisis costo-efectivo de construir sin considerar el ecosistema vs utilizando diferentes técnicas amigables al ecosistema, y 4) Proponer alternativas factibles económicamente de diseño de la vivienda social adaptadas al contexto de una ciudad tropical como SC.

## CAPÍTULO I. TIPOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE VIVIENDA DEL PLAN DE VIVIENDA SOCIAL

### A. ANTECEDENTES

En Bolivia, desde el año 1924 hasta la actualidad, el gobierno central ha ejecutado programas de vivienda social con diferentes características en todo el territorio nacional (Ministerio de Obras Públicas, 2020). Estos programas están dedicados a reducir el déficit habitacional dando la posibilidad a las personas de menores ingresos de poder contar con un crédito que les permita contar con recursos económicos para la construcción, mejoramiento o ampliación y compra de Vivienda (Ministerio de Obras Públicas, 2020).

Durante el periodo 2013 y 2019, la Agencia Estatal de Vivienda (AEVIVIENDA) construyó más de 22 900 viviendas en el departamento de Santa Cruz (Ministerio de Obras Públicas, 2020). De estas, 60% pertenecen al programa de mejoramiento cualitativo (mejoramiento, ampliación y renovación), y 30% al de vivienda nueva (Ministerio de Obras Públicas, 2020). Para Santa Cruz, el 47% de las viviendas se construyeron en el área urbana y 53% en el área rural (Ministerio de Obras Públicas, 2020).

Debido a que el mismo modelo de estas viviendas es replicado en los diferentes ecosistemas del país, usuarios de las zonas tropicales se ven forzados a realizar modificaciones e incorporar sistemas de enfriamiento artificial para conseguir el confort térmico al interior de la misma (Balderrama, 2019; Hurtado, 2011). Esto obliga a los usuarios a incrementar el costo económico, su huella energética, la consecuente huella de carbono, y disminuir el intercambio de aire con el exterior en una época de pandemia.

Es más, según Hurtado (2011), el modelo de vivienda social carece de principios bioclimáticos predominando el aspecto económico de un costo mínimo de construcción. Según investigación bibliográfica y visitas de campo, las ubicaciones de las viviendas sociales en Santa Cruz generalmente se encuentran en barrios alejados del radio urbano de la ciudad improvisados de servicios básicos en muchos casos llegando a ser terrenos de bajo costo.



Figura 1. Urbanización Papa Francisco, una de los varios proyectos del Plan de Vivienda Social en el departamento de Santa Cruz. Fotografía: Roca (2018).

## B. DISEÑO

En base a visitas de campo, se pudo constatar que respecto a la construcción, la calidad de los materiales es baja y en base a la revisión del Manual de Construcción de Viviendas Sociales (Ministerio de Obras Públicas, 2020), los espacios en el diseño se reducen al mínimo (entre 45 a 78 m<sup>2</sup> en total), evitando así un buen desarrollo de sus habitantes.

El prototipo de vivienda social está diseñado para una familia promedio de cuatro integrantes, se encuentra distribuida en una sola planta, conformada por una, dos y tres habitaciones, un sanitario y un área social de estar, comedor y cocina compartida (Ministerio de Obras Públicas, 2020).

Según el Manual de Construcción de Viviendas Sociales (Ministerio de Obras Públicas, 2020), el modelo y la geometría de la vivienda social está relacionada con su ubicación geográfica considerando las características climáticas de la región. Así, el manual propone modelos de construcción para la zona tropical de Bolivia, donde particularmente en Santa Cruz se cuenta con una temperatura promedio de 25 grados centígrados (°C) con máximas de 37 °C y mínimas de 4 °C (University of California, 2018).

Sin embargo, en la práctica, se construye por lo general el mismo modelo de vivienda social en todo el país. A continuación, la Figura 2 muestra el modelo teórico para los trópicos y la Figura 3 muestra el modelo que se implementa.

Visitas de campo y análisis de imágenes satelitales sugieren que la **orientación** de las viviendas sociales no impide que la entrada de luz y calor al interior sea de las coordenadas este y oeste, justamente de aquellas que se debe evitar para sobrecalentar el interior.

La **ventilación** de las mismas está muy relacionada con la orientación y la tipología y es, sin duda, el factor más importante para el buen comportamiento energético de una vivienda y una renovación de aire con el exterior. Generalmente las aberturas que no tienen un patrón de dirección establecido, no maximizan la ventilación cruzada porque no necesariamente están alineadas con los vientos predominantes del noroeste al sureste.

En la **distribución** de las viviendas, existen espacios particularmente de uso diurno (sala, comedor, cocina accesos, baños) y nocturno (dormitorios).

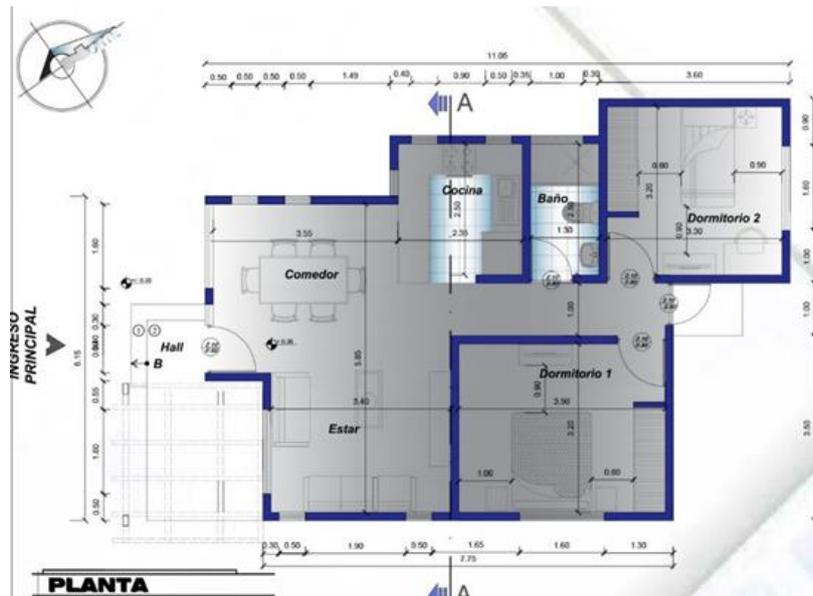
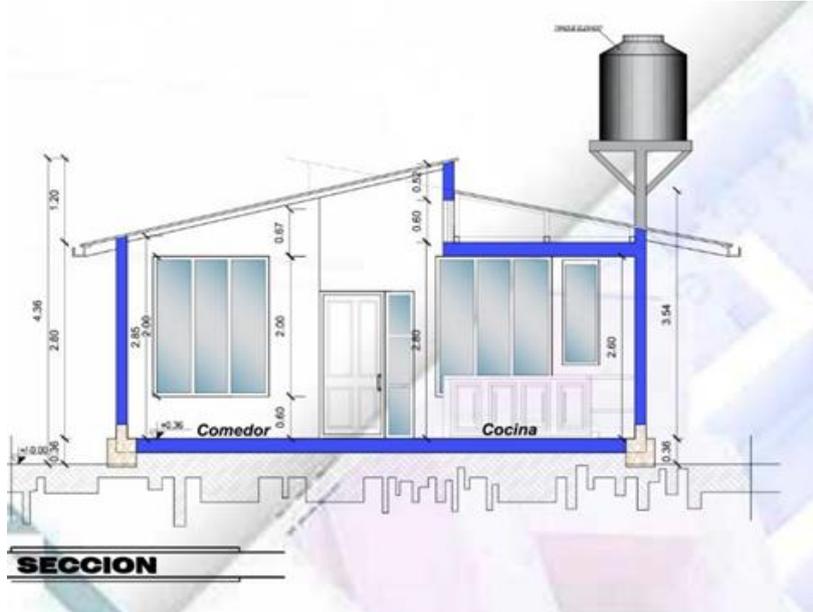


Figura 2. Modelo de vivienda social para la región del trópico de Bolivia. La imagen superior muestra la fachada frontal. La imagen del medio muestra una sección de la vivienda, y la imagen inferior el plano de planta del diseño de la vivienda para el trópico boliviano (Ministerio de Obras Públicas, 2020).



Figura 3. Modelo de vivienda social construida en una urbanización de Santa Cruz. Se puede evidenciar que en la práctica, el mismo modelo es replicado en todas las zonas geográficas de Bolivia (Roca, 2018).

### C. MATERIALES

Según Hurtado (2011), el modelo de vivienda social a estudiar se destaca por la construcción tradicional de ladrillo cerámico, hormigón armado y cubierta a dos aguas. Sin embargo, esta tipología de vivienda se aplica en todo el país sin tomar en cuenta el contexto climático en el que se encuentra (Hurtado, 2011). En general, los materiales empleados son de baja calidad, lo cual provoca un rápido deterioro en las mismas y tampoco brinda un confort térmico, siendo los gastos de mantenimiento y reparación altos para el entorno social en el que se encuentran (Hurtado, 2011).

Los **cimientos** generalmente están constituidos por cimentación corrida (piedra mediana y hormigón) de 40 centímetros de ancho por 60 centímetros de profundidad (Hurtado, 2011).

Los **muros** están compuestos de ladrillos de una capa de “6 huecos”, sin embargo, no siempre cuentan con un revoque exterior y no presenta impermeabilización del mismo ladrillo (Hurtado, 2011). Los muros internos tienen revoque de mortero en ambas caras y no siempre presentan la capa de pintura (Hurtado, 2011).

Respecto a las **ventanas**, la carpintería es de aluminio de 4 hojas dos fijas y dos móviles y el vidrio de 4 mm de espesor, puertas de madera maciza y piso revestido de baldosa cerámica (Hurtado, 2011).

La **cubierta de teja colonial**, es sostenida por una viga de hormigón armado (forjado), y que comúnmente se le llama encadenado (Ministerio de Obras Públicas, 2020). La estructura de la cubierta va apoyada sobre el encadenado, que es de tijera vista de madera, sobre este se coloca una capa de malla de gallinero, papel de construcción y mortero mezclado con paja, sobre esta capa se colocan los listones de madera de 3 x 3 centímetros de sección; entre los listones y la teja van dispuesta las tuberías de las instalaciones eléctrica (Hurtado, 2011). Por último se termina de armar la cubierta, colocando la teja cerámica que van apoyadas sobre los listones y se fijan entre ellas con mortero simple (Hurtado, 2011).

La **estructura de la cubierta** está apoyada sobre el encadenado de hormigón armado, que está compuesto de vigas de madera de 2" x 6", sobre estas se colocan listones de madera de 3" x 3" de sección (Ministerio de Obras Públicas, 2020). Finalmente se coloca la teja cerámica o en muchos casos cubierta de calamina el revoque es de yeso en el cielo raso (Ministerio de Obras Públicas, 2020).



Figura 4. Imágenes de viviendas sociales instaladas en Santa Cruz que muestran la materialidad de muros, ventanas, carpintería, cubierta y vidrio. Fotografías: Roca (2018) y Hurtado (2011).

Térmicamente hablando, los materiales de construcción tienen un coeficiente de conducción del calor elevado, lo que permite que la vivienda tenga una ganancia de calor rápida. La cubierta recibe directamente el sol, los muros de ladrillo expuestos a la humedad y calor, y el vidrio simple deja ingresar el calor generando un efecto invernadero interno.

#### **D. COSTOS**

Este tipo de viviendas buscan ser más económicas por la tecnología implementada, la mano de obra del lugar y los materiales utilizados.

Según Ministerio de Obras Públicas (2020) cada vivienda social con dos dormitorios, tiene un costo total de aproximadamente 26 400 USD construido en una superficie de 66 m<sup>2</sup> (400 USD/m<sup>2</sup>). El 2018, los costos de las viviendas sociales ofrecidas a los usuarios de Santa Cruz bajaron de 35 000 USD a 28 000 USD (Roca, 2018).

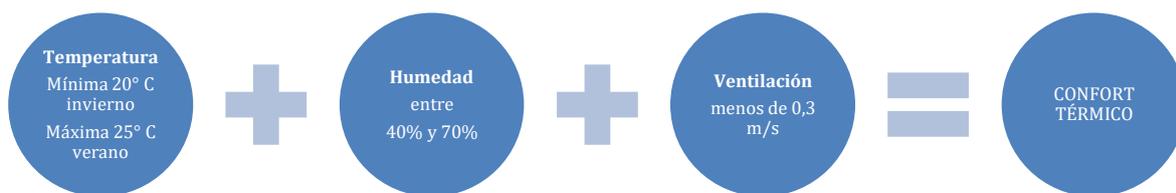
A estos costos se deben incluir los costos de mantenimiento, y los de operación (uso de energía para llegar al confort térmico).

## CAPÍTULO II. ¿QUÉ ES EL CONFORT TÉRMICO?

### E. CONCEPTO

Entendemos por confort térmico cuando los usuarios en el interior de una edificación no experimentan sensación de calor ni frío, o, cuando las condiciones de humedad, temperatura y movimiento de aire son agradables y adecuados a la actividad que se realiza (SgARQ, 2017).

El confort térmico, a pesar de los varios factores que lo determinan puede ser resumido de la siguiente manera (SgARQ, 2017):



Sin embargo, Xiao et al (2018) afirman que el confort térmico es sumamente importante en climas tropicales donde capacidad intensiva de enfriamiento es necesaria.

### F. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS EN UNA VIVIENDA SOCIAL

En base al cálculo de cargas térmicas que considera la orientación y materialidad de la vivienda social, se pudo determinar la cantidad de energía que se requeriría para enfriar el interior de las mismas hasta el nivel de confort térmico. En otras palabras, la intensidad de uso de aire acondicionado necesario durante el año para mantener fresco el interior de la vivienda social que tiene una fachada al oeste.

Así, la energía diaria que se necesitaría para enfriar el interior de una vivienda social es de por lo menos 1000 W. Si consideramos un promedio de horas necesarias que se debe aplicar esta energía por día es de 8 horas, se requeriría al menos **8 kWh/d** de energía.

Esto tiene repercusiones a nivel económico, ambiental y en el riesgo de la salud por falta de renovación de aire.

Sin incluir el costo del equipo de aire acondicionado, los costos para ocho (8) horas de enfriamiento diario pueden consistir en:

- a) **Costo de ocho (8) Bs en energía eléctrica diaria**, considerando un LCOE (*Levelized cost of energy*) de aproximadamente 1 Bs por kWh según la cooperativa de energía eléctrica CRE.
- b) **Emisión de 3.44 kg de CO<sub>2</sub>e diariamente a la atmósfera o 103 kg de CO<sub>2</sub> mensuales**. Esto considerando el factor de emisión de 0.43 kg CO<sub>2</sub>/kWh para Bolivia (Fernández-Vázquez & Fernández-Fuentes, 2018).

- c) **El aire al interior de la vivienda social, considerando un promedio familiar de 3.5 habitantes (INE, 2012), debe ser renovado por lo menos cada 1.7 horas.** Si el aire acondicionado funciona 8 horas durante el día, significa que se aumenta el riesgo en aproximadamente 5 veces de exposición al virus del COVID en el interior. Esto en base a estimaciones de que en un espacio de 81 m<sup>2</sup> (9 m x 9 m) con 25 personas, el aire debe ser reemplazado por lo menos cada 15 minutos, lo que significa un Cambio de Aire por Hora (CAH) de 4 (Rhode Island Department of Health, 2021).

A continuación, se muestran los cálculos realizados para determinar las cargas térmicas y por ende la demanda energética para llegar al confort térmico.

## Climatización Edificios

Acristalamientos  $W/m^2$  ( $=0,86$ )

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F$$

S = superficie ( $m^2$ )

R = Radiación Solar ( $W/m^2$ )

F = factor de corrección (cuanto hay aleros)

### Fachada Frontal (OESTE)



$$V_1 = 1,8 m^2$$

$$Q_{sr} = 1,8 m^2 \cdot \left( \frac{477 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right)$$

$$Q_{sr} = 935,58 \text{ W}$$

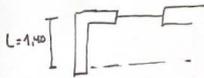
Radiación solar

$$V_2 = 1,8 m^2$$

$$Q_{sr} = 1,8 \cdot \left( \frac{477 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right) \cdot 0,99$$

$$Q_{sr} = 832,56 \text{ W}$$

$V_2$  = Factor de corrección (Tabla al revés)



d = altura ventana hasta el techo

d = 0,78

h = altura ventana

h = 1,10

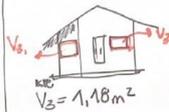
$$\frac{d}{h} = 0,65$$

$$\frac{L}{h} = 1,16$$

Factor de corrección

0,99

### Fachada Posterior (ESTE)



$$V_3 = 1,8$$

$$Q_{sr} = 1,8 \cdot \left( \frac{477 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right)$$

$$Q_{sr} = 935,58 \text{ W}$$

$$Q_{sr} = S \cdot R$$

$$Q_{sr} = 1,8 m^2 \cdot \left( \frac{477 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right)$$

$$Q_{sr} = 613,33 \text{ W}$$

RADIACIÓN SOLAR ESTE (oeste en tabla)

### Fachada Lat. Izquierda (NORTE)



$$V_4 = 1,8 m^2$$

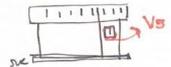
$$Q_{sr} = 845,58 \text{ W}$$

$$Q_{sr} = S \cdot R$$

$$Q_{sr} = 1,8 m^2 \cdot \left( \frac{404 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right)$$

RADIACIÓN SOLAR NORTE (sur en tabla)

### Fachada Lateral. Derecha (SUR)



$$V_5 = 0,36 m^2$$

$$Q_{sr} = 29,30 \text{ W}$$

$$Q_{sr} = S \cdot R$$

$$Q_{sr} = 0,36 \cdot \left( \frac{70 \text{ kcal/m}^2}{0,86} \right)$$

RADIACIÓN SOLAR SUR (Norte en tabla)

## Climatización Edificios

### Mortero interno

$$Q_{srt} = k \cdot S \cdot (t_{ec} - t_i)$$

sin temperatura

k = coeficiente según material ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

S = superficie muro ( $m^2$ )

$$k = 1,40$$

S = suma  $m^2$  muros (lado interno)

$$S = 84,19 m^2$$

$$Q_{srt} = 1,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C \cdot 84,19 m^2$$

$$Q_{srt} = 117,87 \text{ W}$$

### Puertas de Madera

$$Q_{srt} = k \cdot S \cdot (t_{ec} - t_i)$$

Puerta de Madera =  $2 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$

(tabla)

$$S = 1,89$$

Fachada Frontal (OESTE)

(este en tabla)

$$t_{ec} = 0,9 \cdot t_e$$

$$t_{ec} = 0,9 \cdot 24,32,4^\circ C$$

$$Q_{srt} = 2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C \cdot 1,89 m^2 (29,24^\circ C - 24^\circ C)$$

$$Q_{srt} = 3,78 \text{ W}$$

$$P_{srt} = 20,48 \text{ W}$$

Fachada Posterior (ESTE)

$$t_{ec} = 0,8 \cdot t_e$$

$$t_{ec} = 0,8 \cdot 32,4^\circ C$$

$$Q_{srt} = 2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C \cdot 1,89 m^2 (24,08^\circ C - 24^\circ C)$$

$$Q_{srt} = 3,78 \text{ W}$$

$$P_{srt} = 7,86 \text{ W}$$

# Climatización Edificios

Cerramientos

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$$

K = coeficiente según material (W/m<sup>2</sup>)

S = superficie del muro (m<sup>2</sup>)

T<sub>i</sub> = Temperatura interior (°C) **24°C**  
de confort

T<sub>ec</sub> = Temperatura exterior de cálculo (°C)

\* T<sub>ec</sub>: (varía según muro, cubierta)  
o orientación T<sub>med</sub> = 26°  
T<sub>max</sub> = 37°

$$T_{ec} = 0,4(T_{med}) + 0,6(T_{max})$$

$$T_{ec} = 0,4(26°C) + 0,6(37°C)$$

$$T_{ec} = 10,4 + 22,2$$

$$T_{ec} = 32,6°C$$

Fachada Frontal (OESTE)

$$T_{ec,est} = 0,9 \cdot T_{ec}$$



Ladrillo = 0,49 W/m°C  
Mortero = 1,40 W/m°C

$$S = 10,74 + 6,82$$

$$S = 17,56 m^2$$

$$Q_{str} = 0,49 W/m°C \cdot 17,56 m^2 \cdot (0,9 \cdot 32,6°C - 24°C)$$

$$Q_{str} = 8,60 (5,34)$$

$$Q_{str} = 45,95 W \text{ ladrillo}$$

mortero

$$Q_{str} = 1,40 \cdot 17,56 (5,34)$$

$$Q_{str} = 431,28 W \text{ MORTERO EXTERIOR}$$

Fachada Posterior (Este)



$$T_{ec,este} = 0,8 \cdot T_{ec}$$

$$T_{ec} = 26,08$$

$$S = 19,77 m^2$$

$$Q_{str} = 0,49 W/m°C \cdot 19,77 m^2 \cdot (26,08 - 24°C)$$

$$Q_{str} = 9,69 (2,08)$$

$$Q_{str} = 20,15 W$$

Mortero Exterior

$$Q_{str} = 1,40 \cdot 19,77 (2,08)$$

$$Q_{str} = 57,57 W$$

Fachada lateral izquierda (NORTE)

$$T_{ec,N} = T_{ec} \text{ (otra cara)}$$

$$T_{ec} = 32,6°C$$



Ladrillo

$$S = 22,24 m^2$$

$$Q_{str} = 0,49 W/m°C \cdot 22,24 m^2 \cdot (32,6°C - 24°C)$$

$$Q_{str} = 10,89 (8,6)$$

$$Q_{str} = 93,65 W$$

Mortero Exterior

$$Q_{str} = 1,40 \cdot 22,24 (8,6)$$

$$Q_{str} = 267,77 W$$

Fachada lateral Derecha (SUR)

$$T_{ec,S} = 0,4 \cdot T_{ec} \text{ (otra norte)}$$

$$T_{ec,S} = 19,56°C$$

Ladrillo

$$S = 24,62 m^2$$

$$Q_{str} = 0,49 W/m°C \cdot 24,62 m^2 \cdot (19,56°C - 24°C)$$

Valor negativo

$$Q_{str} = 12,06 W$$

## CAPÍTULO III. HUELLA ENERGÉTICA Y DE CARBONO

### G. CIUDAD DE SANTA CRUZ

La huella de carbono anual de la ciudad de Santa Cruz es de aproximadamente 3.7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, la huella de carbono per cápita es de 2.5 t CO<sub>2</sub>e, lo que equivale a un consumo energético per cápita de 1012 kWh o el equivalente a quemar 233 litros de gasolina por año por persona (Servicios Ambientales S. A., 2017b).

Del total de la huella de carbono de Santa Cruz, el sector que más contribuye es el transporte (51 %), seguido de la generación de residuos (19%), luego los sectores residencial, comercial e institucional aportan con el 17%, y finalmente el sector industrial con 13 % (Servicios Ambientales S. A., 2017b).

Las elevadas temperaturas que se incrementan con los años en la ciudad de Santa Cruz ocasionan cada vez mayores demandas de energía eléctrica para el uso de aire acondicionado, ventilación y refrigeradores rompiendo cada año nuevos records históricos (El Deber, 2020; Toledo, 2019). El 2017, debido a las altas temperaturas se registró una demanda de electricidad de 627 MW en días de verano, sin embargo, el mes de noviembre de 2019 cuando la temperatura superó los 36 grados centígrados el consumo se disparó a 651 MW a partir de las 15:00 horas (Toledo, 2019). Un nuevo record fue alcanzado el 2020 cuando el mes de enero la demanda subió a 692 MW y nuevamente en octubre se registró un pico elevado de 681 MW (El Deber, 2020).

### H. VIVIENDA SOCIAL

Se realizó una estimación de la demanda de energía, de las consecuentes emisiones de CO<sub>2</sub>, y del costo anual de este uso. Los resultados muestran que anualmente una vivienda social de dos habitaciones demandaría una energía de **26 324 kWh anual**, y emitirían un equivalente a **11 toneladas de CO<sub>2</sub>**, con un costo económico de aproximadamente **23 800 Bs. anuales**. A continuación, los detalles de los cálculos realizados.

Ambiente del Diseño	Artefacto Eléctrico	Número de artefactos	Poder de consumo	Horas de uso por día	Energía usada por día	Emisiones de CO <sub>2</sub> por día	Gasolina quemada	Energía usada por mes	Emisiones de CO <sub>2</sub> por mes	Gasolina quemada	Energía usada por año	Emisiones de CO <sub>2</sub> por año	Gasolina quemada	Costo en Bolivianos	
			(W)	(h/día)	(kWh/día)	(kgCO <sub>2</sub> e/día)	(litros/día)	(kWh/mes)	(kgCO <sub>2</sub> e/mes)	(litros/mes)	(kWh/año)	(kgCO <sub>2</sub> e/año)	(litros)	año	
Sala	focos techo	2	60	12	1,44	0,62	0,3	43,2	18,6	8,1	925,6	226,0	98,3	477	
	TV	1	150	12	1,8	0,77	0,3	54	23,2	10,1	657	282,5	122,8	596	
	Plancha de Ropa	1	1000	1	1	0,43	0,2	30	12,9	5,6	365	157,0	68,2	331	
	Wifi	1	100	24	2,4	1,03	0,4	72	31,0	13,5	876	376,7	163,8	795	
	Heladera	1	400	24	9,60	4,13	1,8	288	123,8	53,8	3504	1506,7	655,1	3180	
	aire acondicionado	1	1500	8	12	5,16	2,2	360	154,8	67,3	4380	1883,4	818,9	3975	
	Cocina	Cocina Eléctrica	1	450	24	10,8	4,64	2,0	324	139,3	60,6	3942	1695,1	737,0	3578
		Hervidor de agua	1	900	24	21,6	9,29	4,0	648	278,6	121,1	7884	3390,1	1474,0	7156
		Batidora	2	150	1	0,3	0,13	0,1	9	3,9	1,7	109,5	47,1	20,5	99
		Licudadora	1	700	1	0,7	0,30	0,1	21	9,0	3,9	255,5	109,9	47,8	232
Lavadora		1	400	6	2,4	1,03	0,4	72	31,0	13,5	876	376,7	163,8	795	
focos techo		1	60	12	0,72	0,31	0,1	21,6	9,3	4,0	262,8	113,0	49,1	239	
Hab. 1		TV plasma	1	200	10	2	0,86	0,4	60	25,8	11,2	730	313,9	136,5	663
	Ventilador 2	1	220	10	2,2										
	Ventilador	1	100	8	0,8	0,34	0,1	24	10,3	4,5	292	125,6	54,6	265	
	focos techo	1	60	12	0,72										
	Lampara	1	50	24	1,2	0,52	0,2	36	15,5	6,7	438	188,3	81,9	398	
Hab. 2	focos techo	1	60	12	0,72	0,31	0,1	21,6	9,3	4,0	262,8	113,0	49,1	239	
	Cargador	1	240	8	1,92	0,83	0,4	57,6	24,8	10,8	700,8	301,3	131,0	636	
Baño	focos techo	1	60	12	0,72	0,31	0,1	21,6	9,3	4,0	262,8	113,0	49,1	239	
TOTAL					75	31	13	2164	930	404	26324	11319	4921	23892	

## CAPÍTULO IV. HUELLA HÍDRICA

La **Huella Hídrica Directa** es la cantidad de agua dulce (de lluvia, superficial o subterránea) que consumimos en el desarrollo de cualquier actividad humana (Hoekstra & Hung, 2005).

La **Huella Hídrica Indirecta** es el uso indirecto del agua empleada en los procesos productivos de bienes o servicios incluyendo el agua que contienen las materias primas (RETEMA, 2018).

La OMS (2009) recomienda un uso de agua a mediano plazo de **80 litros por persona por día** que cubre las necesidades de bebida, cocina, aseo personal, lavar la ropa, limpiar la casa, disposición de desechos y algunos cultivos de alimentos. A continuación, mayores detalles:

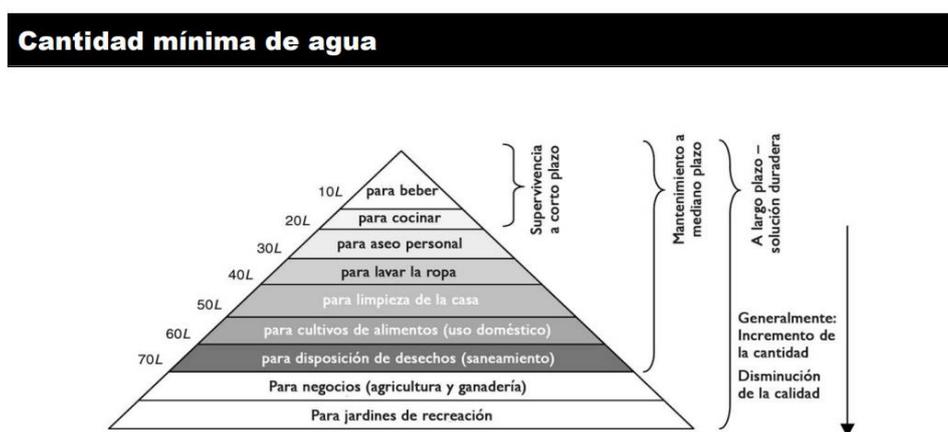


Figura 6. Jerarquía de las necesidades de agua propuesto por la Organización Mundial de la Salud para casos de emergencia (OMS, 2009).

### I. CIUDAD DE SANTA CRUZ

La Huella Hídrica Directa de la ciudad de Santa Cruz es de 1.3 millones de m<sup>3</sup> de agua al día (Figura 4) (Servicios Ambientales S. A., 2017a). Lo que la coloca en el primer lugar a nivel nacional. A nivel ciudadano cruceño, la huella hídrica de cada persona está entre 180 y 250 litros de agua al día (Figura 5) (RETEMA, 2018; SAGUAPAC, 2016).

La Paz (2012) =	208 millones de m <sup>3</sup> /año =	570 000 m <sup>3</sup> /día :
Cochabamba (2017) =	258 millones de m <sup>3</sup> /año =	707 000 m <sup>3</sup> /día :
Tarija (2015) =	29 millones de m <sup>3</sup> /año =	79 450 m <sup>3</sup> /día
Santa Cruz (2014) =	474 millones de m <sup>3</sup> /año =	1 300 000 m <sup>3</sup> /día

Figura 4. Huella Hídrica Directa de las principales ciudades de Bolivia (S.A., 2017; Servicios Ambientales S. A., 2017a).

Santa Cruz litros/personas/día	180 - 250
Cochabamba litros/persona/día	136 – 170
Sucre litros/persona/día	40 – 100
La Paz, Oruro, El Alto, y Potosí	80 litros/persona/día

Figura 5. Huella Hídrica Directa per cápita en las principales ciudades del país (Servicios Ambientales S. A., 2017b).

Estos datos también fueron estimados a nivel de las familias de los estudiantes universitarios de la carrera de Arquitectura. **Datos de tres años, desde el 2019 indican que la huella hídrica directa promedio por persona por día es de 175 litros de agua o 5.2 m<sup>3</sup> de agua por mes por persona.**

Asimismo, durante esta investigación se estimaron los flujos y demanda promedio de agua para los diferentes aparatos hidrosanitarios de un hogar. Obteniendo promedios de uso de agua de una ducha de 6 l/min, lavamanos de 5 l/min, lavaplatos de 6 l/min, cada descarga de inodoro es de 11 litros y el promedio de uso de agua por ciclo de lavado en lavadora es de 72 litros. A continuación, mayores detalles de la información:

	Litros de agua por PERSONA por DÍA	Litros de agua por PERSONA por MES	ducha (l/min)	inodoro (l/descarga)	lavadora (l/ciclo)	lavamanos (l/min)	lavaplatos (l/min)
SEMESTRE I/2019	172	5169	8	8	60	3	4
SEMESTRE II/2019	214	6408	9	10	91	8	6
SEMESTRE I/2020	176	5268	9	12	60	4	6
SEMESTRE II/2020	165	4961	3	12	63	4	8
SEMESTRE I/2021	156	4694	5	13	89	4	4
SEMESTRE II/2021	168	5048	3	13	71	5	7
<b>PROMEDIO</b>	<b>175</b>	<b>5258</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>72</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

## J. HUELLA HÍDRICA DE LA VIVIENDA SOCIAL

Se estimó la huella hídrica directa de la vivienda social con 3.5 usuarios resultando el uso de aproximadamente **620 litros de agua por día, o una huella individual de 177 litros de agua por día.**

A continuación, se describen los detalles de los volúmenes de uso:

HUELLA HÍDRICA	Total Demanda de Agua m <sup>3</sup> /día	Número de personas por día	USO DE AGUA DE UNA PERSONA		DUCHA	INODORO	LAVADORA	LAVAMANOS	LAVAPLATOS
			l/d	l/mes	l/min	l/descarga	l/ciclo	l/min	l/min
AMBIENTE									
VIVIENDA FAMILIAR	0,6	3,5	170	5100	6	11	72	5	6
					<i>Uso por persona por día</i>				
					<i>minutos</i>	<i>descargas</i>	<i>ciclos</i>	<i>minutos</i>	<i>minutos</i>
					¿Cuántos minutos de ducha?	¿Cuántas veces usa el inodoro por día?	¿Cuántas veces usa la lavadora por día?	¿Cuántos minutos usa el lavamanos una persona por día?	¿Cuántos minutos usa el lavaplatos una persona por día?
					10	3	1	10	8
					60	33	72	50	48
					SUBTOTAL (litros por persona por día)				263
					<i>Litros por día para otras actividades</i>				
RIEGO/COCINA	0,02		0	0	SUBTOTAL				20
TOTAL HUELLA HIDRICA	0,62	4			TOTAL				283
HUELLA HÍDRICA PORCENTUAL					ACTIVIDADES				%
				AGUAS GRISES	DUCHA				21
					LAVADORA DE ROPA				25
					LAVAMANOS				18
				AGUAS NEGRAS	INODORO				12
					LAVAPLATOS				17
				OTROS	REGAR/COCINAR				7
					TOTAL %				100

## CAPÍTULO V. JERARQUÍA DE DISEÑO PASIVOS BAJOS EN CARBONO

### K. JERARQUÍA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

De forma resumida, la jerarquía de la eficiencia energética dice:

“come primero tu sopa de sistemas solares pasivos, y luego podrás probar tu postre de paneles solares”.

En otras palabras, la propuesta para reducir la relación entre inversión económica, emisiones de gases de efecto invernadero y maximizar el intercambio de aire recae principalmente en el diseño pasivo, luego en la eficiencia energética, y finalmente en la utilización de sistemas de energía renovables como las solar y eólica (Dougherty, 2011; Kamal, 2012a; Yin et al., 2013).

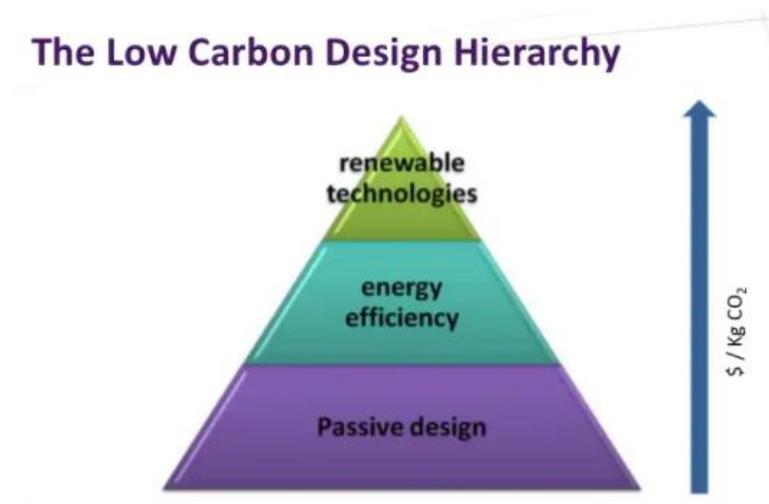
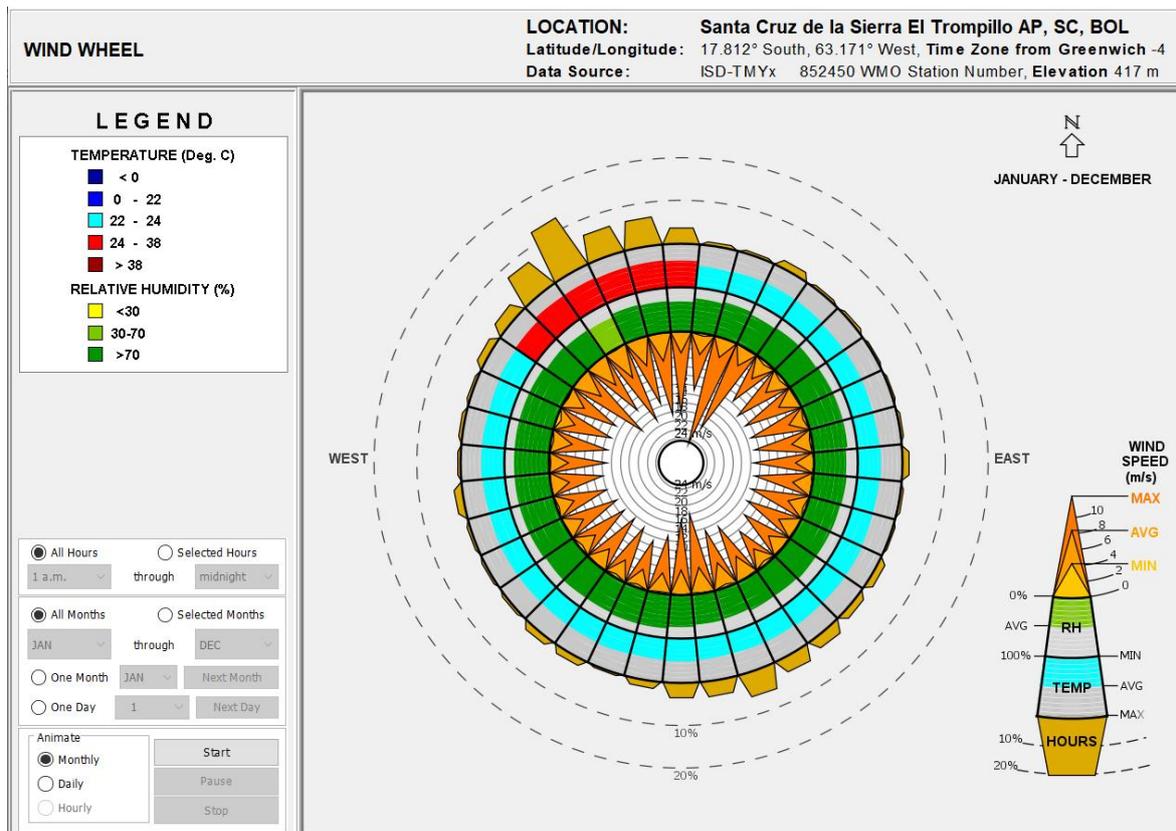


Figura 7. Jerarquía del diseño bajo en carbono propuesto por Dougherty (2011), Kamal (2012b), y Yin et al. (2013).

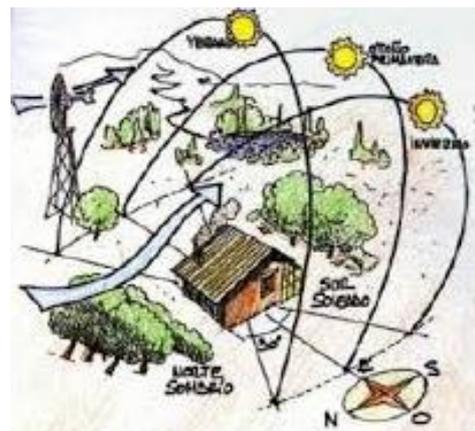
### L. SISTEMAS PASIVOS APLICABLES EN SANTA CRUZ

Según datos climatológicos de Santa Cruz aplicados en el software *Climate Consultant*, los vientos predominantes que pueden ser aprovechados para los sistemas pasivos viajan de dirección Noroeste hacia el Sureste (University of California, 2018). Mayores detalles de la dirección y magnitud de los vientos en Santa Cruz en la siguiente Figura:



Las estrategias pasivas que revisaremos son: a) orientación, b) torres de viento, c) ventilación cruzada, d) aleros y galerías, e) muros trombe, f) pozos canadienses, y g) implementación de vegetación.

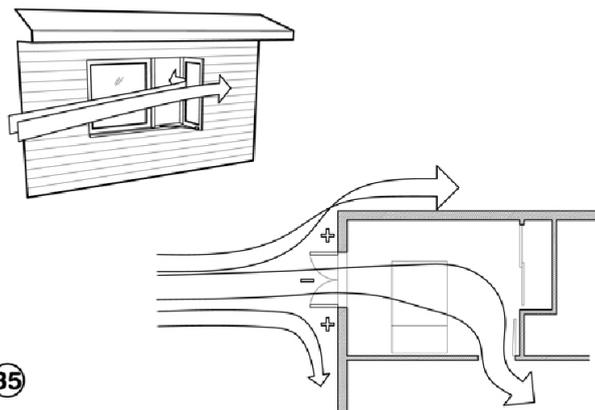
**Orientación.** Un cambio de orientación de Oeste a Sur en la dirección de la fachada de la vivienda social puede ser significativo en la reducción del uso de energía. Norte o Sur son las direcciones recomendadas en Santa Cruz para minimizar las horas de exposición a horas de sol.





**Torres de Viento (Wind Catchers).** Son estructuras que fueron desarrolladas por los persas hace miles de años y que podrían volver a considerarse (BBC, 2021). Su eficiencia de enfriamiento es alta, con diferencias de temperatura con el exterior hasta de 16 grados centígrados (BBC, 2021).

**Ventilación Cruzada** (University of California, 2018).

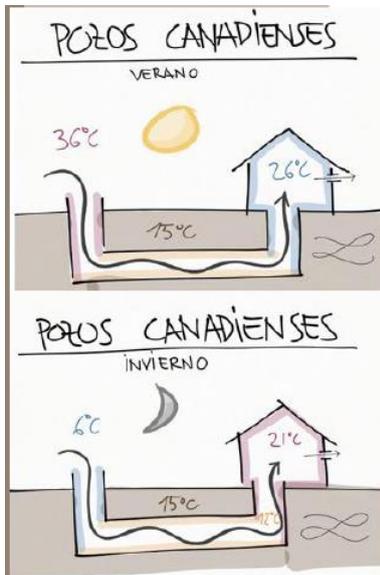


35

Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes

[Link to 2030](#)
[Print](#)
[Close](#)
 Copyright (c) 2008, 2014 Regents of the University of California

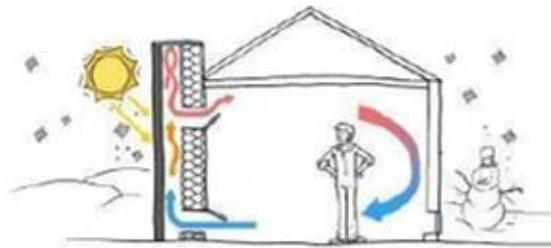
**Pozos Canadienses.**



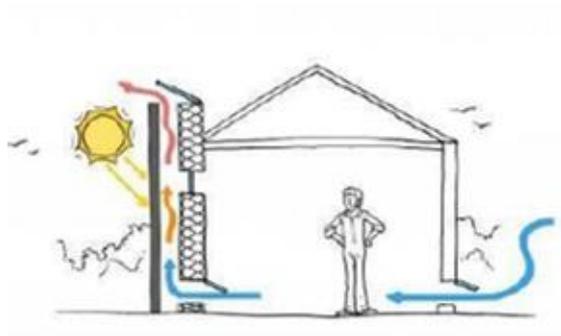
[Activar Windows](#)  
 Ve a Configuración para activar

## Muros Trombe.

HEATING



COOLING

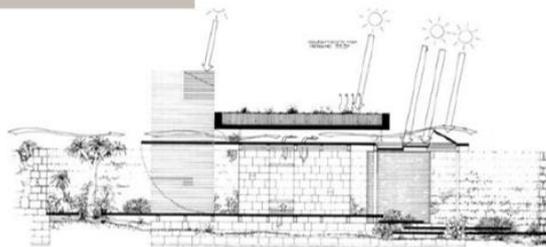


## Cubierta Ventilada

### CUBIERTA VENTILADA

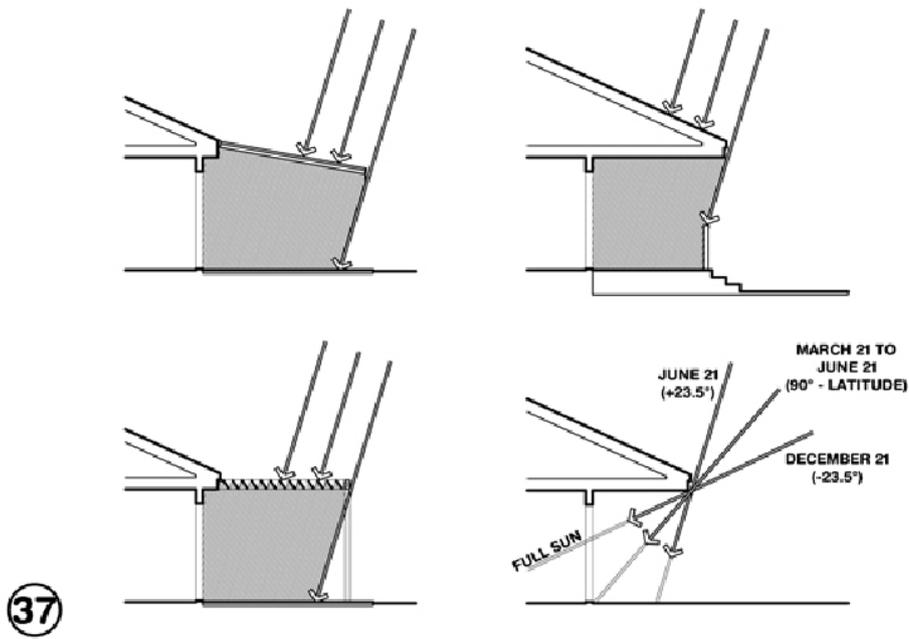
ENFRIAMIENTO MEDIANTE LA CIRCULACIÓN DEL AIRE

UN SISTEMA QUE EVITA EL RECALENTAMIENTO DE LA CUBIERTA MEDIANTE LA VENTILACIÓN, DE MODO QUE SE ELIMINE EL CALOR ABSORVIDO.



Activar Windt  
Ve a Configuració

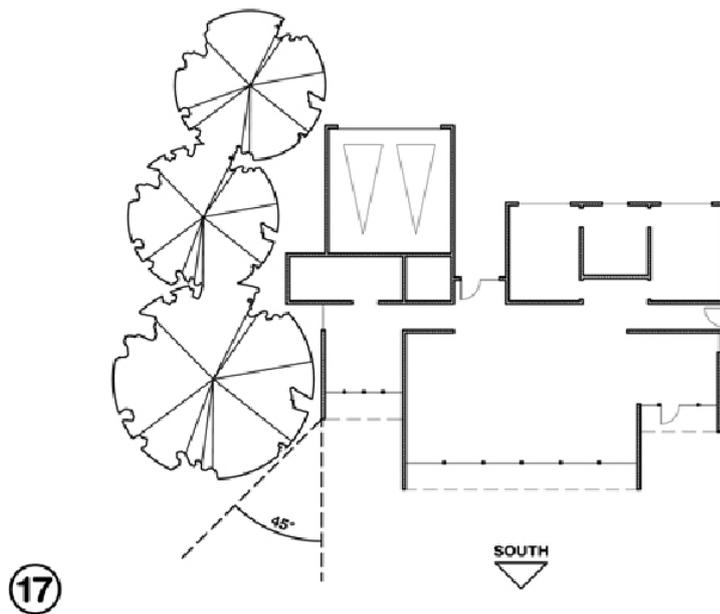
Aleros y Galerías (University of California, 2018).



37

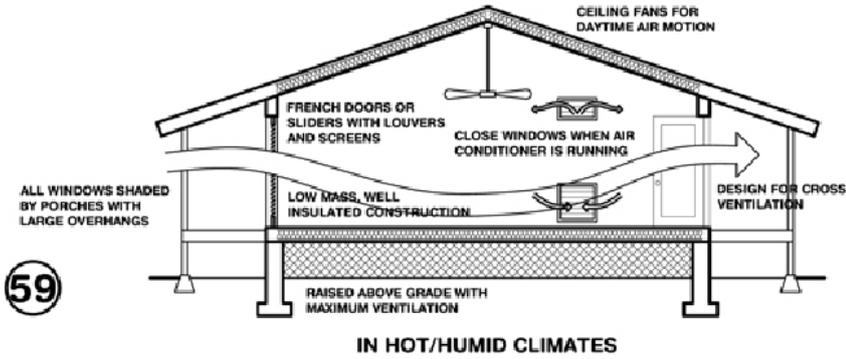
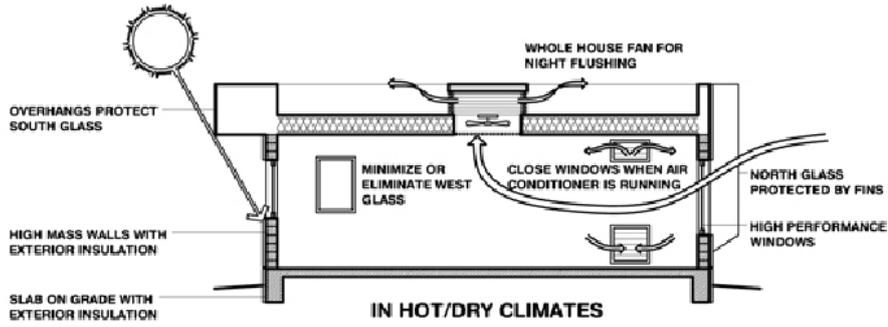
Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce or eliminate air conditioning

Uso de vegetación (University of California, 2018).

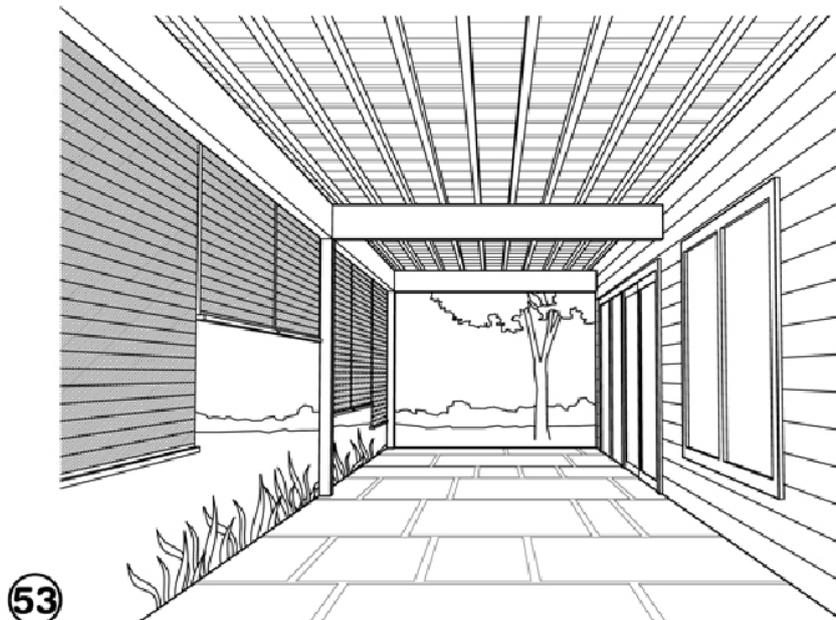


17

Use plant materials (bushes, trees, ivy-covered walls) especially on the west to minimize heat gain (if summer rains support native plant growth)



In this climate air conditioning will always be needed, but can be greatly reduced if building design minimizes overheating



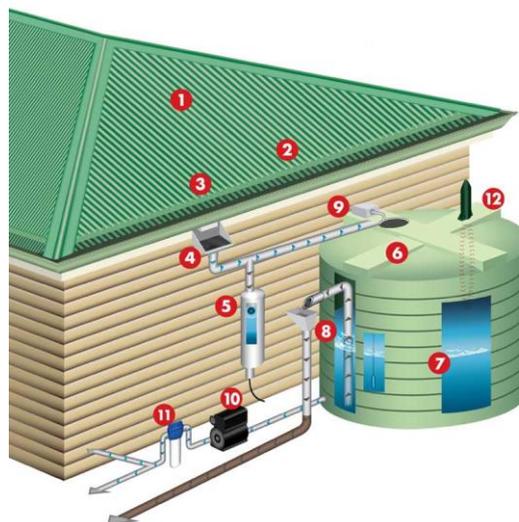
Shaded outdoor buffer zones (porch, patio, lanai) oriented to the prevailing breezes can extend living and working areas in warm or humid weather

## CAPÍTULO VI. DISEÑOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

### M. REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES



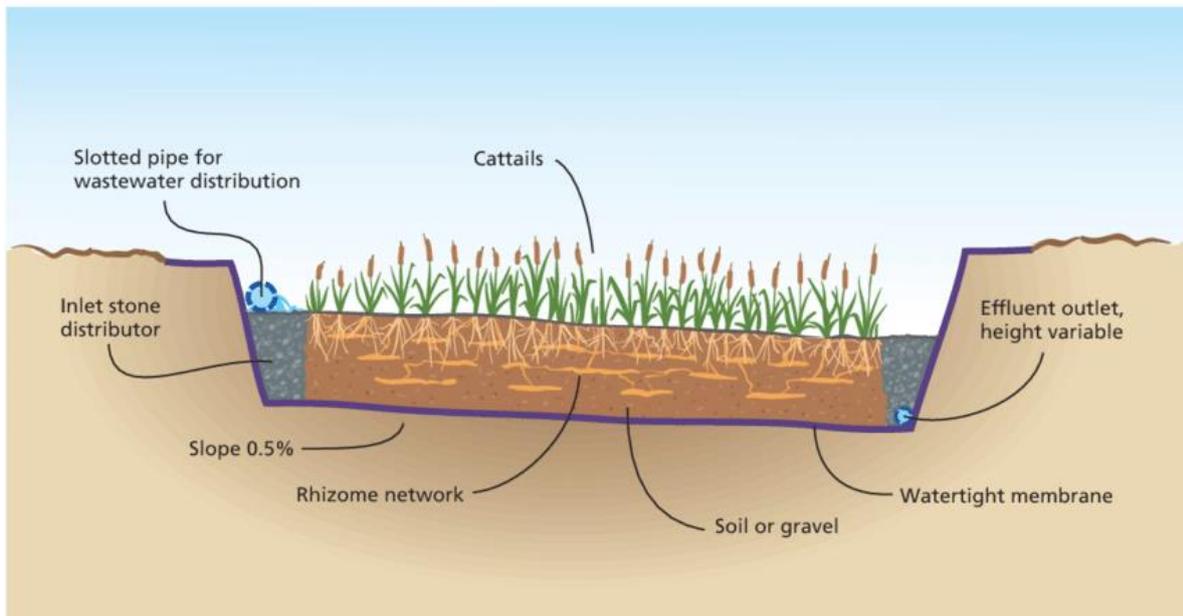
### N. COSECHA DE AGUA DE LLUVIA



### O. BAÑOS SECOS



## P. HUMEDALES ARTIFICIALES



## **CAPÍTULO VII. HUELLA ECOLÓGICA DE TRANSPORTE Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Cálculos en proceso de desarrollo.**

**Q. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

**R. HUELLA ECOLÓGICA DEL TRANSPORTE**

**S. HUELLA ECOLÓGICA DE DIFERENTES MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

## **CAPÍTULO VIII. PROPUESTAS COSTO EFECTIVAS AL MODELO DE VIVIENDA SOCIAL PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA AMBIENTAL Y LA ADAPTACIÓN POST-PANDEMIA**

Propuestas en desarrollo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balderrama, Á. (2019). Réquiem para la Vivienda Tradicional en la Amazonía Norte de Bolivia. *Universidad Católica Boliviana San Pablo, Univ. Católica Boliv. San Pablo*, 20.
- BBC. (2021, November 21). *La ingeniosa forma de los antiguos persas para mantenerse frescos (y cuya tecnología podría volver a usarse)* - *BBC News Mundo*. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-59305564>
- Cárdenas, J., Osma, G., & Ordóñez, G. (2019). Herramienta metodológica para la evaluación energética mediante simulación de edificaciones en el trópico. *Methodological tool for energy evaluation through simulation of buildings in the tropic. Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 259–268. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019024>
- Dean, B., Dulac, J., Petrichenko, K., & Graham, P. (2016). *GLOBAL STATUS REPORT 2016*. [file:///C:/Users/viank/Downloads/GABC\\_Global\\_Status\\_Report\\_V09\\_november\\_FINAL.pdf](file:///C:/Users/viank/Downloads/GABC_Global_Status_Report_V09_november_FINAL.pdf)
- Dougherty, K. (2011, August 15). ICWES15 - Sustainable Building Design: Challenge and Opportunity. Pre.... *ICWES15 - Sustainable Building Design*. <https://pt.slideshare.net/EngineersAustralia/icwes15-sustainable-building-design-challenge-and-opportunity-presented-by-kate-e-dougherty-skm-australia/6?smtNoRedir=1>
- El Deber. (2020, March 10). *Por ola de calor sube un 30% el consumo de energía eléctrica en Santa Cruz* | *EL DEBER*. [https://eldeber.com.bo/santa-cruz/por-ola-de-calor-sube-un-30-el-consumo-de-energia-electrica-en-santa-cruz\\_169006#.XmgrB7V5oHl.facebook](https://eldeber.com.bo/santa-cruz/por-ola-de-calor-sube-un-30-el-consumo-de-energia-electrica-en-santa-cruz_169006#.XmgrB7V5oHl.facebook)
- Fernández-Vázquez, C., & Fernández-Fuentes, M. (2018). Inventario, evaluación y proyección de las emisiones de carbono provenientes del sector eléctrico nacional. *Bolivia 2025. Acta Nova*, 8(3), 483–495. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892016000200007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000200007)
- Hawken, P., Lovins, H., & Lovins, A. (1999). *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution* | *Environment & Society Portal* (US Green Building Council (ed.)). <https://www.environmentandsociety.org/mml/natural-capitalism-creating-next-industrial-revolution>
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>
- Hurtado, C. (2011). *Vivienda Social Bioclimatica para Santa Cruz de la Sierra Bolivia*.
- INE. (2012). Según Datos del Censo 2012: 67,3% DE LA POBLACIÓN DEL PAÍS HABITA EN ÁREAS URBANAS Y 32,7% EN ÁREAS RURALES | CENSOS. In *Nota de Prensa*. <http://censosbolivia.ine.gob.bo/webine/article/según-datos-del-censo-2012-673-de-la-población-del-país-habita-en-áreas-urbanas-y-327-en>
- Kamal, M. A. (2012a). An overview of passive cooling techniques in buildings: Design concepts and architectural interventions. *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture*, 55, 84–97.

- Kamal, M. A. (2012b). An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions. In *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture* (Vol. 55, Issue 1).  
[https://constructii.utcluj.ro/ActaCivilEng/download/atn/ATN2012\(1\)\\_8.pdf](https://constructii.utcluj.ro/ActaCivilEng/download/atn/ATN2012(1)_8.pdf)
- La Roche, P. (2010). Cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero en edificios: Análisis del funcionamiento de varias herramientas en diferentes climas. *Informes de La Construcción*, 62(517), 61–80. <https://doi.org/10.3989/ic.09.026>
- Lucon, O., Zain Ahmed, A., Akbari USA, H., Bertoldi, P., Cabeza, L. F., Graham, P., Brown, M., Henry Abanda, F., Korytarova, K., Úrge-Vorsatz, D., Zain Ahmed, A., Akbari, H., Bertoldi, P., Cabeza, L. F., Eyre, N., Gadgil, A., D Harvey, L. D., Jiang, Y., Liphoto, E., ... Minx, J. (2014). Buildings. In O. Edenhofer, Y. Pichs-Madruga, E. Sokona, S. Farahani, K. Kadner, A. Seyboth, I. B. S. Adler, P. Brunner, B. Eickemeier, J. Kriemann, S. Savolainen, C. Schlömer, T. von Stechow, Zwickel, & Minx (Eds.), *Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter9.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter9.pdf)
- Mendieta, L. (2021, September 13). *Santa Cruz es el departamento que más crece y la ciudad tiene 600 barrios sin regularizar*. El Deber. [https://eldeber.com.bo/santa-cruz/santa-cruz-es-el-departamento-que-mas-crece-y-la-ciudad-tiene-600-barrios-sin-regularizar\\_246948](https://eldeber.com.bo/santa-cruz/santa-cruz-es-el-departamento-que-mas-crece-y-la-ciudad-tiene-600-barrios-sin-regularizar_246948)
- Ministerio de Obras Públicas, S. y V. (MOPSV). (2020). *Manual de Construcción de Viviendas Sociales*.
- OMS. (2009). Cantidad de agua necesaria para emergencias. *Notas Técnicas Sobre Agua, Saneamiento e Higiene En Emergencias*, 1–4.  
<https://www.paho.org/disasters/dmdocuments/Nota-tecnica-sobre-agua-saneamiento-higiene-09.pdf>
- RETEMA. (2018, March 15). *La importancia de analizar la Huella Hídrica de las actividades del ciclo del agua - Actualidad RETEMA*. Revista Técnica de Medio Ambiente.  
<https://www.retema.es/noticia/la-importancia-de-analizar-la-huella-hidrica-de-las-actividades-del-ciclo-del-agua-RKnUD>
- Rhode Island Department of Health. (2021, November 23). *Preventing the Spread of COVID-19 By Circulating Air in Schools and Other Buildings* | . RI COVID-19 Information Portal. <https://covid.ri.gov/covid-19-prevention/indoor-air-circulation>
- Roca, M. (2018, November 22). El Gobierno baja los precios de las viviendas sociales en Santa Cruz | EL DEBER. *El Deber: Economía*. [https://eldeber.com.bo/economia/el-gobierno-baja-los-precios-de-las-viviendas-sociales-en-santa-cruz\\_1936](https://eldeber.com.bo/economia/el-gobierno-baja-los-precios-de-las-viviendas-sociales-en-santa-cruz_1936)
- S.A., S. A. (2017). *Huella* (CAF (ed.)).  
[https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas de Ciudades-Ciudad de Santa Cruz de la Sierra.pdf?sequence=51&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas%20de%20Ciudades-Ciudad%20de%20Santa%20Cruz%20de%20la%20Sierra.pdf?sequence=51&isAllowed=y)
- SAGUAPAC. (2016). SAGUAPAC GARANTIZA AGUA PARA SANTA CRUZ. *Kandire Noticias*. <https://www.youtube.com/watch?v=hQzR-YafKil>
- Servicios Ambientales S. A. (2017a). *Serie Huella de Ciudades N. 12. Ciudad de Santa Cruz de la Sierra*. <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas>

de Ciudades-Ciudad de Santa Cruz de la Sierra.pdf?sequence=51&isAllowed=y

Servicios Ambientales S. A. (2017b). *Serie Huella de Ciudades No. 12 Ciudad de Santa Cruz de la Sierra* (CAF (ed.)).

[https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas de Ciudades-Ciudad de Santa Cruz de la Sierra.pdf?sequence=51&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1663/Huellas%20de%20Ciudades-Ciudad%20de%20Santa%20Cruz%20de%20la%20Sierra.pdf?sequence=51&isAllowed=y)

SgARQ. (2017, June 19). *¿Qué es el confort térmico?* Arquitectura y Eficiencia Energética.

<https://sgarq.com/que-es-el-confort-termico/>

Toledo, Y. (2019, November 20). *Santa Cruz bate el récord histórico de consumo eléctrico* | *EnergyPress*. Energy Press. <https://www.energypress.com.bo/2019/11/20/santa-cruz-bate-el-record-historico-de-consumo-electrico/>

University of California. (2018). *Climate Consultant* (6.0). University of California.

Xiao, Y., Xiong, Q., & Pan, K. (2018). What is left for our next generation? Integrating ecosystem services into regional policy planning in the three gorges reservoir area of China. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/su11010003>

Yin, L., Jiangong, Y., & Hong, Y. (2013). The passive design strategy of ecological residence adapted to Nanjing area. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 17(sup1), s103–s110. <https://doi.org/10.1080/19648189.2013.834588>