



Revista  
Hábitat Sustentable

ISSN 0719 - 0700 / Vol 4 N° 2 / diciembre 2014

V4N2



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

## EDITORIAL

Me complace presentar la nueva edición de la Revista Hábitat Sustentable, sostenida por el Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura de la Universidad del Bío-Bío, cuyos relevantes cambios, que aquí nos permitimos compartir, respaldan su progreso constante. La Dra. Maureen Trebilcock, fundadora de la revista y Editora principal desde el año 2011, ha asumido un alto cargo institucional que ha implicado su alejamiento de esta función; no obstante, continúa participando en el Comité Editorial, como también llevando a cabo investigación en el área. En estas páginas agradecemos su significativa visión y dedicación a la revista, con las cuales fue posible, en pocos años, lograr un desarrollo sustancial de la publicación. Desde esta edición, le damos la bienvenida a la nueva Editora, Dra. Claudia Muñoz Sanguinetti, académica del Depto. de Ciencias de la Construcción, y al Arquitecto Ms. Hernán Barria Chateau como Editor Asociado de Arquitectura. Además, el proyecto CD-INES en Hábitat Sustentable de la U. del Bío-Bío, liderado por el Dr. Mario Ramos, se ha hecho cargo a partir de este semestre del financiamiento operativo de la revista, en un plan conjunto con las restantes publicaciones de la Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Revista Arquitecturas del Sur y Revista Urbano. En ese tenor, asume, como gestora editorial, la Ms. Theresa Saint John, en la dirección de arte, el Arquitecto Nicolás Sáez y, en la corrección de estilo, la Dra. Olga Ostría. Extendemos nuestras felicitaciones al flamante equipo editorial. Por su notable esfuerzo en los primeros años de esta publicación, agradecemos igualmente a la Arquitecta Paulina Wegertseeder, anterior encargada de gestión editorial -quien ha completado su formación doctoral, avanzando hacia otras funciones académicas.

El nuevo apoyo con el que se cuenta busca perfilar la revista hacia una mejor calidad editorial y al consecuente proceso de indexaciones científicas, por lo cual se han ajustado diversas condiciones y se espera perfeccionar la plataforma informática. Asimismo, se ha ampliado el repertorio de evaluadores, a quienes reconocemos y retribuimos su constante labor de selección y sugerencias para la óptima divulgación de los trabajos expuestos.

Todas estas transformaciones se han desarrollado paralelamente a la preparación de la última edición de la revista, la que, con todo, ha mantenido sus plazos de publicación, calidad y variedad de contenido característicos. El segundo número del cuarto volumen, correspondiente a diciembre de 2014, incluye seis artículos seleccionados después de un arduo proceso de evaluación, correcciones de los autores y edición editorial, que representan valiosos aportes al conocimiento de un desarrollo sostenible en la edificación. El primer artículo aborda las nuevas estrategias de iluminación natural con apoyo de paneles fotovoltaicos, que permiten reducir el consumo energético e impacto ambiental de las edificaciones, con una mejor habitabilidad. El siguiente texto analiza el ciclo de vida de la cadena productiva del hormigón premezclado -considerado como el material constructivo de mayor presencia en Chile-, revelando posibilidades de mitigación en los procesos ejecutivos. Un siguiente artículo aborda la evaluación económica de eficiencia energética en viviendas sociales uruguayas, y otro examina las capacidades geotérmicas para establecimientos turísticos en Argentina. Por último, la situación de confort térmico en los espacios públicos urbanos y una propuesta de rehabilitación urbana para la Colonia Tarahumara en Ciudad Cuauhtémoc (Chihuahua, México), culminan el presente número.

Este repertorio de contribuciones al hábitat sustentable, de distintos investigadores latinoamericanos, ofrece renovadas perspectivas para el diseño arquitectónico y la construcción con mayor responsabilidad ambiental. Un desafío crucial para los profesionales y estudiantes del área que nos enorgullece presentar en las próximas páginas de esta edición.

# Sistema de iluminação integrada em edificação lat 15 sul e potencial de uso de geração fotovoltaica.

Artículo recibido 05-05-14  
aceptado 10-09-14

## Integrated lighting systems in building at 15° S latitude: Use of photovoltaic generation as a complement.

LUCIANE CLEONICE DURANTE.  
Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, Brasil/  
ucianedurante@hotmail.com

DANILO FERREIRA DE SOUZA  
Universidade federal de mato grosso - Cuiabá, Brasil/  
danilo@ufmt.br

IVAN JULIO APOLÔNIO CALLEJAS.  
Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá - Brasil/  
ivancallejas@ig.com.br

KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI.  
Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, Brasil/  
karyna.rosseti@gmail.com

CARLOS BEUTER.  
Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, Brasil/  
cbeuter@ufmt.br

**Palavras-chave:**  
emissões de CO<sub>2</sub>,  
eficiência energética,  
iluminação natural.

### RESUMO

Este artigo teve por objetivo geral avaliar o desempenho energético e luminoso de uma edificação considerando situações de proteção e exposição solar totais de suas aberturas. Especificamente, os objetivos foram: estimar curvas de isoiluminâncias a partir de medições e simulações; estimar a economia energética proporcionada por sistema de iluminação complementar controlado pelo usuário (Cenário 1- real) e por sistema que desconsidera a contribuição da iluminação natural (Cenário 2- simulado); dimensionar áreas de painéis fotovoltaicos para atender a iluminação artificial desses Cenários e estimar as emissões evitadas pelo aproveitamento da luz natural. Os resultados demonstraram que o Cenário 1 apresentou valores médios de Contribuição de Iluminação Natural (CIN) de 2% e economia de 10,5% do total de energia anual se comparado ao Cenário 2, que por sua vez proporcionou CIN até 17 vezes maior, caracterizando iluminação excessiva. Seriam necessários o cobrimento de 3% e 37% do telhado com painéis fotovoltaicos para suprimento da energia dos Cenários 1 e 2, respectivamente. A implantação do sistema fotovoltaico mostrou-se economicamente inviável, com tempo de retorno do investimento de 60 anos, superior à sua vida útil. Porém, ambientalmente, evidenciaram-se os benefícios, evitando-se a emissão de 689kgCO<sub>2</sub>/ano, equivalentes à neutralização processada por 4 unidades arbóreas no mesmo período.

**Keywords:**  
CO<sub>2</sub> emission, energy  
efficiency, natural  
lighting.

### ABSTRACT

The objective of this article is to evaluate building energy and illumination performance considering situations of total sun protection and exposure of building openings. The specific objectives were: to estimate equal illuminance curves with measurements and computer simulations; to estimate the energy savings provided by a supplementary lighting system controlled by the user (Scenario 1 - real) and another system that ignores the contribution of natural lighting (Scenario 2 - simulated); to quantify photovoltaic panel areas to meet these artificial lighting scenarios (1 and 2) and to estimate the CO<sub>2</sub> emissions avoided by the use of natural light. It was demonstrated that Scenario 1 presented average Contribution of Natural Lighting (CIN) values of 2% and saved 10.5% of total annual energy when compared to Scenario 2. The last CIN presented was up to 17 times higher than Scenario 1, which provided excessive illumination in the room studied. It would be necessary to cover 3% and 37% of the roof with photovoltaic panels to supply energy for Scenarios 1 and 2, respectively. The installation of a photovoltaic panel system would be economically unviable, with a payback period of 60 years, longer than its lifetime. However, it was possible to demonstrate its environmental benefits, the elimination of 689kg of CO<sub>2</sub> emissions/year, which is equivalent to the neutralization provided by four arboreal units in the same period.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a temática da eficiência energética nas edificações está incorporada na agenda dos governos na forma de políticas de racionalização do consumo de energia e bens renováveis. Considerando que investimentos na eficiência energética de edificações além de oferecer benefícios financeiros também proporcionam benefícios ambientais, muitos países vêm percebendo a importância de edificar de forma sustentável, estabelecendo políticas públicas que visam o aumento da eficiência das suas edificações.

Nesse sentido, existem hoje, na maioria dos países, instrumentos que qualificam o desempenho das edificações quanto ao seu consumo de energia, promovendo a diminuição do desperdício, o aumento da eficiência dos equipamentos e maior adequação das edificações ao clima dos locais em que se inserem. Além disso, esses programas promovem a geração de energias limpas, redutoras das emissões de poluentes no ambiente, tais como a fotovoltaica.

A União Europeia, em 2002, definiu uma política de uso eficiente de energia por meio de um conjunto de medidas de redução do consumo e diversos países implantaram sistemas de certificação que informam aos cidadãos a qualidade termoenergética dos edifícios. Nos EUA, as normas de eficiência são usadas há cerca de 30 anos. Na Holanda e Portugal, a certificação é obrigatória desde 1995 e 2010, respectivamente (MELO et al., 2011).

No Brasil, com a crise do setor elétrico em 2001 e após um período de racionamento de energia, o governo começou a estabelecer ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica nos edifícios. Neste contexto, tem-se a elaboração da Lei 10.295, que estabelece mecanismos de eficiência energética em edificações (BRASIL, 2001). Uma das consequências desta normatização foi o fortalecimento do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que lançou, no ano de 2003, o PROCEL-Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. Com isso, em janeiro de 2012, o Brasil estabeleceu o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), bem como seu desdobramento ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia). Assim, o processo de qualificação do quanto eficiente é uma determinada edificação tornou-se desta forma sistematizado e quando se comparam edificações que apresentam condições ambientais similares, é mais eficiente aquela que despense menor consumo energético para manutenção dessas condições.

Um dos requisitos do processo de qualificação da eficiência de um edifício é o sistema de iluminação. Entende-se por um sistema de iluminação eficiente aquele que apresenta menor potência instalada e, conseqüentemente, menor consumo de energia, garantidas as condições adequadas de iluminação

(BRASIL, 2010). Neste sentido, o aproveitamento da luz natural, além de garantir os níveis mais adequados para as atividades humanas, reduz a necessidade da luz artificial, resultando em menor consumo de energia (FONSECA, DIDONÉ e PEREIRA, 2012). Albuquerque e Amorim (2012) afirmam que o uso da iluminação natural, além de ser importante recurso para promover qualidade no ambiente e bem-estar, tem impacto significativo na redução do uso de energia.

Os sistemas de iluminação são responsáveis por aproximadamente 24% do consumo de energia em edificações comerciais no Brasil, segundo Lamberts et al. (1997). Tendo em vista a grande disponibilidade de luz dos céus brasileiros, muita economia poderia ser feita através da utilização mais intensiva do recurso natural. Um bom projeto de iluminação natural pode fornecer a iluminação necessária durante 80% a 90% das horas de luz diária, permitindo significativa economia de energia para fins de iluminação artificial (VIEIRA, 2011).

Souza (2003) propôs uma metodologia para estimar a potencialidade de aproveitamento da luz natural utilizando sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica gasta em iluminação artificial e verificou que as estratégias de controle automático podem reduzir o consumo, chegando a atingir um potencial de aproveitamento da luz natural de 87%.

O potencial de economia advindo do uso da iluminação natural é diretamente determinado pelos fatores de localização geográfica, clima, entorno, uso e características físicas da edificação. Quanto menor a latitude, maior a quantidade de luz disponível na abóbada, muito embora se aumente a necessidade de condicionamento térmico para fins de resfriamento (VIANNA E GONÇALVES, 2007).

A Diretriz 91 da Comunidade Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios recomenda que na avaliação da quantidade de energia consumida nestes, deve-se levar em conta a influência positiva do aproveitamento de iluminação natural (COMUNIDADE EUROPÉIA, 2001).

A excelente qualidade da luz natural justifica a necessidade de priorização de seu uso, visto que é a única fonte de luz que responde de forma completa às exigências do sistema visual humano. Vários estudos já foram desenvolvidos e demonstram que conscientes ou não, a maioria das pessoas, preferem a luz natural à artificial.

Considerando a variabilidade da disponibilidade da luz natural ao longo do dia, é seguro afirmar que, na maioria das vezes, haverá necessidade de um sistema de iluminação artificial complementar de forma a garantir os níveis de iluminação adequados no ambiente (VIANNA E GONÇALVES, 2007; DIDONÉ e PEREIRA, 2010; GHISI, TINKER e IBRAHIM, 2005).

Ho, Chiang, Chou, Chang e Lee (2008) investigaram o desempenho de tipologias de janelas em salas de aula com iluminação unilateral, em região subtropical. A tipologia com bandeja de luz dupla resultou em economia de 70% de energia elétrica e proporcionou maior uniformidade ao longo da largura, exigindo luz artificial complementar apenas na área mais afastada da janela.

Uma alternativa sustentável para o sistema artificial complementar é a geração a partir de células fotovoltaicas. Este tema vem sendo estudado, muito embora seja incipiente a legislação que especifique o aproveitamento da luz natural com o uso do potencial energético solar, Almeida e Gomes Martins (2009) afirmam que painéis fotovoltaicos utilizados em sistemas de iluminação proporcionam economia energética.

A geração de energia fotovoltaica se baseia na intensidade de luz incidente sobre os painéis, sendo necessária exposição direta à luz do sol na maior parte do dia (FARRET, 2010). Desta forma, paredes e telhados fotovoltaicos devem ser projetados para que sua orientação e dimensionamento atendam à capacidade de carga demandada (BROWN e DEKAY, 2002).

Este artigo tem por objetivo geral investigar o desempenho energético e luminoso em edificação na latitude 15,5° Sul com as quatro fachadas envidraçadas, considerando dois modelos das aberturas da edificação: com proteção solar total e com exposição solar total. Os objetivos específicos são: (a) estimar as curvas de isoiluminâncias a partir de medições e simulações; (b) estimar a redução do consumo de energia proporcionada por dois sistemas de iluminação: sistema complementar controlado individualmente pelo usuário (Cenário 1) e sistema que desconsidera a contribuição da iluminação natural (Cenário 2); (c) dimensionar as áreas necessárias de painéis fotovoltaicos para fins de iluminação artificial para atender aos Cenários 1 e 2 e (d) estimar as emissões de CO<sub>2</sub> que seriam evitadas pela economia advinda do aproveitamento da luz natural.

## 2 MATERIAIS E METODO

O método experimental considerou a medição da iluminância no edifício do Centro SEBRAE de Sustentabilidade (Serviço de Apoio a Pequenas e Médias Empresas), em Cuiabá/MT, cuja fachada principal foi implantada com azimute de 297°, constituído de Pavimento Térreo que abriga um Salão Principal e de Pilotis contendo Área Externa, Auditório e Sala Técnica (Figura 1). O layout de planta aberta dispõe de três áreas de ocupação permanente: uma área de reuniões à direita (fachada nordeste), postos de trabalho na parte central e uma biblioteca à esquerda (fachada sudeste).

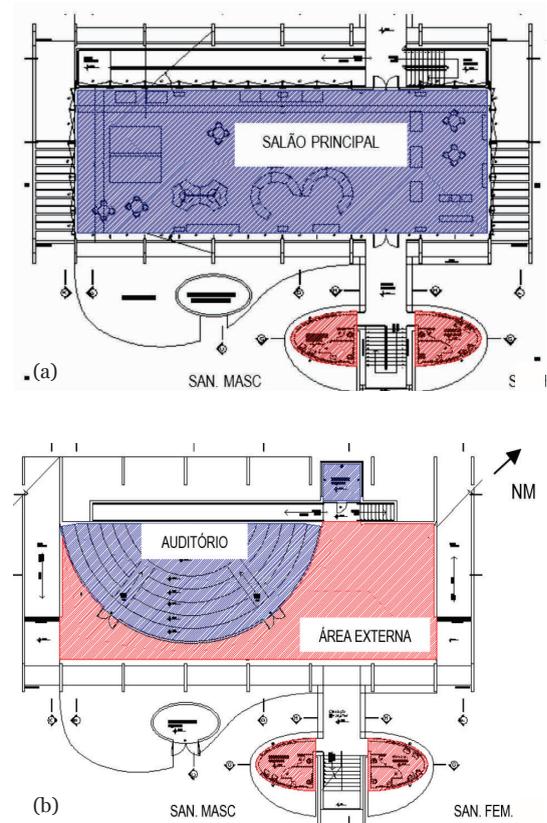
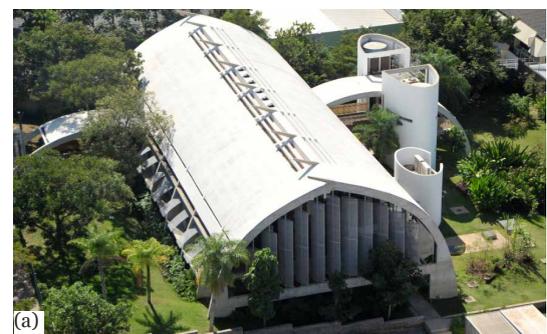
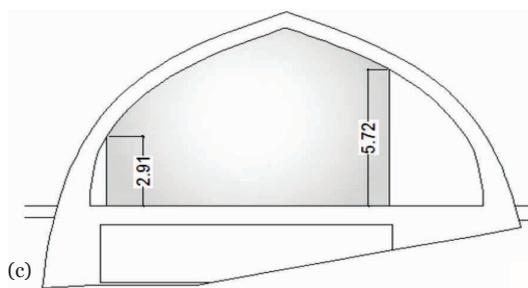


Fig. 1 (a) Planta baixa do Pavimento Térreo e (b) Pilotis do CSS.

O ambiente objeto de estudo é o Salão Principal do Pavimento Térreo, com dimensões de 10,55m de largura e 29,70m de comprimento, onde laboram até 14 colaboradores por 8 horas diárias. A cobertura foi edificada em casca dupla de concreto (Figura 2a). A escolha deste ambiente se justifica pelo fato de que em sua concepção foi priorizado o uso da luz natural e por não possuir sistema de iluminação artificial geral. Outra característica é a iluminação zenital composta por seis luminárias de acrílico leitoso com 50cm de diâmetro dispostas na cumeeira da casca de cobertura (Figura 2b). O pé direito é variável, com altura das janelas da fachada noroeste e sudeste de 5,72 e 2,91m, respectivamente (Figura 2c).





**Fig. 2** (a) Cobertura em casca, (b) Iluminação zenital do Salão Principal e (c) Seção transversal esquemática com as alturas dos vidros nas fachadas principal e secundária (cotas em m).

**Fig.3** (a) Luminárias pedestais nos postos de trabalho, (b) Fechamento em vidro da fachada noroeste, beiral e parte interna dos brises e (c) E vista externa dos brises móveis de chapa perfurada.

Utiliza-se apenas iluminação de tarefa em algumas horas do dia, constituída por luminárias pedestais móveis posicionadas nos postos de trabalho ou mesas de reuniões, conforme a necessidade (Figura 3a). Os fechamentos verticais são em sua totalidade de vidro temperado 10mm, totalmente protegidos por beirais e brises móveis em chapa metálica perfurada. A vegetação do entorno também proporciona sombreamento na edificação (Figuras 3b e 3c).

Conforme NBR 15215-4 (ABNT, 2005), calculou-se o número de pontos de medição de iluminância pela Equação 1, onde C e L são largura e comprimento do ambiente (m), respectivamente e H<sub>m</sub> é a distância vertical (m), entre o plano de trabalho e o topo da janela.

$$K = \frac{(C + L)}{H_m(C \cdot L)}$$

Equação 1

Por ser de permanência transitória, desconsiderou-se a parte do Salão Principal que abriga a biblioteca, tomando-se como comprimento 23,50m, obtendo-se K=1,91 e 16 pontos de medição, conforme NBR 15215-4 (ABNT, 2005). Por questões de adequação ao layout, a malha foi traçada com 5 fileiras de 3 pontos de medição, totalizando 15 pontos.

No centro dos retângulos que compõem a malha de

medição, em altura de 80cm, a iluminância foi medida por meio de 15 registradores automáticos marca HOBO U12-012 (Figura 4b), devidamente calibrados entre si antes da medição, que registram a faixa de 10 a 32280 lux, programados para efetuar registros em intervalos de 15 minutos. O período de realização das medições foi de 14 a 18/11/2013 e as condições de nebulosidade eram de céu parcialmente nublado nos três primeiros dias e nublado nos dois últimos. Os resultados da iluminância (em lux) foram tabulados para o período diurno (das 6 às 18h) em termos de médias horárias dos 5 dias de medição. Curvas de isoiluminância para o horário das 12h foram elaboradas, em termos de Contribuição de Iluminação Natural (CIN), definida pela NBR 15215 (ABNT, 2005). A CIN representa a razão entre a iluminação natural em um determinado ponto do plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de iluminâncias conhecida (EP), e a iluminação em um plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste, com distribuição de luminâncias conhecidas (EH<sub>ext</sub>), expressa em porcentagem (Equação 2). Considerou-se a variação de 1% entre as curvas e os valores intermediários foram aproximados para números inteiros.

$$CIN = \frac{E_p}{E_{Hext}} \cdot 100 (\%)$$

Equação 2

## 2.1 Método de simulação

O método de simulação computacional foi utilizado para elaboração das curvas de isoiluminâncias, considerando o modelo atual da edificação na qual foram realizadas as medições, o que permitiu a calibração do modelo. Para tanto, utilizou-se o software ReluxPro - Light Simulaton Tool, da Autodesk, de livre acesso.

A etapa de simulação de edifícios, segundo Oliveira (2010), deve ser trabalhada primeiramente para fins de calibração do aplicativo computacional, por meio da qual é assegurado que as predições do modelo matemático e do objeto estudado estão em consonância. Na sequência, o aplicativo deve ser validado, verificando-se a fidedignidade entre resultados da simulação e as condições reais de funcionamento. Desta forma, foi construído o modelo com as quatro fachadas dispendo de proteções solares, com o qual foi realizada a calibração entre os dados medidos e simulados, considerando as curvas de isoiluminância média do período de medição, às 12h.

Após calibração do modelo, as proteções solares das fachadas foram retiradas, para a simulação e elaboração das curvas de isoiluminâncias com as quatro fachadas expostas.

Para o cálculo das áreas de painéis fotovoltaicos foram estabelecidos dois cenários de demanda de energia. O primeiro cenário exprime a forma como a edificação foi concebida e é usada atualmente, na qual não existe iluminação artificial geral, apenas a iluminação de destaque e os usuários fazem uso de iluminação complementar em pedestal, disposto em cada posto de trabalho. O segundo cenário consiste de um sistema que desconsidera a contribuição da iluminação natural e que atribui toda a iluminação necessária de 500lux nos postos de trabalho à iluminação artificial, valor este recomendado para a atividade de escritórios, segundo a ISO NBR 8995 (2013). Os resultados foram expressos em termos de demanda de energia para suprir a iluminação complementar durante o período em que a mesma é necessária (no Cenário 1) ou a iluminação total (no Cenário 2).

O sistema complementar do Cenário 1 consiste de luminárias do tipo pedestal com 2 lâmpadas T5 de 14W e 2 reatores de 2W, de controle individual dos usuários, disponibilizados em cada posto de trabalho. A energia demandada deve suprir a iluminação de 500lux nos postos de trabalho e 300 lux nas circulações. No sistema do Cenário 2, que desconsidera a contribuição da iluminação natural, foi considerada uma densidade de iluminância de 10,5W/m<sup>2</sup>, com vistas a atender aos requisitos do nível de eficiência A, do regulamento brasileiro de eficiência energética de edificações (PROCEL, 2006).

## 2.2 Economia de energia do Cenário 1 em relação ao Cenário 2.

A economia de energia (ec) entre os cenários 1 e 2 foi calculada conforme a equação 3, onde  $E_i$  é a energia gasta no cenário 2, no período de um mês (kwh);  $E_p$  é a energia gasta no cenário 1 no período de um mês (kwh); e  $E_t$  é a média de consumo energético mensal total da edificação (kwh) e  $ec\%$ , o percentual de economia.

$$Equação\ 3 \quad Ec\% = \frac{E_i - E_p}{E_t + (E_i - E_p)} * 100$$

O consumo médio mensal obtido através do histórico de faturas de energia elétrica dos períodos de janeiro de 2012 a julho de 2013 da edificação é de 4.246,7kWh/mês (Tabela 1).

Mês/Ano	Consumo (kWh)	
	2012	2013
jan	3.444	2.706
fev	4.428	3.690
mar	4.510	5.904
abr	4.756	3.854
mai	4.674	4.182
jun	2.952	3.772
jul	2.952	3.936
ago	3.526	
set	4.592	
out	5.904	
nov	5.986	
dez	4.920	
<b>Consumo Médio (kWh)</b>	<b>4.246,7</b>	

Tabela 1 Histórico de consumo de energia elétrica no período de 01/2012 a 07/2013.

## 2.3 Dimensionamento da área necessária para painéis fotovoltaicos.

O potencial de geração fotovoltaico foi estimado com base nos valores de radiação solar disponíveis no arquivo climático do local de estudo (15,5°S; 56,5°O), utilizado em simulações termoenergéticas no software Energy Plus (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013). Os valores fornecidos por este arquivo climático são apresentados a cada 15min para todos os dias de um ano, de modo que foram considerados todos os valores que se encontram dentro do intervalo das 06h00min às 18h00min, sendo que os mesmos foram somados para obter a radiação fornecida a cada hora do dia. Posteriormente, calculou-se o valor médio mensal para cada intervalo de hora de um mesmo mês, com o intuito de estimar o valor médio horário de radiação solar e o potencial de geração fotovoltaica. Os meses com maiores valores médios de radiação são Agosto e Dezembro, com aproximadamente 805W/m<sup>2</sup>, enquanto Janeiro tem o menor valor médio de 529W/m<sup>2</sup>. O valor médio anual de radiação é aproximadamente 690W/m<sup>2</sup>.

Com base no valor médio anual de radiação solar (DOE, 2013), calculou-se a área mínima de painéis fotovoltaicos para suprir a demanda de energia elétrica necessária para complementar à iluminação natural nos dois cenários propostos. Para tanto, foi necessário levar em consideração que os painéis fotovoltaicos um potencial de conversão de energia solar para energia elétrica de 103W/m2 (BARBOSA, 2010).

## 2.4 Avaliação da viabilidade econômica e ambiental.

Avaliou-se a viabilidade financeira da proposta de implantação das placas fotovoltaicas para suprir a iluminação artificial necessária para complementar a iluminação natural. Uma proposta só pode ser considerada viável se os benefícios por ela alcançados são maiores que os custos de sua implantação. Para tanto, utilizou-se de uma ferramenta de análise econômica que “trata da relação entre valores monetários e o tempo”, conforme IBAM/Eletróbrás (2004). Essa avaliação foi feita por meio do índice de custo de energia conservada (CEC), que verifica se determinada solução traz vantagens ao empreendimento, pois considera a instalação e a economia gerada no consumo de energia pelo uso de novos equipamentos. A avaliação é feita em reais por quilowatt hora (R\$/kWh) e pode ser calculada a partir da Equação 4, conforme Carlo (2008), onde CEC é o custo de energia conservada, em R\$/kWh; TCC é o custo das medidas de conservação de energia (MCE), em R\$; ΔE é a energia economizada pela implementação da MCE em relação a um caso base, em kWh/ano; n é a vida útil da MCE, em anos e d é a taxa de desconto em base anual, aqui equiparada ao Índice Nacional de Custos ao Consumidor (INCC), usualmente aplicado no setor da indústria da construção civil no Brasil, no valor de 7,89%.

Equação 4

$$CEC = \left( \frac{TCC}{\Delta E} \right) \cdot \left( \frac{d}{[1 - (1 + d)^{-n}]} \right)$$

Para verificar a viabilidade econômica da solução, o valor do custo de energia conservada é dividido pelo valor da energia elétrica fornecida pela concessionária para a edificação, no valor de R\$0,38/kWh (U\$0,15/kWh), segundo CEMAT (2014) e só será considerada vantajosa economicamente se esse resultado for inferior a 1 (Equação 5).

Equação 5

$$\left( \frac{CEC}{Custo kWh} \right) < 1$$

Tradicionalmente, o CEC é avaliado em conjunto com a economia de energia que ele proporciona. O seu conceito está relacionado a uma comparação com a tarifa de energia: caso o CEC seja menor que o custo de 1 kWh (tarifa de energia), o investimento é considerado vantajoso.

Para avaliação da quantidade de emissões de CO2 evitadas pela adoção da MCE considerou-se a relação de 0,115kgCO2/kWh, proposta por BEN (2014).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 CURVAS DE ISOLUMINÂNCIAS

A Figura 4 apresenta as curvas de isoiluminância traçadas a partir da iluminância média do período de medição nos pontos de 1 a 15, às 12h. Os valores médios da Contribuição da Iluminação Natural (CIN) variaram de 6 a 1%. A iluminação natural é mais abundante na fachada 63° (pontos 1, 6 e 11) e no ponto 2, com 1326 lux ou CIN=6%. Nos pontos 5 e 14, obtiveram-se os valores de CIN=2% e valores de iluminância de 263 e 409lux, respectivamente. Nos demais pontos obteve-se CIN=1%, com iluminação natural uniforme.

Destaca-se que as condições de nebulosidade eram de céu parcialmente nublado nos três primeiros dias e nublado nos dois últimos, sendo os resultados obtidos representativos desta condição de céu.

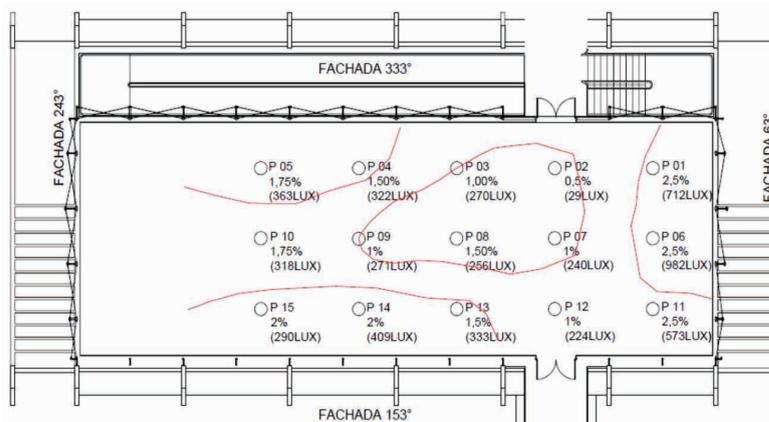


Fig. 4 Curvas médias de isoiluminância dos pontos 1 a 15, a partir de dados medidos no período de 14 a 18/11/2013.

A Figura 5 apresenta as curvas de isoiluminância geradas pela simulação da do dia 14/11, às 12h. Com exceção dos pontos 2 e 15, observa-se similaridade no comportamento das curvas, em que a iluminação natural decresce da fachada 63° para o interior do edifício, com variação dos valores de 1000 a 200lux.

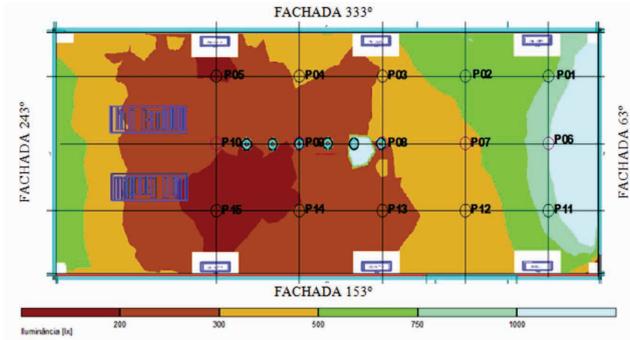


Fig. 5 Curvas de isoiluminância a partir de dados simuladas do dia 14/11/2013, às 12h, modelo do edifício com proteção solar total.

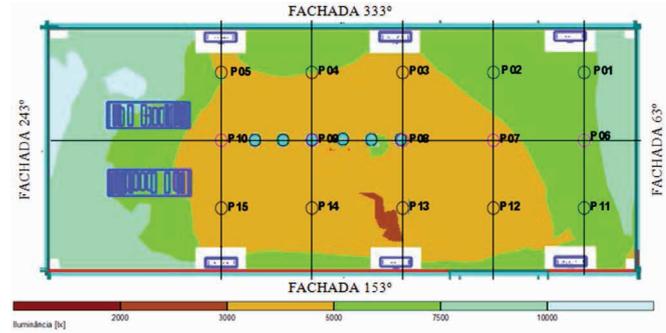


Fig. 8 Curvas de isoiluminância simuladas para o modelo do edifício sem as proteções solares, para o dia 14/11, às 12h.

Para fins de calibração dos dados medidos foram comparados com os valores simulados (Figura 6), obtendo correlação linear positiva com R2 de 0,7303 (Figura 7), após exclusão do ponto 2, justificado pelo comportamento de outlier.

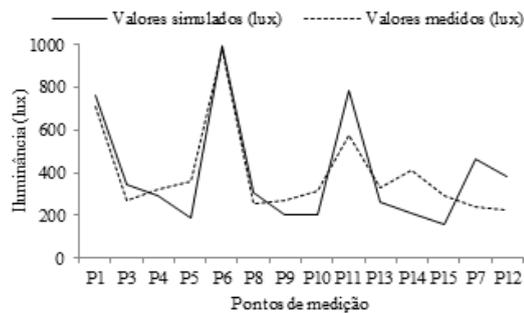


Fig. 6 Iluminância simulada no modelo com proteção solar total às 12h do dia 14/11 e iluminância medida no período de 14 a 18/11/2013, às 12h.

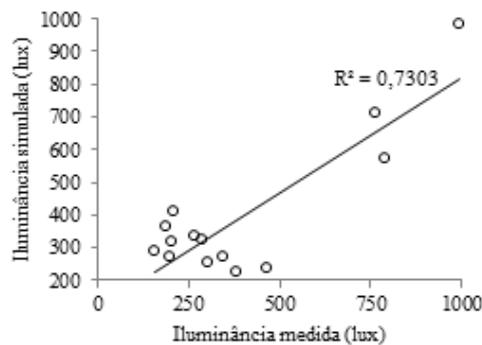


Fig. 7 Correlação entre a iluminância simulada no modelo do edifício com proteção solar total e iluminância medida.

Admite-se, portanto, que o modelo da simulação pode ser utilizado para representar o comportamento da edificação em outras situações que não as medidas, permitindo o estabelecimento do cenário no qual foram retiradas as proteções solares (Figura 8).

Observa-se que a retirada dos brises resultou em iluminação natural excessiva no interior do edifício, uma vez que seus fechamentos verticais são totalmente em vidros. Os valores de CIN passam a 32, 31 e 26% nos pontos 1, 6 e 11 da fachada 63°, respectivamente. Os demais pontos obtiveram acréscimos de 6 a 17 vezes (Tabela 2, Figura 9).

Viana e Gonçalves (2007) recomendam para o Brasil valores máximos de 2,5% e a situação das aberturas sem proteção solar representaria ofuscamento e inadequação do ambiente para as atividades de escritório que nele se desenvolvem, além de ganhos térmicos excessivos. Ressalta-se que não é raro encontrar a tipologia de edifícios com as fachadas em vidro e sem proteção total, mesmo em clima tropical, como o da cidade em que este estudo se desenvolveu. Os resultados evidenciam a importância dos elementos de proteção solar das fachadas e o controle permitido por um bom projeto arquitetônico.

Pontos de medição	Contribuição de Iluminação Natural (CIN) [%]		
	Modelo com proteção solar total		Modelo sem proteção solar
	Medido	Simulado	Simulado
P1	3%	3%	32%
P3	1%	2%	17%
P4	1%	1%	22%
P5	2%	1%	22%
P6	4%	2%	31%
P7	1%	1%	21%
P8	1%	1%	15%
P9	1%	1%	14%
P10	1%	3%	16%
P11	2%	3%	26%
P12	1%	2%	18%
P13	1%	1%	13%
P14	2%	1%	13%
P15	1%	1%	16%

Tabela 2 Contribuição da Iluminação Natural (CIN) no modelo do edifício com proteção solar total medido, simulado e modelo do edifício sem proteção solar, no dia 14/11 às 12h.

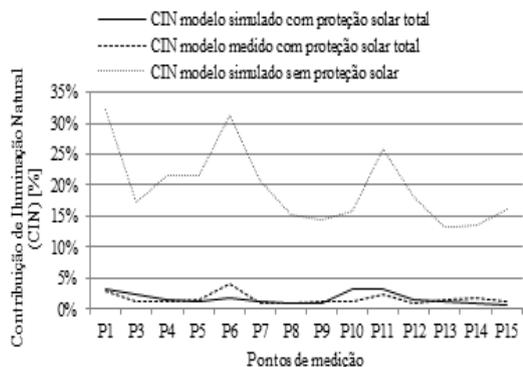


Fig. 9 Contribuição da Iluminação Natural no modelo do edifício com proteção solar total (simulado), real e modelo do edifício sem proteção solar, no dia 14/11 às 12h.

### 3.2 DEMANDA ENERGÉTICA

#### 3.2.1 Cenário 1: sistema complementar controlado pelo usuário

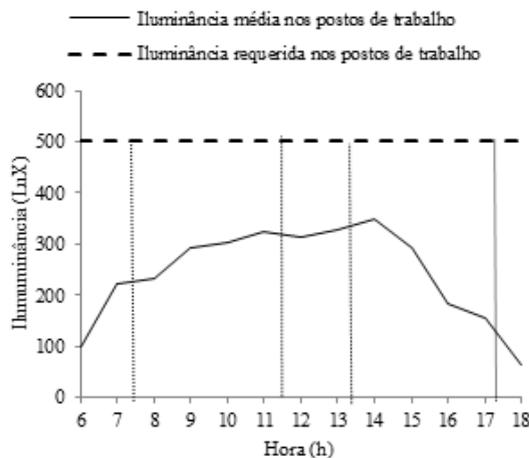
O funcionamento se dá em horário comercial das 7h30min às 11h30min e das 13h30min às 17h30min, de segunda à sexta.

Os resultados obtidos das medições evidenciaram que a iluminação natural não consegue suprir a iluminância média descrita pela norma durante as 8 horas do dia em que os postos de trabalho são ocupados (Figura 10-a), devendo nesses casos serem acionados os pedestais. Já nas circulações, os níveis requeridos não são atingidos apenas no final do dia, mas sempre superiores a 100lux, de forma que a necessidade de complementação da iluminação natural foi desprezada (Figura 10-b).

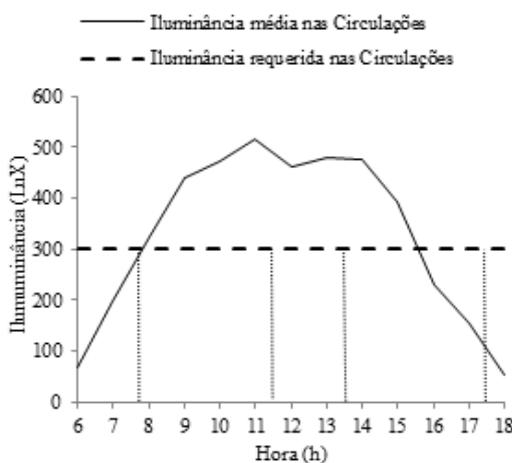
Considerou-se que os pedestais utilizam luminárias com 2 lâmpadas T5 de 14 W e 2 reatores de 2W, como iluminação complementar em todos os postos de trabalho, admitindo-se que neles a iluminação natural não é satisfatória e que o sistema pode ser controlado pelo usuário.

A potência de iluminação de cada pedestal é dada pela somatória das potências das lâmpadas e reatores (2 lâmpadas de 14W+2 reatores de 2W=32W) e a potência do sistema de iluminação ( $P_i$ , em W) é calculada pelo produto do número de pedestais (14 unidades) pela potência de iluminação de cada um deles (32W). A energia elétrica mensal consumida é calculada como o produto da potência do sistema de iluminação pelo tempo de funcionamento (8 horas diárias em 22 dias de trabalho).

Os valores obtidos para a potencia do sistema de iluminação e da energia mensal consumida foram de 448W e 78,85kWh, respectivamente.



(a)



(b)

Fig. 10 (a) Iluminância média medida e requerida nos postos de trabalho e (b) nas circulações.

#### 3.2.2 Cenário 2: sistema que desconsidera a iluminação natural

Ao se classificar o ambiente como Escritório – Planta livre e tomando-se como referência o RTQ-C (PROCEL, 2006) é requerida densidade de potência de iluminação (DPI) do ambiente para obtenção do nível A de eficiência energética de 10,5W/m<sup>2</sup> e o ambiente possui área de 312,92m<sup>2</sup>.

Considerando-se que os níveis de iluminamento serão supridos em totalidade por iluminação artificial e desprezando as contribuições de iluminação natural existente, a potência do sistema de iluminação ( $P_i$ , em W) é o produto da DPI requerida (10W/m<sup>2</sup>) pela área do ambiente (312,92m<sup>2</sup>) e a energia mensal consumida ( $E_i$ , em kWh) o produto da potência do sistema de iluminação pelas horas mensais de funcionamento (8h por dia, 22 dias por mês, totalizando 176 horas). Os valores obtidos para a potência do sistema de iluminação e da energia mensal consumida foram de 3.285,66W e 578,27kWh, respectivamente.

### 3.3 Economia de energia do Cenário 1 em relação ao Cenário 2

A economia de energia entre os Cenários 1 e 2 foi calculado conforme a Equação 3. Dado que não foi projetada iluminação geral no salão principal da edificação, apenas iluminação de destaque com lâmpadas LED e iluminação específica com luminárias pedestais, tem-se uma redução de consumo referente a não utilização de iluminação diária para o ambiente. A consideração da contribuição da iluminação natural e do sistema complementar controlado pelo usuário estima uma economia mensal de 10,5% do consumo total de energia elétrica.

### 3.4 Dimensionamento das áreas de painel fotovoltaico para fins de iluminação artificial

Considerando o valor médio de geração fotovoltaico de aproximadamente 103,5W/m<sup>2</sup>, para atender a demanda de 3.285,66W, no caso de toda iluminação ser suprida artificialmente (Cenário 2), são necessários 31,74m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos. Finalmente, considerando as condições de uso atuais, onde o usuário tem o controle sobre o acionamento da iluminação dos pedestais (Cenário 1), a demanda é de 448W, sendo necessários 4,32m<sup>2</sup> de área de painéis (Tabela 3).

### 3.5 Avaliação econômica e ambiental.

A partir de um pré-dimensionamento do sistema fotovoltaico composto por placas, controlador de carga solar, inversores, baterias, sistema de fixação e mão de obra para instalação, estimou-se um custo de aproximadamente R\$30.000,00 (U\$12.104).

O consumo de energia referente aos Cenários 1 e 2 é de 578,78 e 78,85kWh/mês, respectivamente. A energia economizada é de 499,43kWh/mês e 5993,14kWh/ano. Avaliando-se o custo de energia conservada (CEC), conforme Equação 3, tem-se CEC= 0,46 R\$/kWh (0,19U\$/kWh). Então, para análise da eficiência, o CEC é dividido pelo valor do kWh, resultando em 1,21, provando o que não há benefício financeiro da proposta, quando se analisam apenas questões econômicas, pois o tempo de retorno do investimento é de 60 anos, superior a 25 anos, que é o tempo de vida útil previsto para as placas.

Considerando que na geração de energia no Brasil, a relação de emissão de CO<sub>2</sub> é de 0,115kgCO<sub>2</sub>/kWh (BEN, 2013), com a economia de 5993,14kWh/ano, são evitadas a emissão de 689kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que equivale à neutralização processada por cerca de 4 unidades arbóreas no mesmo período, conforme Maxiambiental (2014).

Esse resultado refere-se apenas à contribuição de uma edificação e destaca-se que, se a prática de aproveitamento eficiente da luz natural fosse estendida aos demais edifícios comerciais, os quais segundo Lamberts et al. (1997) consomem 24% da energia total em iluminação, verificar-se-ia amplitude de benefícios ambientais mais relevantes.

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>
<b>Descrição</b>	Iluminação complementar sob o controle do usuário	Toda iluminação suprida artificialmente por iluminação geral
<b>Abrangência</b>	Posto de Trabalho (500 lux) + Entorno (300 lux)	Posto de Trabalho e Entorno com 500 lux
<b><math>\bar{E}_m</math> (lux)</b>	274±139	500 lux
<b>Demanda (W)</b>	448,00	3.285,66
<b>Área de Painel Fotovoltaico (m<sup>2</sup>)</b>	4,32	31,74

Tabela 3 Cenários dos sistemas de iluminação e área necessária de painéis fotovoltaicos.

## CONCLUSÃO

Foi investigado o desempenho energético e luminoso de uma edificação na latitude 15,5° Sul e 56,5° de longitude Oeste, de planta retangular, com as quatro fachadas envidraçadas que dispõem de elementos de proteção solar total. Essa edificação foi escolhida como objeto de estudo por ter obtido classificação nível A de eficiência energética, segundo o regulamento brasileiro de eficiência energética e por não dispor de iluminação geral, sendo sua premissa de projeto, o aproveitamento máximo da luz natural.

Por meio de medições, obtiveram-se níveis de iluminâncias entre 500 e 1000 lux próximo à fachada orientada a 63° e valores inferiores a 400 lux nos demais pontos, evidenciando uma iluminação natural uniforme na área de trabalho. Os maiores valores da Contribuição de Iluminação Natural (CIN) foram de 6 e 4%, em apenas dois pontos de medição, sendo que nos demais 13 pontos, os valores foram entre 1 e 2%.

Após calibração satisfatória do modelo do edifício, utilizando-se de simulação computacional, investigou-se o impacto da retirada dos elementos de proteção solar das fachadas. Os valores da CIN passaram de 2% para 20%, muito acima do valor máximo recomendado de 2,5%, para que os ganhos térmicos e o consumo de energia para resfriamento não sejam excessivos. Nessa situação de exposição, caracterizou-se iluminação excessiva e reiterou-se a necessidade de uso de proteções solares, sendo esses resultados passíveis de serem extrapolados para outras edificações.

Uma vez que a radiação luminosa média disponível externamente foi da ordem de 22.000lux, concluiu-se que os elementos de proteção solar são eficientes quanto ao controle da iluminação que exercem. Desta forma, verificou-se que a edificação atende aos valores de CIN recomendados, com iluminação uniforme e ausência de radiação solar direta, com excelente qualidade para a realização das atividades de escritório.

Ao compararem-se os níveis de iluminância com os requisitos normativos de 500 lux nos postos de trabalho e de 300 lux nas áreas de circulação, observa-se que há necessidade de iluminação complementar apenas nos postos de trabalho, durante 8 horas diárias.

A edificação dispõe de um sistema complementar, composto por iluminação do tipo pedestal disponibilizado em cada posto de trabalho, sob controle individualizado dos usuários (Cenário 1). Esse sistema permite uma economia de 10,5% do consumo anual de energia elétrica, se comparado a um sistema que tivesse o suprimento de 500lux em todo o ambiente e desconsiderasse a iluminação natural (Cenário 2).

Concluiu-se, também, que a energia solar pode tornar a edificação autossuficiente em relação ao consumo de energia elétrica para fins de iluminação artificial. No caso

em questão, a adoção de 4,32 m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos seriam capazes de alimentar a iluminação artificial necessária para complementar a iluminação natural. Com relação ao potencial de geração fotovoltaica, verificou-se que cobertura da edificação tem uma área de cerca de 150 m<sup>2</sup> orientada a 333°, ou seja, os painéis fotovoltaicos ocupariam menos de 3% da área de cobertura com orientação favorável à instalação de placas. Para suprir a demanda total de energia elétrica do Cenário 2, a área de placas necessárias se elevaria para 31,74m<sup>2</sup>

Em locais de baixa latitude, como a região onde se desenvolveu esse estudo, onde a disponibilidade de luz natural é abundante, destaca-se a contribuição desta pesquisa, na qual os resultados evidenciam que o aproveitamento da iluminação natural associado à presença de elementos de proteção pode contribuir positivamente na redução do consumo de energia da edificação.

Observou-se, neste projeto eficiente, que diante da abundância de iluminação natural local, é necessário utilizar os elementos de proteção solar para controlar a radiação direta e desse controle surge a necessidade de complementação da iluminação com sistema artificial. Concluiu-se, desta forma, que os sistemas integrados compõem solução viável e econômica, uma vez que a economia média gerada foi de 10,5% ao ano.

A implementação do sistema passivo de geração fotovoltaica para fins de suprimento da iluminação mostrou que o custo da energia economizada (CEC) é maior que o custo de 1 kWh (tarifa de energia) e o investimento foi considerado não vantajoso, sob ponto de vista econômico. No entanto, a análise ambiental evidenciou que com a economia de 5993,14kWh/ano resultante do sistema integrado, são evitadas a emissão de 689kgCO<sub>2</sub>/ano na atmosfera, o que equivale à neutralização processada por cerca de 4 unidades arbóreas no mesmo período.

## AGRADECIMENTOS.

Agradecemos ao Serviço de Apoio às Pequenas e Médias Empresas (SEBRAE) pela disponibilização do espaço do Centro SEBRAE de Sustentabilidade para a realização desta pesquisa. O CCS é a unidade de referência nacional do Sistema SEBRAE no tema da sustentabilidade.

## BIBLIOGRAFIA.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 15215: Iluminação natural. Rio de Janeiro. 2005.
- ALMEIDA, A.; Gomes Martins, A. Iluminação eficiente em edifícios: a grande lacuna regulatória. Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra, Coimbra, n. 16, 2009.
- Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p.163-175, Jan/Mar 2012.
- BARBOSA, L. A. M. Estudo de Eficiência de Sistemas Fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Porto: [s.n.], 2010.
- BEN. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese. Ano base 2013. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 30 Set. 2014.
- BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 out. 2001. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br>. Acesso em: junho de 2012.
- Brasil. Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.
- Brown, G. Z.; Dekay, M. Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- Carlo, J. C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-Residenciais. Florianópolis, 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- CEMAT. Centrais Elétricas Mato-grossense. Tarifas. Disponível em: <<http://www.cemat.com.br/files/2014/07/Valores-de-Tarifas-2014.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2014.
- Didoné, E. L.; Pereira, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, Out/Dez 2010.
- DOE. EnergyPlus Energy Simulation Software. United States Department of Energy, 2013. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov>>. Acesso em: 10 dez. 2013.
- Comunidade Europeia. Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Bruxelas, Dez. 2002.
- Farret, F. A. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. 2ª. ed. Santa Maria: UFSM, 2010.
- Fonseca, W. D.; Didoné, E. L.; Pereira, F. O. R. Modelos de predição da redução do consumo energético em edifícios que utilizam a iluminação natural através de regressão linear multivariada e redes neurais artificiais.
- Ghisi, E.; Tinker, J. A.; Ibrahim, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, Out/Dez 2005.
- IBAM/Eletrobrás. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica. 2004. Rio de Janeiro.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997. Maxiambiental. Carbono Neutro. Disponível em: <<http://www.maxambiental.com.br/>>. Acesso em: 30 Set 2014.
- Melo, A. P., Costola, D., Lamberts, R., Hensen, J. Determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais de acordo com o RTQ-C. In: XI ENCAC e VII ELACAC. Anais do XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.
- Ho, M., Chiang, C., Chou, P., Chang, K., Lee, C. Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms. Energy and Building. v. 40, p. 1844-1855. 2008
- Oliveira, R. P. Utilização de um aplicativo de simulação computacional na avaliação de desempenho térmico de protótipo de Habitação de Interesse Social. 124f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.
- Procel. Procel Edifica - Eficiência Energética nas Edificações. Procel Info - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 15 Abril 2013.
- Souza, M. B. Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica. Florianópolis, 2003. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

U.S. Department of Energy. EnergyPlus Utilities. U.S. DoE, 2013. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_utilities.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_utilities.cfm)>. Acesso em: 15 Abril 2013.

Vianna, N. S.; Gonçalves, J. C. S. Iluminação e arquitetura. São Paulo: Geros, 2007.

Vieira, F. M. Iluminação Natural. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2011. Disponível em: <<http://professor.ucg.br/SiteDocente/>>. Acesso em: 18 fev. 2014.

# Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile.

Artículo recibido 13-05-14  
 aceptado 12-08-14

Using Analysis of Life Cycle tool in determining the embodied energy and carbon footprint in the manufacturing processes of the ready-mixed concrete Case manufacturing plant Bío Bío region study - Chile

CLAUDIA MUÑOZ SANGUINETTI.  
 Centro de Investigación de Tecnologías de la Construcción CITEC UBB, Departamento Ciencias de la Construcción. Universidad del Bío-Bío, Concepción Chile/  
 clmunoz@ubiobio.cl

FRANCISCO QUIROZ ORTIZ.  
 Facultad de Ingeniería. Universidad del Desarrollo, Concepción Chile/  
 fquirozo@udd.cl

**Palabras clave:**  
 energía contenida, emisiones de gases efecto invernadero, hormigón premezclado, análisis de ciclo de vida.

## RESUMEN

El presente artículo muestra resultados acerca de la determinación de la energía contenida y la huella de carbono asociadas al proceso de fabricación de hormigones, en una planta premezcladora en la región del Biobío, Chile, a través de un Análisis de Ciclo de Vida simplificado. El inventario ambiental consideró primordialmente: transporte de materias primas, proceso de dosificación, carguío y despacho de los principales insumos materiales. Para todas estas actividades se cuantificaron consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> durante un año de producción, excluyendo consumo energético y huella de carbono corporativa. Al aplicar el "inventario ciclo de vida" (ICV), según ISO 14040-2006, el caso de estudio mostró que para producir un metro cúbico de hormigón premezclado se requieren 342 MJ, lo que genera una huella de carbono de 26 Kg/CO<sub>2</sub>. Al comparar este resultado con bases de datos internacionales, el mismo caso demostró ser un 37,5% más bajo en energía contenida y más de un 50% inferior en emisiones de CO<sub>2</sub>.

Esta investigación permitió concluir que el proceso unitario con mayor impacto ambiental desde el punto de vista del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, está constituido por los transportes indirectos de las materias primas, principalmente áridos, que representan un 46% del total del sistema estudiado.

**Keywords:**  
 contained energy, greenhouse gases emissions, ready-mixed concrete, Life cycle Assessment.

## ABSTRACT

This paper shows the results of a simplified Life Cycle Assessment, made to determinate the energy and carbon footprint associated to the manufacturing process of a ready-mixed concrete plant in the Region of Biobío, Chile. The energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions were measured during one year of production and excluding the corporate measure. The used environmental inventory mainly considers major inputs of raw materials transportation, dispensing process, loading and delivery. Applying the life cycle inventory (LCI) as ISO 14040-2006, the study case showed that, it is necessary 342 MJ, with a carbon footprint of 26 Kg/CO<sub>2</sub> to produce a cubic meter of ready-mixed concrete. Comparing these results with international databases, the study case proved to be a 37, 5% lower in embodied energy and more than 50% less of CO<sub>2</sub> emissions.

This investigation concluded that the unitary process with the most environmental impact, considering energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, it was related to the indirect transportation of raw materials, mainly aggregates, which represent a 46% of the total system studied.

## 1 INTRODUCCIÓN

A nivel global y local, la industria de la construcción contribuye significativamente al consumo de energía y de recursos naturales, así como a la generación de impactos ambientales, como emisiones a la atmósfera y generación de residuos. Esta situación ha motivado el interés por evaluar los impactos de las construcciones desde un enfoque de ciclo de vida, considerando las etapas de obtención de materias primas, manufactura, transporte, uso y demolición (Argüello, Aragüelles y Badillo, 2013).

Recientemente, se han propuesto indicadores y certificaciones relacionados con el desempeño energético de las edificaciones, lo que se ha traducido en una mayor atención a estos temas en toda la cadena de valor de este sector productivo. Aparte del consumo de electricidad y combustible que ocurre en las actividades de construcción y uso, también se constatan importantes requerimientos energéticos en las diferentes etapas de elaboración de los materiales utilizados en la construcción, por lo que éstos deben ser considerados implementando dicho enfoque de ciclo de vida (Zabalza, Aranda y Scarpellini, 2009).

Aunque no existe un método estándar para el cálculo de la energía incorporada en los materiales de construcción, sí se dispone de una definición generalmente aceptada: La energía incorporada de un material de construcción incluye toda la energía utilizada en los distintos procesos para llevar el material a su lugar en el edificio: desde la extracción de las materias primas, hasta su manufactura y construcción; debe incluir la energía asociada al transporte, así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarias para todos esos procesos. (Woolley *et al.*, 1997)

Si bien existen antecedentes de estudios que han evaluado el impacto del consumo energético de la edificación y su impacto ambiental asociado (García, Fortea y Reyes, 2012; Wadel Avellaneda y Cuchí, 2010; Zaragoza, 2010; entre otros), en Chile se desconoce cuál es la energía contenida en los materiales de construcción y su respectiva huella de carbono, la que podría diferir considerablemente con los datos de otros países, ya que éstos dependen de la matriz energética, la tecnología utilizada en cada proceso productivo y de los sistemas de transporte (Bustamante, 2009). En particular, interesa generar una base de datos nacional que incluya los principales insumos de construcción como, por ejemplo, el hormigón premezclado, el cual es uno de los materiales de construcción que presenta los principales aportes a la masa total de una edificación.

Al respecto, estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (2007), han establecido que a nivel nacional el hormigón es el material con mayor utilización en edificaciones (considerando muros de edificios) en el país, alcanzando, en este sentido, un 38% del total nacional; tendencia mantenida hasta el año 2013, según el Informe de Macroeconomía y Construcción (Cámara

Chilena de la Construcción, 2013), en Figuras 1 y 2, se muestran dos ejemplos de proyectos de edificación con uso de material hormigón en Chile.

Según el Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, la región del Bío Bío es una de las regiones con mayor producción de hormigón premezclado. En el mismo año 2013, se despachó un total de 826.770 m<sup>3</sup> de ese material, lo que equivale al 11,2% del total nacional, lo cual permite que la región ocupe el segundo lugar a nivel nacional después de la Metropolitana (40,6%).



Fig. 1 Edificio Facultad de Medicina UFRO, Región de la Araucanía, Chile.



Fig. 2 Vivienda particular Lago Ranco, Región de los Ríos, Chile.



Fig. 3 Hormigón premezclado con alta fluidez.

## 2 ASPECTOS TEÓRICOS

Según la NCh 1934, un hormigón premezclado corresponde a un hormigón dosificado en una central hormigonera, mezclado en la misma central o en un camión mezclador, transportado a un lugar determinado y entregado en el sitio de la descarga.

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados pétreos y pasta. La pasta, compuesta de cemento y agua, une los agregados (gruesos y finos), para formar una masa semejante a una roca, pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua (Kosmatka y Panarese, 1992).

Adicionalmente y con la finalidad de mejorar las propiedades rheoplásticas de los hormigones y los tiempos de traslado y operación, el diseño y fabricación de hormigones premezclados considera la incorporación de aditivos químicos, dentro de los cuales pueden mencionarse: reductores de agua, súperplastificantes, incorporadores de aire, etc. La figura 3 muestra el efecto y aspecto de un hormigón premezclado mejorado a partir de la incorporación de un aditivo súperplastificante y reductor de agua.

La figura 4, ilustra de manera simplificada el ciclo de vida de un hormigón premezclado, considerando los diversos aspectos e impactos ambientales presentes en la cadena productiva del proceso, los que son parte del objeto de estudio, entre ellos: materias primas (cemento, áridos, aditivos, fundamentalmente), consumos energéticos y agua (transporte y producción), emisiones (GEI, residuos).

Los aspectos ambientales del ciclo de vida de un hormigón premezclado, se asocian principalmente a una alta demanda de materias primas naturales (agregados pétreos, agua), así como materias primas procesadas (cemento, aditivos), junto con un alto consumo energético, utilizado tanto en el proceso de producción como en el de transporte a la obra.

Otros importantes aspectos ambientales a tener en cuenta son la emanación de residuos sólidos (inertes) y líquidos (aguas residuales) y la generación de emisiones diversas (material particulado, CO<sub>2</sub>, ruido, etc.), como también el impacto a la infraestructura vial (por traslado de materias primas y producto final).

Según Doménech (2007), el hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo, y tras el agua, sería el producto más consumido del planeta. Cada año, la industria del hormigón emplea 1.6 billones de toneladas de cemento, 10 billones de toneladas de roca y arena y un billón de toneladas de agua. Aquí destaca que por cada tonelada de cemento, se requiere 1.5 toneladas de roca caliza y un gran consumo de combustibles fósiles (Sánchez y Positieri, 2012).

Desde el punto de vista del consumo energético y generación de gases de efecto invernadero (GEI), en el ciclo de vida de un hormigón premezclado, las mayores asignaciones estarían dadas por el aporte de la energía contenida en el material cemento, específicamente en la elaboración del *Clinker* (Carvalho, 2001). No obstante, dado que en Chile el foco de estudio ha tendido a centrarse en la cadena productiva del hormigón premezclado, desde una perspectiva operacional, no ha sido posible cuantificar cada uno de los *inputs* energéticos presentes en dicho proceso, a partir de un enfoque de ciclo de vida que considere las condiciones específicas de este país.

El presente trabajo muestra el desarrollo y obtención de resultados de un inventario ambiental, a partir del cual se determina la energía contenida y la huella de carbono asociada al proceso de fabricación de hormigones, en una planta premezcladora en la región del Biobío, Chile, poniendo en práctica el mencionado enfoque de ciclo de vida.

### 3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para la determinación de la energía contenida y la huella de carbono asociada al proceso de fabricación de hormigones en una planta premezcladora, se ha escogido, como herramienta de gestión ambiental, el Análisis de Ciclo de Vida, de acuerdo a los principios normativos establecidos en la ISO 14.040 – 2006 (Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework), como asimismo en la “Especificación para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de productos y servicios PAS 2050”.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO 14040, 2006).

La metodología general del ACV, considera en su conjunto cuatro etapas o fases, según se muestra en la Figura 5: estructura de un Análisis de Ciclo de Vida; definición de objetivos y alcance; inventario; y evaluación de impacto. Resulta posible realizar estudios simplificados en los que se trabaje sólo con algunas de las etapas señaladas, dependiendo principalmente de los objetivos del estudio y la información disponible para la aplicación de esta herramienta.

En este caso y dado que el objetivo principal se centra en la obtención de energía contenida y huella de carbono (categorías de impacto: consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>), generado en el proceso de fabricación del hormigón premezclado, se trabaja con un Análisis

de Ciclo de Vida Simplificado (ACVs), considerando: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario (ICV) e interpretación de resultados.

#### 3.1 Definición del objetivo y alcance del estudio.

El estudio fue realizado en la región del Biobío, en la ciudad de Concepción, Chile. Se trabajó con la planta de hormigón premezclado con mayor cantidad de despachos en la provincia de Concepción, los que alcanzan, como promedio en el periodo 2011-2013, entre un 45 y 50% del total de despachos en esta zona.

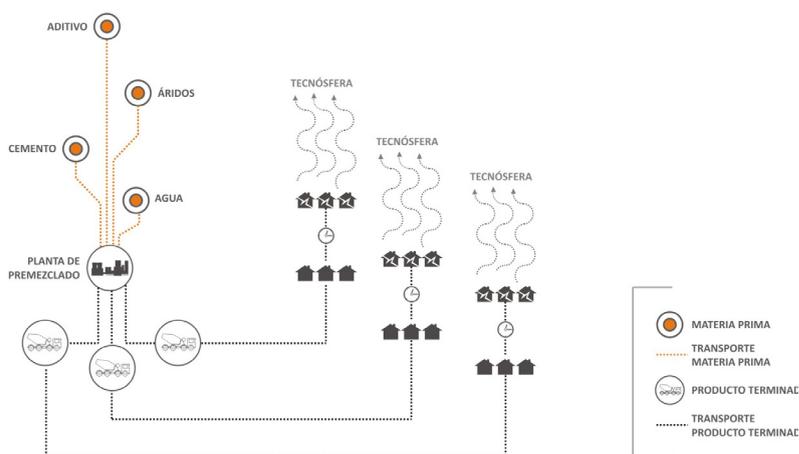


Fig. 4 Esquema simplificado ciclo de vida hormigón premezclado.

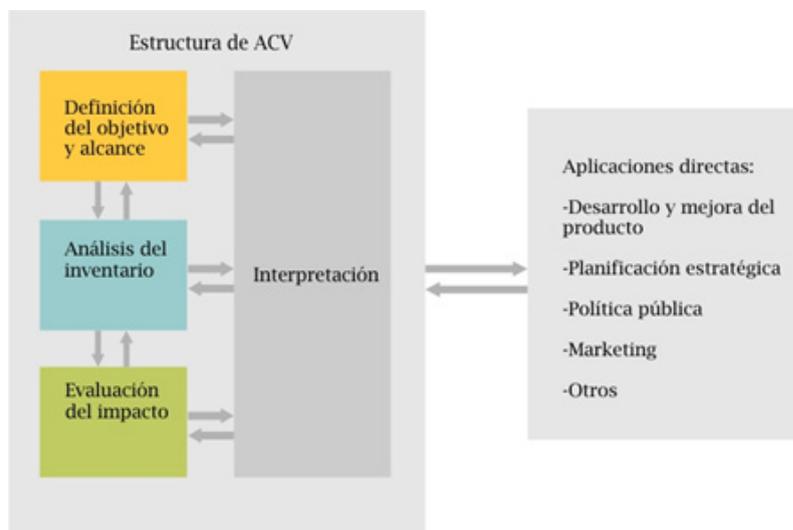


Fig. 5 Estructura de ACV. ISO 14.040–2006.

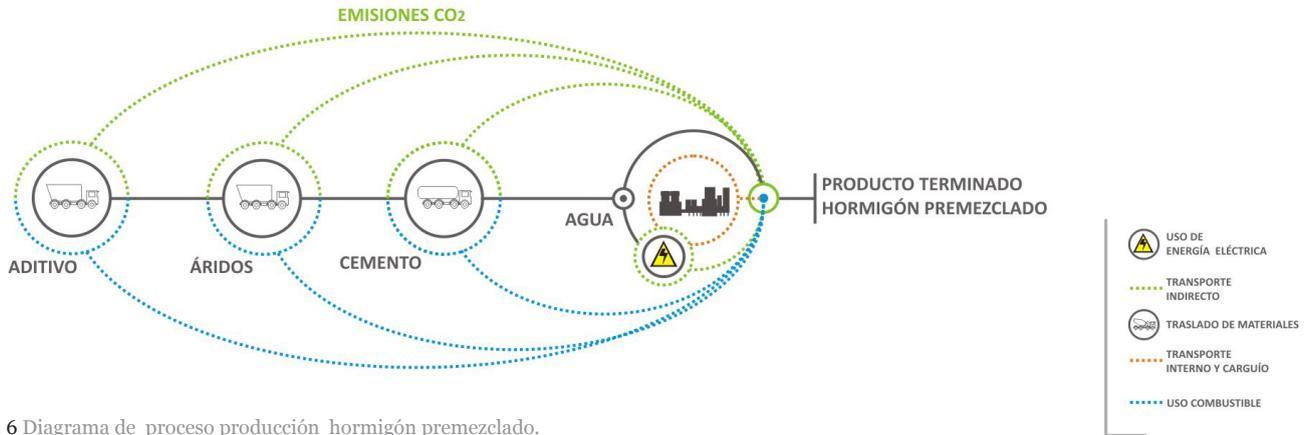


Fig. 6 Diagrama de proceso producción hormigón premezclado.

Para el estudio fueron contemplados los consumos de energías utilizadas en el proceso de fabricación del hormigón premezclado, esto es, máquinas y equipos, planta dosificadoras, cargadores frontales, camiones *mixer* y transporte de materias primas.

Dado que el objetivo del inventario ambiental se concentra solamente en los flujos elementales de la cadena productiva de fabricación, en este estudio no fueron considerados los consumos de energía generados por parte de la administración y recursos humanos que intervienen en el proceso.

De acuerdo a lo establecido en ISO 14.040-2006, se definió una *unidad funcional* correspondiente a m<sup>3</sup>/año y un *flujo de referencia* expresado en MJ/año.

Los límites iniciales del sistema, consideraron la evaluación de cada uno de los subprocesos, en los cuales la utilización de energía era incidente y significativa en el resultado final. Se exceptuaron aquellos procesos en donde el empleo del recurso energético era inferior al 5% del total del flujo final del proceso, de acuerdo a los principios normativos que rigen la investigación.

### 3.2 Inventario de ciclo de vida (ICV)

El análisis de inventario comprende la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema de producción (ISO 14040-2006).

En la realización del ICV, fueron analizados los aspectos ambientales presentes en cada proceso unitario, desde el punto de vista de las categorías de impacto asociadas al consumo energético y a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En concreto, se consideraron las etapas principales referidas a los flujos energéticos del proceso. Para tal efecto, se trabajó con el diagrama de flujo del *sistema producto*, representado en la Figura 6, la cual muestra los procesos unitarios modelados, incluyendo sus interrelaciones sistémicas.

Aplicando como criterio la inclusión de datos, se consideró información primaria, obtenida de las bases de datos de producción de la planta estudiada, para una cobertura temporal de un año.

En el procesamiento de datos y obtención de resultados preliminares, y con la finalidad de determinar el grado de dispersión o variabilidad existente en el grupo de variables del estudio, fueron, por una parte, utilizadas herramientas estadísticas de tendencia central y de dispersión, para cada una de las entradas de materias primas y energías asociadas a la producción, y por otra, análisis de las salidas en el proceso de fabricación de hormigón premezclado, de acuerdo a la temporalidad estudiada.

A) Entradas: materias primas, combustibles y energía eléctrica.

a1) *Materias Primas*: áridos gruesos: grava y gravilla, áridos finos, cemento, aditivos químicos y agua.

a2) *Combustibles y Energía eléctrica*: Petróleo, utilizado en transporte directo (cargadores frontales y camiones *mixer* empleados en el mezclado del hormigón). Transporte indirecto, traslado de materias primas (cemento, áridos y aditivos). Energía eléctrica para funcionamiento planta dosificadora y bombas agua.

B) Salidas: Las salidas consideradas corresponden principalmente al producto final obtenido: el hormigón, pero también a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

b1) *Hormigón Premezclado*: Como una manera de simplificar el inventario ambiental, se consideró la totalidad del volumen de hormigón producido por la planta como un solo tipo de hormigón (producto final).

b2) *Emisiones de CO<sub>2</sub>*: Emisiones que son cuantificadas

tanto para las emisiones directas como para las indirectas (traslados internos y transporte de materias primas), según lo señalado por el principio normativo PAS 2050.

En el tratamiento de cálculos para los datos de entradas y salidas (*inputs* y *outputs*) del sistema estudiado, y con respecto a las entradas de energía asociadas al transporte indirecto (proveedores), se estimó el consumo de petróleo de cada uno de los despachos de materias primas desde su lugar de origen hasta la planta de hormigón premezclado. Se contempló, asimismo, la distancia recorrida por cada uno de los proveedores, los rendimientos de los camiones y condiciones de retorno de estos (con o sin carga), dado que, según PAS 2050, la huella de carbono del producto aumenta si el camión regresa vacío a su lugar de origen.

En la Figura 7, se da cuenta del consumo anual de combustible por efecto del transporte de cada materia prima para la fabricación de hormigón premezclado, en el caso de estudio evaluado. A priori, se aprecia que los consumos de combustible anuales por transporte indirecto de materias primas correspondientes a áridos gruesos, son los que presentan el mayor gasto, debido a tres factores relevantes: la distancia recorrida, y la cantidad y frecuencia del transporte de estos materiales a la planta.

En el caso específico del árido fino, que es el material con mayor volumen entrante a la planta, el consumo de combustible para su transporte es menor en relación a los materiales nombrados con anterioridad, debido a la reducida distancia existente entre el punto de despacho y la planta estudiada, lo que evidencia que los resultados de este estudio podrían verse modificados de acuerdo a otras condiciones geográficas presentes en la planta de producción y/u origen de proveedores de materias primas.

Los consumos asociados al transporte directo -considerado como aquel transporte de materiales dentro de los límites de la planta- y al transporte indirecto -vinculado a los cargadores frontales y camiones *mixer*, en los cuales se contempla el combustible (petróleo), alcanzaron valores como media geométrica de 2.693 litros/año y 36.000 litros/año, respectivamente.

El consumo de combustible (diésel), por parte de los camiones *mixer*, se liga a la etapa de mezclado y homogenización del producto y a la de despacho, cuyo cálculo es variable y los resultados presentan cierto grado de incertidumbre, ya que son múltiples los puntos de despachos, como también las variaciones en las distancias y en la cantidad de metros cúbicos transportados.

El consumo de energía eléctrica se asocia, principalmente, al proceso de dosificación de la planta y funcionamiento de las motobombas, empleadas para la extracción de agua desde el acuífero existente, y a la extracción y pesaje de los aditivos. Debe considerarse que la energía eléctrica es proveniente del Sistema Interconectado

Central chileno (SIC), dato relevante a la hora de la cuantificación de la huella de carbono, dado que los resultados diferirían notablemente al considerar otro sistema, como lo es el Sistema del Norte Grande chileno (SING), cuya energía eléctrica se halla mayormente carbonizada, por lo que arrojaría un mayor valor en relación a la huella de carbono del producto estudiado.

De este modo, para el ICV analizado aquí, los resultados revelaron un consumo anual de energía eléctrica de 19,2x10<sup>3</sup>kWh, como promedio anual.

### 3.2.1 Cálculo energías contenidas y huella de carbono

A partir de la obtención de los resultados correspondientes a los consumos energéticos por concepto de transporte directo, indirecto y consumo de energía eléctrica por producción mensual, se determinó el consumo energético asociado a un mes de funcionamiento de la planta, el cual queda resumido en la Tabla 1.

Para el cálculo de la huella de carbono el procedimiento contempló las energías aportadas en cada subproceso y los factores de emisión de los combustibles y fuentes de energía utilizadas (diésel y energía eléctrica respectivamente) en cada proceso, de forma mensual y anual. En tabla 2, se muestran los resultados obtenidos respecto al proceso de fabricación de hormigón premezclado, con las consideraciones establecidas para este estudio.

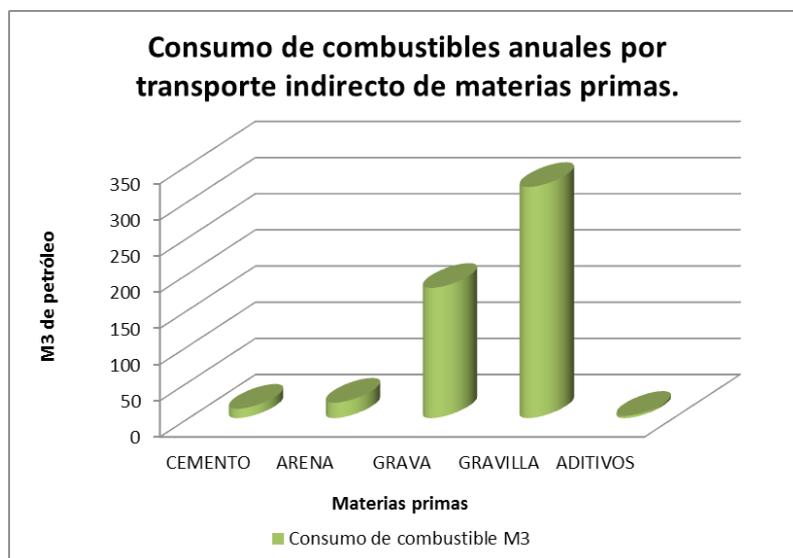


Fig. 7 Gráfico consumo de combustibles – transporte combustible.

Actividades	Mensual [MJ]	Anual [MJ]
Energía aportada por transporte indirecto	1.563.769	18.765.228
Energía aportada por transporte directo	1.381.469	16.577.628
Energía aportada por energía eléctrica	78.681	920.172
Total de energía consumida en Mega Joule	3.023.919	37.248.527

Tabla 1 Resumen energías en Mega Joule consumidas por actividad anual.

Actividades	Mensual [kg CO <sub>2</sub> emitidos]	Anual [kg CO <sub>2</sub> emitidos]
CO <sub>2</sub> aportada por transporte indirecto	115.875	1.390.500
CO <sub>2</sub> aportada por transporte directo	102.367	1.228.404
CO <sub>2</sub> aportada por energía eléctrica	10.076	120.912
Total de CO <sub>2</sub> aportado en el proceso de fabricación	228.318	2.813.673
CO <sub>2</sub> emitido por metros cúbico producido	26	26

Tabla 2 Resumen emisiones CO<sub>2</sub> – proceso fabricación.

Actividades	Cálculo PCI (anual /MJ)	Cálculo PCS (anual /MJ)	Δ energías (MJ)
transporte indirecto	19.164.462,9	20.670.242	1.505.779
transporte directo	17.091.446	18.434.346	1.342.899
Total energía consumida (MJ)	37.248.527	40.097.206	2.848.679
Energía contenida anual (MJ/m <sup>3</sup> )	342,2	368,4	26,2

Tabla 3 Resumen incidencia poderes caloríficos versus energías contenidas.

UNIDADES CASO 1	[MJ/m <sup>3</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]
Estudios SimaPro 7.3 Base de datos Ecoinvent.	55,95	256,78
Caso Estudio Chile	19,88	1,96
UNIDADES CASO 2	[MJ/m <sup>3</sup> ]	[kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]
ICE	547,2	74,9
Caso Estudio Chile	342,2	25,9

Tabla 4 Análisis comparativo bases de datos- caso estudio.

A partir de los resultados expresados en la Tabla 1, se puede inferir que, para un consumo energético de 37.248.527 MJ y considerando un volumen promedio de producción anual del orden de 108.848 m<sup>3</sup>, el valor de la energía contenida anual –en cuanto primera aproximación-, alcanzaría a 342,2 MJ/m<sup>3</sup>, con una huella de carbono de 26 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> producido (de acuerdo al valor indicado en la Tabla 2).

Asimismo, se puede señalar que los factores de emisión relacionados con consumo eléctrico, estimados para el Sistema Interconectado Central Norte Grande (SING) y para el Sistema Interconectado Central SIC, son de 1084 y 461 Kg CO<sub>2</sub> / MWh, respectivamente (Zaror, 2000); y que el factor de emisión ligado al diésel es de 3.186 kg CO<sub>2</sub>/ton (Intergovernmental Panel of Climate Change, 2007).

### 3.2.2 Análisis de sensibilidad.

De acuerdo a lo establecido en la norma ISO 14040-2006, se realiza un análisis de sensibilidad para estimar los efectos que tienen los métodos elegidos y los datos sobre el resultado del estudio realizado.

De este modo, los resultados fueron sensibilizados considerando los poderes caloríficos inferior y superior del petróleo, presentes en el inventario de ciclo de vida estudiado, principalmente para las actividades de transporte indirecto y directo, y excluyendo la etapa de dosificación, debido a que esta sólo muestra consumo de electricidad (véase Tabla 3).

Al comparar los incrementos de energía entre las actividades modificadas, se puede apreciar una variación del 4.04% en el transporte indirecto y un 3.61 % en el transporte directo, con respecto al total de la energía utilizada en el proceso de fabricación y con respecto al poder calorífico inferior del petróleo.

En cuanto a la energía contenida, el análisis comparativo de los resultados expresados en la Tabla 3, revela un incremento porcentual del 7.6%, con respecto los 342.21 [MJ/m<sup>3</sup>] inicialmente estimados. La misma tendencia se da para las emisiones de CO<sub>2</sub> calculadas.

La importancia de realizar el análisis de sensibilidad en estas dos etapas radica, principalmente, en que ellas concentran el 97.4% de la energía utilizada en todo el proceso.

### 3.2.3 Análisis comparativo con bases de datos internacionales

A partir de los resultados obtenidos, se realiza un análisis comparativo empleando dos importantes bases de datos. La primera de ellas corresponde a ECOINVENT, base mundialmente reconocida por su amplia variedad de datos de inventario de ciclo de vida de materiales y procesos productivos. La segunda, ICE

(Inventory of carbon and energy), versión 2.0 (enero 2011), de la University of Bath, cuenta con estudios de distintos hormigones premezclados, los cuales asocian valores de energía contenida y emisiones de CO<sub>2</sub>, para los diferentes grados de hormigón, en relación a su resistencia mecánica.

Para lograr la correcta comparación entre la producción total de hormigón premezclado de la planta en estudio, fue necesario acotar partes de los procesos unitarios buscando la similitud y disminuyendo la asimetría de los casos de estudio. De este modo, en dicho análisis comparativo no fue considerado el transporte indirecto y los despachos de hormigón fueron excluidos de la etapa de transporte directo. Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se utilizaron los mismos criterios y simplificaciones.

No obstante y tal como se muestra en la Tabla 4, al comparar los resultados, se observa una alta disparidad, dada fundamentalmente por los límites de los sistemas estudiados y las condiciones específicas de los procesos productivos cotejados.

Al comparar las emisiones de CO<sub>2</sub>, se aprecia que las producidas en el proceso productivo estudiado, alcanzan un orden de un 0,76%, con respecto a las generadas en la producción del hormigón de referencia (Ecoinvent). Esto podría deberse a la disparidad de los límites del sistema en estudio, como también a la diferencia en los tipos de combustibles utilizados, en los factores de emisión, en las tecnologías y/o en los equipos empleados.

En el análisis comparativo con base de datos ICE, se aprecia un diferencial del 37,5%, correspondiente a una cantidad de energía contenida mayor de 205 MJ/m<sup>3</sup> de hormigón producido. Al igual que las distancias con Ecoinvent, estas pueden haberse generado aquí debido a la heterogeneidad de los límites del sistema estudiado, lo que hace visible, por tanto, la necesidad de contar con bases de datos que definan en forma clara los límites de los sistemas estudiados y, de tal manera, realizar comparaciones más rigurosas.

En relación a las emisiones de CO<sub>2</sub>, es factible observar diferencias superiores al 50% entre un estudio y otro. De esta información, se concluye la importancia de los combustibles utilizados en cada estudio, donde los factores de emisiones cobran gran relevancia, junto con sus poderes caloríficos. Sumado a ello, se debe tener en consideración que las matrices energéticas de cada país son diferentes, en consecuencia, también lo son las emisiones asociadas a su producción de energía.

## 4 CONCLUSIONES

El ICV del proceso productivo del hormigón premezclado estudiado ha permitido establecer cuáles son los procesos unitarios que generan los mayores consumos energéticos. Así, es el transporte indirecto de materias primas el que aporta un 51,5% del consumo total de energía, a diferencia de los consumos internos de transporte directo y proceso de dosificación y carguío de la planta hormigonera, los que, combinados, representan un 48,6% del consumo total de energía. Se trata de los procesos unitarios más relevantes desde el punto de vista del consumo energético, de modo que es en ellos donde habría que formular medidas de ahorro, considerando que, además, constituyen actividades estratégicas dentro del proceso global.

Se advierte, asimismo, que la entrada de distintas materias primas a la planta conlleva un gasto o un consumo de energía asociado al transporte de estas, como lo es el elevado consumo de energía originado por el transporte de áridos, específicamente, de gravilla y grava, los cuales corresponden a cerca del 59,5% y 33,5%, respectivamente, del consumo total del transporte indirecto.

Del mismo modo, las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema estudiado están vinculadas al transporte de agregados gruesos: gravilla, que representa un 28,7% del total de las emisiones anuales, y grava, que lo hace con un 16,9%. Por consiguiente, podemos concluir que tanto la energía contenida como las emisiones de dióxido de carbono asociadas al transporte indirecto de estos dos materiales, son las que presentan una mayor incidencia en todo el estudio.

A partir de estos resultados, surge la necesidad de considerar alternativas de estudio para evaluar los efectos de una posible reducción tanto de energía contenida como de huella de carbono, considerando variables determinantes como: uso de mejores tecnologías en maquinarias de transporte, con mayor rendimiento y menor cantidad de emisiones; aumento en la capacidad de carga de las máquinas de transporte; cercanía de los proveedores a la planta; frecuencia de los transportes; tipos de combustibles utilizados; uso de materias primas alternativas en la fabricación de hormigón, etc.

Como resultado final de la investigación se determinó que para producir un metro cúbico de hormigón premezclado en la planta en estudio, se requieren 342,2 Mega Joules de energía, los que generan 25,8 kg/CO<sub>2</sub>. Ello, en comparación con otros estudios (con cierta simetría en los límites de los procesos), significa que dicha planta presenta un 64,46% más de la energía contenida y un 99,3% más de generación de dióxido de carbono, respecto a las emisiones calculadas.

Finalmente, y tal como señala Zabalza (2012), puede indicarse que el Análisis de Ciclo de vida (ACV) de los productos de construcción es altamente complejo. Esto, debido a las variadas dimensiones espaciales

y temporales que intervienen en sus procesos de producción, así como también a la propia estructura del sector, lo que dificulta la elaboración de un análisis completo del producto, desde el punto de vista medioambiental.

Los resultados de este trabajo son incipientes y buscan, principalmente, aportar en la investigación y al desarrollo científico e informativo de la construcción, en especial al área de diseño sustentable, con miras a generar criterios respecto a la elección de materiales, desde el punto de vista energético, y de cargas medio ambientales asociadas a su producción, a través de una estrategia de diseño integral con un enfoque de ciclo de vida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto Fondef D0911162 desarrollado por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción CITEC- UBB y del trabajo de Tesis Doctoral *Estudio de la energía incorporada y emisiones de GEI en el ciclo de vida de viviendas en Chile* para el Programa Doctorado en Arquitectura y Urbanismo (DAU) – Universidad del Bío-Bío Chile.

## BIBLIOGRAFIA

ARGÜELLO Teresa, ARAGÜELLES Beatriz, BADILLO Rosa. Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la construcción en México. México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, 2013.

BUSTAMANTE, Waldo. *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago de Chile: MINVU y Programa País de eficiencia Energética, 2009.

CARVALHO, Arnaldo. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento* – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis Doctoral Universitat Politècnica de Catalunya – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, España, 2001.

CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Informe Match N°33, agosto 2011, Chile [en línea]. Consultado 11 de octubre 2012. Disponible en: <http://www.cchc.cl/publicacion/informe-mach-33/>

DOMÉNECH, José Luis. *Huella Ecológica y desarrollo sostenible*. AENOR. Asociación española de normalización y certificación, 2007.

GARCÍA, Justo; FORTEA, Manuel y REYES, Antonio. Análisis comparativo en base a la sostenibilidad ambiental entre bóvedas de albañilería y estructuras de hormigón. *Rev. ing. constr.* [en línea]. 2012, vol.27, n°1, pp. 5-22.

ISO 14040:2006. *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework*. Ginebra: ISO, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). *Informe anual 2011*, Chile [en línea] Consultado 28 de agosto 2012. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/publicaciones/calendario\\_de\\_publicaciones/anuario\\_edificacion\\_2011.pdf](http://www.ine.cl/canales/publicaciones/calendario_de_publicaciones/anuario_edificacion_2011.pdf)

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (Chile). *Hormigón preparado en central hormigonera*. NCh1934. Santiago, Chile, 1992.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC). Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System. Chapter 7 Foams. *IPCC/TEAP* [en línea], 2007. Consultado 3 marzo 2011. Disponible en: <http://www.ipcc.ch>

KOMATZKA Steven y PANARESE William. *Diseño y control de mezclas de concreto*. México: Instituto Mexicano el Cemento y del Concreto, A.C., 1992.

PAS 2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Londres: BSI British Standards, 2011.

SÁNCHEZ Cleide y POSITIERI María. Contribución a la reducción de la huella ecológica del hormigón. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.16, 2012.

WADEL Gerardo, AVELLANEDA José y CUCHÍ Albert. Sustainability in industrialized architecture: closing the materials cycle. *Informes de la Construcción*, 2010, vol. 62, n°517, pp. 37-51.

WOOLLEY, Tom; KIMMINS, Sam; HARRISON, Pat y HARRISSON, Rob. *Green Building Handbook V1*. London: E & FN Spon, 1997.

ZABALZA, Ignacio, ARANDA Alfonso y SCARPELLINI Sabina. LCA in buildings: State-of-the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 2009, n°44, pp. 2510-2520.

ZABALZA Ignacio. Proyecto EnerBuiLCA: Desarrollo de una base de datos y una herramienta de análisis de ciclo de vida de edificios adaptada a la región sudoeste de Europa. *Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)*, Madrid 10 al 12 diciembre 2012.

ZARAGOZA, Aniceto. Circuito cerrado para una industria sostenible, aportaciones del sector cemento. *Informes de la Construcción*, 2010, vol. 62, n°517, pp. 53-59.

ZAROR, Claudio. *Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos*. Chile: Universidad de Concepción, 2000.

# EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

## Caso de estudio: sistemas constructivos para Vivienda de Interés Social en Montevideo-Uruguay.

Artículo recibido 21-08-14  
aceptado 03-11-14

Economic Evaluation of Energy Efficiency  
Case study: Construction systems for social housing in Montevideo, Uruguay.

KEREN GERWER GHELFGOT.  
Universidad del Bío Bío, Concepción Chile/ arq.  
kgerwer@gmail.com

**Palabras clave:**  
vivienda social, sistemas constructivos no tradicionales, eficiencia energética, simulación energética, análisis financiero.

### RESUMEN

Este artículo aborda la evaluación del desempeño energético de viviendas concebidas con diversos sistemas constructivos, proponiendo un modelo de análisis del beneficio económico derivado de las soluciones de eficiencia energética en la etapa de diseño.

La investigación se realizó en torno a la vivienda de interés social en Uruguay, considerando la importancia de la *Ley de Promoción de la Vivienda de Interés Social* (Ley 18.795), aprobada en agosto de 2011, que busca satisfacer las necesidades de la población de sectores socioeconómicos medios y medios bajos.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) admite la utilización de sistemas constructivos no tradicionales, como alternativa al hormigón armado y mampostería, con la aprobación de un *Documento de Aptitud Técnica*, donde el proveedor se compromete a satisfacer estándares de desempeño establecidos en el documento *Estándares de desempeño y requisitos para la vivienda social*. El estudio empleó tres metodologías combinadas de forma transversal y secuencial. Se llevó a cabo una selección de casos que permitió acotar el examen. Simulaciones energéticas y análisis financieros se realizaron para evaluar la rentabilidad de la incorporación de eficiencia energética. Y, como resultado, se propuso un modelo de análisis para el estudio de otras soluciones.

**Keywords:**  
social housing, non-traditional construction systems, energy efficiency, energy simulation, financial analysis.

### ABSTRACT

This article deals with the assessment of energy performance of homes designed with different construction systems. It proposes a model of analysis to study the economic benefits derived from energy efficiency solutions in the design stage. Research was carried out on social housing in Uruguay, taking into consideration the importance of the Law for the Promotion of Social Housing (Law 18,795), which was approved in August 2011 and seeks to meet the needs of the middle and lower-middle socioeconomic sectors of the population.

The Ministry of Housing, Territorial Planning and Environment (MVOTMA) allows the use of non-traditional construction systems as an alternative to reinforced concrete and masonry with the approval of a Technical Qualification Document in which the supplier pledges to meet performance standards established in the document *Performance standards and requirements for social housing*. In the study, three combined methodologies were used transversally and sequentially. A selection of cases was carried out to limit the inquiry. Energy simulations and financial analyses were performed to assess the profitability of the incorporation of energy efficiency. As a result, an analysis model for the study of other solutions is proposed.

## 1 INTRODUCCIÓN

Como todo edificio, la vivienda demanda energía para su funcionamiento. En su diseño se definen diversas condicionantes que afectan el costo asociado para satisfacer esta demanda en su etapa de uso. El problema de investigación abordado en el presente artículo radica en que al adquirir una vivienda, el usuario no valora su costo de acondicionamiento térmico mensual. Así, el estudio se centra en la evaluación de la demanda energética para calefacción y análisis financiero de prototipos de viviendas concebidas con distintos sistemas constructivos en Montevideo, planteando como hipótesis que no existe una vinculación directa entre el costo de la vivienda y su costo de acondicionamiento térmico de calefacción en la etapa de uso.

Desde esta perspectiva, Alejandro Arena, en el marco de su artículo "Análisis de Ciclo de Vida y sustentabilidad ambiental de los edificios. Experiencia en Argentina" (2005), explica:

[...] de todas las fases del ciclo de vida de un edificio, claramente la fase de uso tiene mayor importancia, dada la gran duración de su vida útil y la magnitud de los consumos y emisiones que se producen durante ella. En líneas generales, los factores que afectan los consumos energéticos de un edificio durante su uso son:

El efecto de la forma y la orientación del edificio sobre las cargas de calefacción y de acondicionamiento; El papel de la envolvente del edificio sobre la luz solar, la ganancia de energía del sol y la ventilación natural; La eficiencia energética de los equipos de climatización, iluminación y producción de agua caliente sanitaria; El papel de los ocupantes en la estrategia de operación para el control climático del edificio. (Arena, 2005:2)

Esta investigación enfoca su atención en el papel de la envolvente, realizando una evaluación energética seguida de una evaluación económico-financiera de distintas alternativas constructivas. Con un alcance exploratorio, se asume como objetivo general evaluar el desempeño energético de viviendas concebidas con diversos sistemas constructivos en Montevideo, estableciendo un modelo de análisis para el estudio de rentabilidad de la incorporación de soluciones de eficiencia energética en la etapa proyectual. Se presentan las siguientes contribuciones:

-Simulación del desempeño energético de tipologías y sistemas constructivos en Montevideo.

-Evaluación de los costos de construcción y costos de acondicionamiento térmico de calefacción de los sistemas elegidos en un periodo de uso determinado.

-Establecimiento de un modelo de análisis, cuyo fin es servir de base para el estudio de otras tecnologías.

## 2 METODOLOGÍA

Para realizar la evaluación económica se llevaron a cabo las siguientes tareas, las cuales se combinan en las distintas metodologías de trabajo desarrolladas posteriormente:

1. Elección de los casos de estudio: caso base y casos alternativos.
2. Definición de los parámetros fijos y variables.
3. Simulación energética.
4. Análisis financiero.

Empleándose tres metodologías, se diagramó una hoja de ruta para conseguir los objetivos de la investigación. Primeramente, el estudio de casos se incorporó en base a lineamientos establecidos por Hernández (2010), permitiendo un estudio holístico, que cortó transversalmente las otras dos metodologías aplicadas. Los casos sirvieron de instrumento de estudio, aplicándose a tres elementos: la elección de las viviendas –Vivienda de Interés Social, sostenida por la creación de la nueva *Ley de Promoción a la Vivienda de Interés Social (VIS)*–; la elección de los sistemas constructivos –construcción tradicional uruguaya y sistemas constructivos no tradicionales, sustentada por el aval técnico obtenido con la aprobación de su *Documento de Aptitud Técnica* para la construcción de VIS–; y la elección de los sistemas de calefacción –eléctrico, leña y supergás, respaldada por datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y el Ministerio de Industria, Energía y Minería–.

La segunda metodología empleada fue la simulación computacional, cuyo fin fue calcular la demanda energética, para lo cual se estableció parámetros fijos, bajo directrices normativas vigentes, datos estadísticos y otras fuentes citadas. Las simulaciones fueron realizadas con el programa TAS (Thermal Analysis Software), por sus prestaciones en términos de simulación de demanda energética y validaciones internacionales.

Finalmente, el análisis financiero se empleó como método de evaluación económica de las distintas soluciones estudiadas, con el propósito de comparar, mediante un análisis de ciclo de vida, la relación entre el costo inicial y el valor presente de los costos operativos de calefacción, así como el valor presente neto de todos los costos considerados y año de repago de la inversión, si lo hubo.

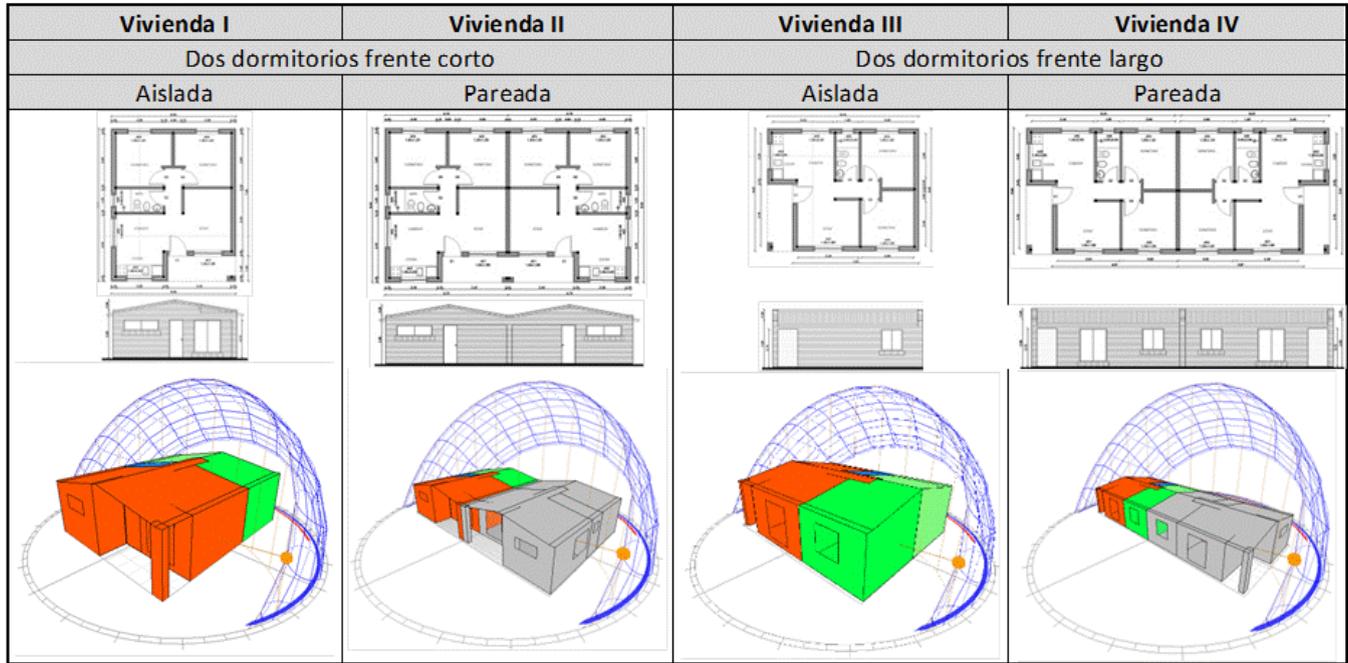


Tabla 2.1 Casos de estudio: prototipos de viviendas

	Vivienda I	Vivienda II	Vivienda III	Vivienda IV
Superficie interior de radier (m <sup>2</sup> )	42,4	42,4	42,4	42,4
Superficie interior de techos (m <sup>2</sup> )	52,9	52,9	52,9	52,9
Superficie de envolvente (m <sup>2</sup> )	91,2	64,6	91,2	72,2
Superficie de ventanas (m <sup>2</sup> )	9,9	9,9	9,9	9,9
Superficie de puertas exteriores (m <sup>2</sup> )	2,1	2,1	2,1	2,1

Tabla 2.2 Características físicas de los prototipos de viviendas

## 2.1 CASOS DE ESTUDIO

### 2.1.1 Elección de las tipologías de vivienda

El MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) facilita proyectos de viviendas económicas para autoconstrucción. Se eligieron, para este estudio, dos de sus prototipos –dos dormitorios frente corto y dos dormitorios frente largo–, y dos alternativas de agrupación –vivienda aislada y vivienda pareada–. (Tabla 2.1 y Tabla 2.2)

### 2.1.2 Elección de los sistemas constructivos

Con fundamento en el *Informe de Divulgación sobre Situación de la Vivienda en Uruguay* (INE, 2006), se eligió como caso base un sistema de construcción tradicional usualmente utilizado para viviendas de nivel socioeconómico bajo.

El mismo documento expresa que las viviendas elaboradas bajo dicho sistema presentan frecuentes patologías constructivas producto de un desempeño higrotérmico deficiente:

Las viviendas presentan en forma muy difundida problemas de construcción y conservación. Entre los que afectan a más del 25% de los hogares en todo el país, se encuentra las humedades en los techos o en los cimientos, las goteras y la caída de revoque en paredes o techos. Se observa en forma generalizada mayor deterioro en el interior urbano que en Montevideo, y más aún en el interior rural. (INE, 2006:52)

*Sistema Constructivo Tradicional 1 (SCT 1):* El caso base, edificado a partir de este sistema, correspondió a una construcción de muros de bloques cementicios de 11 cm de espesor y techo de chapa con 3 cm de aislación térmica de poliestireno expandido. Se incorporó al estudio un sistema de construcción tradicional avalado por el MVOTMA en su propuesta para autoconstrucción de Vivienda Económica y sistemas constructivos no tradicionales (SCNT) con *Documento de Aptitud Técnica* aprobado por el MVOTMA. Los SCNT fueron validados con el fin de respaldar su desempeño en aspectos como seguridad estructural, seguridad frente al fuego, seguridad de uso, habitabilidad y confort, entre otros. Todos ellos se explican a continuación.

*Sistema Constructivo Tradicional 2 (SCT 2):* Construcción húmeda basada en una envolvente de muro doble de ladrillo de campo, cámara de aire y aislaciones, y techumbre de hormigón armado, capas de aislamiento y cobertura de chapa.

*Sistema Constructivo No Tradicional 1 (SCNT 1):* Es un sistema basado en el montaje de una estructura

de chapa plegada y la proyección de un mortero a base de yeso, cemento, arena y poliestireno expandido. Permite gran flexibilidad de diseño y buen desempeño térmico, ignífugo, acústico y estructural.

*Sistema Constructivo No Tradicional 2 (SCNT 2):* Consiste en la construcción de una envolvente monolítica aislante, compuesta por paneles de muro y losa autoportantes. Los paneles están constituidos por un alma de espuma de poliestireno expandido entre dos capas de mortero armado, proyectado *in situ*.

*Sistema Constructivo No Tradicional 3 (SCNT 3):* Es un sistema de paneles y conectores de PVC rellenos de hormigón u otros materiales *in situ*. Este sistema es utilizado para muros y admite cubiertas de otros sistemas constructivos. Las piezas de PVC se fabrican de distintos espesores. Es un sistema abierto versátil y liviano.

Las siguientes tablas presentan los datos técnicos de cada uno de los materiales utilizados en los distintos elementos de muros exteriores y techos.

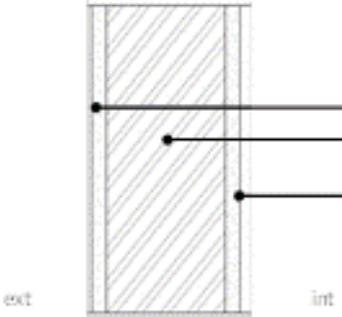
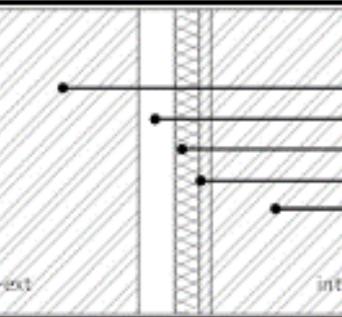
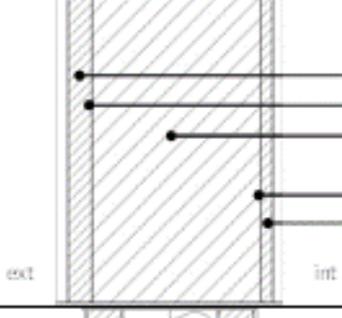
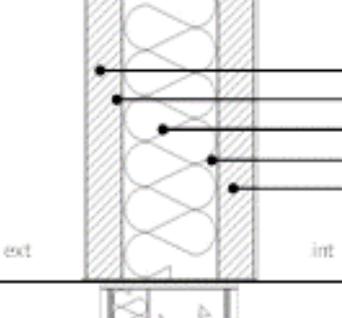
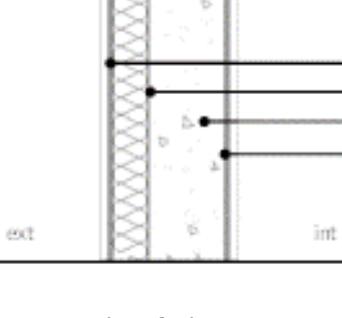
		<b>Materiales</b>	<b>Ancho m</b>	<b>Conduct. Térmica W/mK</b>	<b>Factor de difusión de vapor</b>	<b>Densidad Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Calor Específico J/KgK</b>
<b>SCT 1</b>		1-Mortero exterior	0,015	1,400	34,0	2100,0	920,0
		2-Bloque de hormig. de 8x19x39	0,080	1,000	23,0	1300,0	920,0
		3-Mortero interior	0,015	1,100	34,0	1800,0	920,0
		<b>U = 3,645 W/m<sup>2</sup> K</b>					
<b>SCT 2</b>		1-Ladrillo de campo	0,120	0,650	8,0	1300,0	750,0
		2-Cámara de aire	0,030	Conv. 1,01	1,0	0,0	0,0
		3-Poliestireno exp.	0,020	0,039	21,0	15,0	1210,0
		4-Hidrófugo	0,010	1,400	1,0	2100,0	920,0
		5-Ladrillo de campo (expuesto a la lluvia)	0,120	0,790	8,0	1300,0	750,0
<b>U = 0,829 W/m<sup>2</sup> K</b>							
<b>SCNT 1</b>		1-Acabado SCNT1	0,020	0,349	34,0	1355,0	920,0
		2- Malla electrosol.					
		3-Protección SCNT1 /Estructura metálica	0,140	0,138	34,0	644,0	920,0
		4-Malla electrosol.					
		5- Acabado SCNT1	0,010	0,349	34,0	1355,0	920,0
<b>U = 0,787 W/m<sup>2</sup> K</b>							
<b>SCNT 2</b>		1-Mortero	0,035	1,400	34,0	2100,0	920,0
		2-Malla de acero					
		3-Poliestireno exp.	0,080	0,039	21,0	15,0	1210,0
		4-Malla de acero					
		5-Mortero	0,035	1,100	34,0	1800,0	920,0
<b>U = 0,439 W/m<sup>2</sup> K</b>							
<b>SCNT 3</b>		1-PVC SCNT3	0,003	0,160	99,0	1390,0	837,0
		2-Poliestireno exp.	0,030	0,032	21,0	24,0	1210,0
		3-Hormigón	0,064	1,650	24,0	2200,0	920,0
		4-PVC SCNT3	0,003	0,160	99,0	1390,0	837,0
<b>U = 0,657 W/m<sup>2</sup> K</b>							

Tabla 2.3 Muros exteriores de sistemas constructivos.

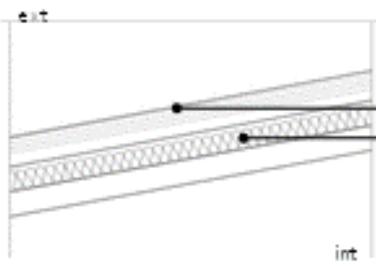
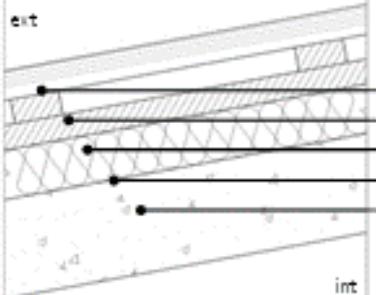
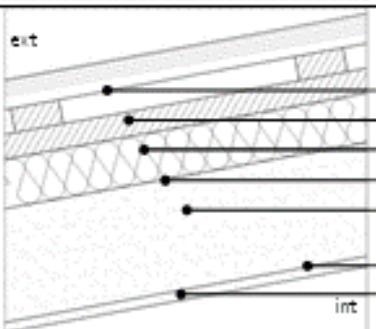
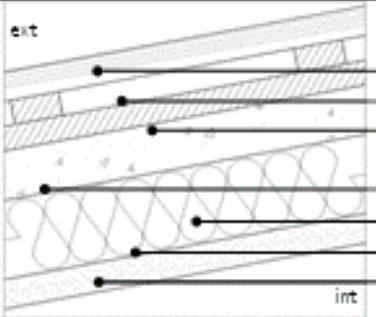
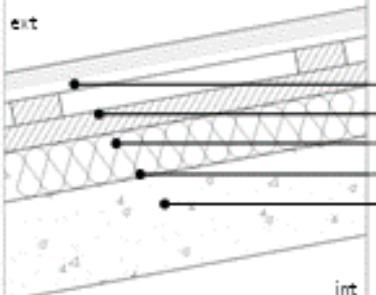
		Materiales	Ancho m	Conduct. Térmica W/mK	Factor de difusión de vapor	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Calor Específico J/KgK
SCT 1		1-Chapa de Zinc	0,0020	112,000	9999,99	7100,0	380,0
		2-Poliestireno exp.	0,0200	0,039	21,00	15,0	1210,0
		U = 1,53 W/m <sup>2</sup> K					
SCT 2		1-Chapa de Zinc	0,0020	112,000	9999,99	7100,0	380,0
		2-Cámara de aire	0,0500	conv. 1,77	1,00	0,0	0,0
		3-Poliestireno exp.	0,0500	0,039	21,00	15,0	1210,0
		4-Film de polietileno	0,0002	14,000	0,001	1090,0	2100,0
		5-Losa de HA	0,1000	1,630	24,00	2400,0	920,0
		U = 0,773 W/m <sup>2</sup> K					
SCNT 1		1-Chapa de Zinc	0,0020	112,000	9999,99	7100,0	380,0
		2-Cámara de aire	0,0500	conv. 1,77	1,00	0,0	0,0
		3-Poliestireno exp.	0,0500	0,039	21,00	15,0	1210,0
		4-Malla electrosol.					
		5-Protección SCNT1 /Estructura SCNT1	0,1400	0,138	12,00	644,0	920,0
		6-Malla electrosol.					
		7-Acabado SCNT1	0,0100	0,349	12,00	1355,0	920,0
		U = 0,440 W/m <sup>2</sup> K					
SCNT 2		1-Chapa de Zinc	0,0020	112,000	9999,99	7100,0	380,0
		2-Cámara de aire	0,0500	conv. 1,77	1,00	0,0	0,0
		3-Carpetta de compresión	0,0500	2,000	34,00	2400,0	920,0
		4-Malla de acero					
		5-Poliestireno exp.	0,0800	0,039	21,00	10,0	1210,0
		6-Malla de acero					
		7-Revoque	0,0850	1,100	34,00	1800,0	920,0
		U = 0,415 W/m <sup>2</sup> K					
SCNT3		1-Chapa de Zinc	0,0020	112,000	9999,99	7100,0	380,0
		2-Cámara de aire	0,0500	conv. 1,77	1,00	0,0	0,0
		3-Poliestireno exp.	0,0500	0,039	21,00	15,0	1210,0
		4-Film de polietileno	0,0002	14,000	0,001	1090,0	2100,0
		5-Losa de HA	0,1000	1,630	24,00	2400,0	920,0
		U = 0,446 W/m <sup>2</sup> K					

Tabla 2.4 Techos de sistemas constructivos.

	Área	Volumen	Ocupantes		Infiltración	Ventilación	Ganancias por iluminación		Ganancias de calor sensible por ocupación	Ganancias de calor latente por ocupación	Ganancias de calor sensible por equipos	Ganancias de calor latente por equipos	Horarios de ocupación
	MVOTMA	MVOTMA	nº	ach	ach	CTEsp + ingemecánica.com	MVOTMA + OSRAM	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	
	m²	m³											
<b>Acceso</b>	4,9	12,9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	sin horarios
<b>Cocina-comedor</b>	22,3	58,8	4	0,5	16,0	8,1	11,6	9,9	14,6	2,4			según zona
<b>Dormitorio 1</b>	8,4	21,9	2	0,5	8,0	10,7	14,3	9,5	20,8	5,7			según zona
<b>Dormitorio 2</b>	8,4	21,9	2	0,5	8,0	5,3	14,2	9,5	20,8	5,7			según zona
<b>Baño</b>	3,2	8,3	/	0,5	4,0	/	/	/	/	/	/	/	sin horarios
<b>Horarios de ocupación</b>				24 hs	según zona	según zona	según zona	según zona	según zona	según zona	según zona		

Tabla 2.5 Resumen de ganancias internas

Aparato	Electricidad (kWh/año)	Fracción de carga sensible	Fracción de carga Latente
Refrigerador	434	1,000	0,00
Lavarropas	897	0,150	0,05
Diversas	2091	0,734	0,20
Televisión	673	1,000	0,00
Microondas	78	1,000	0,00

Tabla 2.6 Cargas de calor sensible y latente según aparato

### 2.1.3 Elección de los sistemas calefacción

El INE revela el uso predominante de sistemas de calefacción como estufas, paneles radiantes o similares. En cuanto a las fuentes, indica que el supergás, la electricidad y la leña para estos fines son, en orden decreciente, las fuentes de energía más empleadas, no sólo en Montevideo, sino también en el resto del país (INE, 2006). Para el estudio, fueron seleccionados tres sistemas de calefacción: estufa a cuarzo de 1400 W, salamandra y estufa con garrafa de 13 kg. Con el fin de determinar la cantidad de equipos a instalar, se consideró que la demanda quedara siempre cubierta. Cabe aclarar que se analizó la cantidad de calor suministrado por cada sistema según el poder calorífico de la fuente de energía y el rendimiento del equipo, sin considerar la calidad de calor y confort que brinda cada una de estas tecnologías. A modo de ejemplo, no es la misma la dispersión del calor, los olores y gases generados por los distintos sistemas. Tampoco se incluyó en el estudio una evaluación del impacto ambiental de las fuentes de energía involucradas en el análisis.

### 2.2 Simulación energética

Las simulaciones se realizaron con la herramienta TAS. Se trata, como sostiene González, en su investigación titulada *Evaluación de herramientas de simulación energética*, de un instrumento “[...] ampliamente validado y utilizado en investigaciones científicas [...]” (2012:100). TAS está reconocido como software BEEM (Building Energy and Environmental Modelling) y aprobada por ASHRAE 140-1 e ISO 13791.

Para llevar a cabo la simulación, se parametrizaron los siguientes conceptos:

- Emplazamiento y parámetros climáticos de Montevideo, según datos de Meteornorm.
- Zonas térmicas, según proyecto de arquitectura dado por el MVOTMA.
- Condiciones internas, según Tabla 2.5 y Tabla 2.6.
- Termostatos, horarios de ocupación y calendarios de uso, según parámetros de confort y supuestos de uso considerados.

### 2.3 Análisis financiero

Los procedimientos para realizar el análisis financiero son comúnmente empleados para este tipo de estudio analítico, permitiendo evaluar las alternativas propuestas y la determinación de la más rentable (Fiscal, 2001). Los supuestos estimados son parte del caso de estudio y su alteración afecta el resultado del análisis.

Se evaluaron los siguientes indicadores financieros:

- Valor Presente Neto (VPN): valor actual de un pago futuro, calculado según ecuaciones paramétricas que consideran el año del pago y su tasa de descuento.
- Período de repago: tiempo de recuperación de una inversión respecto de un caso base. Se incluyó los siguientes costos e indicadores:
  - Costos de las viviendas según modelos de pago contado y financiado.
  - Costos de mantenimiento de las viviendas.
  - Costos operativos de acondicionamiento térmico según condiciones de uso establecidas.
  - Costos de los sistemas de calefacción.
  - Horizonte de análisis: 20 años, según criterio comúnmente empleado para obras de construcción.
  - Tasa de descuento: 5,7%, según tasa de descuento pasiva del Banco Central del Uruguay, en el momento de realizado el estudio.
  - Tasa de escalonamiento de la electricidad: 8,35%, según datos de la compañía eléctrica de Uruguay, UTE.
  - Tasa de escalonamiento de la leña: 5,88%, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Minería del Uruguay.
  - Tasa de escalonamiento del supergás: 13,20%, según Unión de Vendedores de Nafta del Uruguay.
  - Costo de oportunidad: se considera que la compra de la vivienda no implica la renuncia a otra inversión.

#### 2.3.1 Costos iniciales de las viviendas

Se solicitó a los proveedores de los SCNT que cotizaran las viviendas bajo requerimientos equivalentes, estableciéndose su costo inicial. Se consideró dos formas de adquisición de las viviendas: la primera, según pago contado, y la segunda, según un pago financiado por medio del simulador de créditos del Banco Hipotecario del Uruguay. El plan de financiamiento permite un pago inicial mínimo del 20% y un financiamiento del resto del costo en 240 cuotas con una tasa de interés del 6%.

	Vivienda I		Vivienda II		Vivienda III		Vivienda IV	
	(usd)	(usd/m <sup>2</sup> )	(usd)	(usd/m <sup>2</sup> )	(usd)	(usd/m <sup>2</sup> )	(usd)	(usd/m <sup>2</sup> )
SCT 1	48.227	1.020	47.263	999	48.227	1.020	47.745	1.009
SCT 2	66.448	1.405	64.262	1.359	66.448	1.405	65.355	1.382
SCNT 1	61.644	1.303	60.563	1.280	61.644	1.303	61.104	1.292
SCNT 2	54.401	1.150	53.744	1.136	54.401	1.150	54.073	1.143
SCNT 3	61.095	1.292	61.095	1.292	61.095	1.292	61.095	1.292

Tabla 2.7 Cuadro resumen de costos iniciales de las viviendas.

### 2.3.2 Costos de mantenimiento de las viviendas

El costo de mantenimiento de las viviendas se estimó anualizado, considerándose trabajos de pintura, mantenimiento y reparaciones menores. Como base, se estableció para las viviendas concebidas con los SCT 2, SCNT 1 y SCNT 2, un costo de USD500 anuales; para el SCNT 3, de USD300 anuales, por no requerir trabajos de pintura en las paredes, y para el SCT 1, se estimó en USD900 anuales, debido a su alto riesgo de condensación.

### 2.3.3 Costos de adquisición, vida útil y características de los equipos de calefacción

## 3 SIMULACIÓN ENERGÉTICA

### 3.1 Análisis de demanda energética de calefacción

Según los parámetros establecidos, se realizaron las 20 simulaciones computacionales en TAS. El Gráfico 3.1 muestra el indicador de demanda energética de calefacción por metro cuadrado de construcción según cada vivienda y sistema constructivo.

### 3.2 Cálculo del consumo

En base a la demanda obtenida de las simulaciones y los datos establecidos en la sección de metodología, se realizó el cálculo de consumo, partiendo del concepto  $Cc = Dc / R$ . Además de la demanda a satisfacer y el rendimiento del sistema, debe considerarse la capacidad

Fuente de energía	Equipo	Costo del equipo	Vida útil	Poder Calorífico Inferior	Rendimiento	Costo de la energía
Electricidad	A Estufa a cuarzo de 1400 W	50 usd	5 años	100% KJ/kWh	100%	0,21usd/kWh
Leña	B Salamandra	408 usd	25 años	40% KJ/kg de leña	40%	0,14usd/kg de leña
Supergás	C Estufa con garrafa de 13 Kg	204 usd	10 años	85% KJ/kg de supergás	85%	1,51usd/kg de gas

Tabla 2.8 Costo y vida útil del sistema de calefacción.

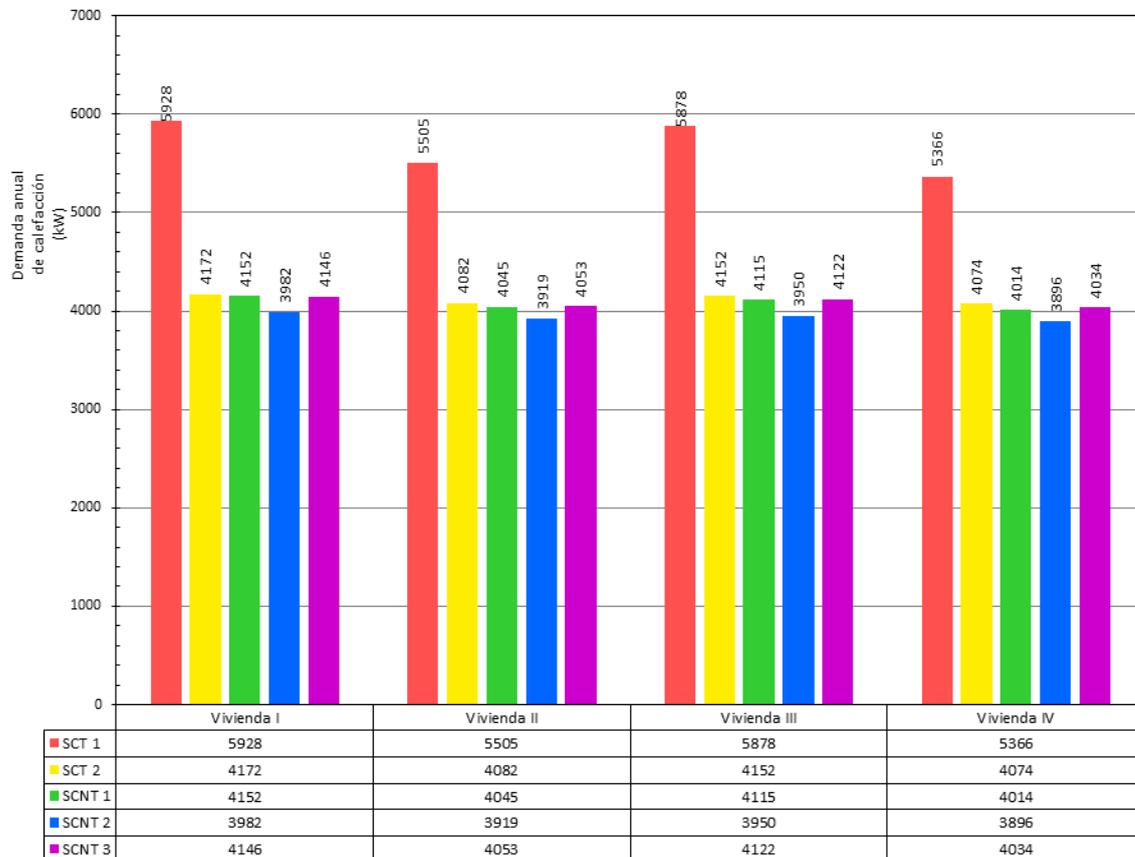


Gráfico 3.1 Demanda de calefacción anual según vivienda y sistema constructivo en kW/m2

de la fuente de liberar calor, producto de la unión química entre el combustible y el comburente. Este concepto conocido como “poder calorífico inferior”, se integra en la ecuación de la siguiente manera:

$$Q = Cc / PCI \text{ (Click Renovables).}$$

$$Q \text{ (USD)} = Q \times \text{Costo}$$

Q: Cantidad de combustible necesario anual (unidad según fuente)

Cc: Consumo energético de calefacción anual (unidad según fuente)

Dc: Demanda energética de calefacción anual (unidad según fuente)

R: Rendimiento del sistema (%)

PCI: Poder calorífico inferior (kJ/kWh)

Costo: Costo (USD/unidad según fuente)

Las siguientes gráficas ilustran el consumo energético anual de calefacción según sistema constructivo, presentado en dólares americanos.

El promedio de los costos por consumo de calefacción con estufa a cuarzo (A) resultó de USD940 anuales, mientras el promedio del sistema de salamandra (B) fue de USD478 anuales y el de estufa a supergás (C), de USD617 anuales. De esta forma, queda ilustrado que el sistema eléctrico requiere prácticamente el doble de costo que el sistema a leña y un 52,5% más que el sistema a supergás. El consumo del sistema a leña resultó un 22,5% más económico que el sistema a gas.

Concretamente, en relación al sistema eléctrico, el costo de consumo de calefacción anual asciende a USD1.217, para SCT 1, y USD871 como valor promedio del resto de los sistemas alternativos aprobados por

el MVOTMA. Respecto a la calefacción a leña, el monto alcanza los USD619 y USD443, respectivamente; y para la calefacción a supergás, USD799 y USD571.

Se puede observar que, en términos de costo anual de energía, en todos los casos la leña resultó más económica que la electricidad.

## 4 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero, según vivienda y sistema de calefacción, se realizó para los dos supuestos de pago: contado y financiado. Se presenta aquí las planillas de evaluación realizadas para la Vivienda I y sistema de calefacción A (Tabla 4.1 y Tabla 4.2), incluyéndose los costos iniciales de las viviendas, los costos equipos de calefacción, sus costos de reemplazo, las cuotas de pago anuales en el caso de pago financiado, los costos anuales de mantenimiento estimado de las viviendas y los costos anuales operativos según la fuente de energía utilizada. El Gráfico 4.1 y Gráfico 4.2 ilustran los costos acumulados anualmente para ambos casos. Los cortes de las curvas indican el retorno de una inversión alternativa respecto de otra. En el supuesto de pago contado, el SCNT 1 logra recuperar la inversión inicial respecto del caso base (SCT 1) en el año 19; el SCNT 2 lo hace en el año 8; y el SCNT 3 en el año 12. El SCT 2 no consigue recuperar la inversión realizada para el periodo de ACV (Análisis de Ciclo de Vida). En el supuesto de pago financiado, SCNT 1 logra recuperar la inversión inicial en el año 19; el SCNT 2 lo consigue en el año 3; y el SCNT 3 lo hace en el año 7. El SCT 2 no recupera la inversión realizada para el periodo de ACV.

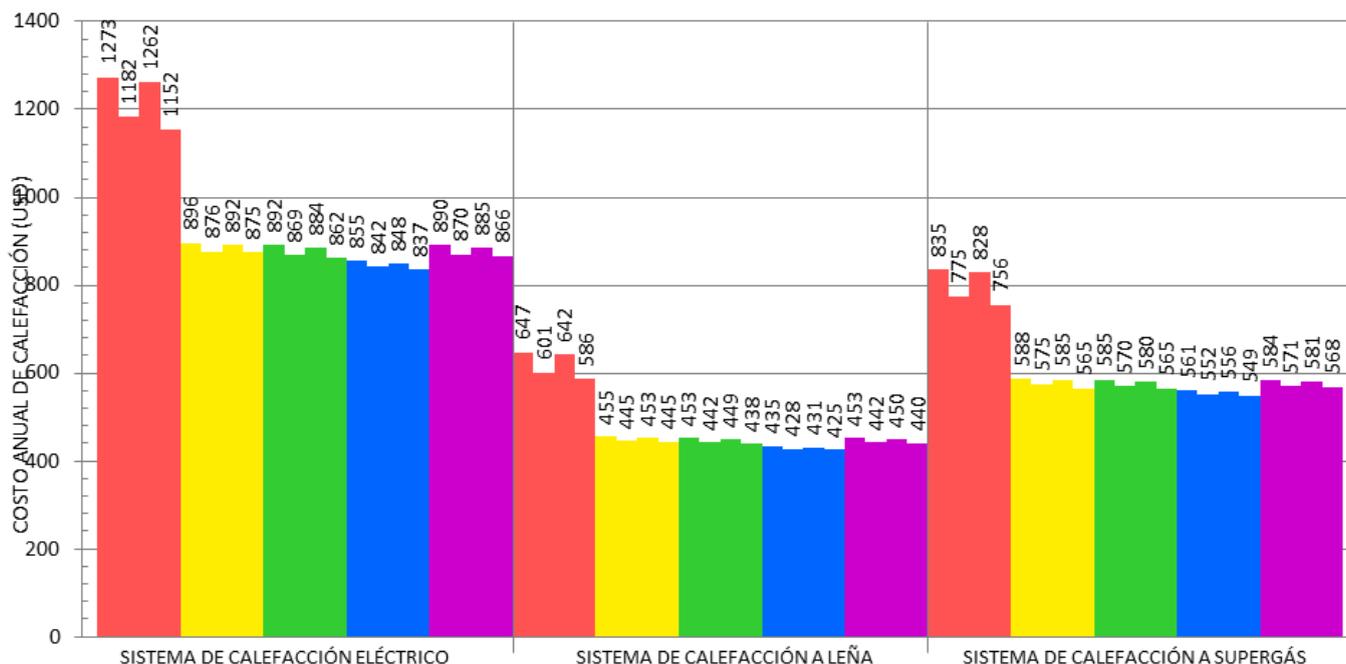


Gráfico 3.2 Consumo energético anual según vivienda, sistema constructivo y sistema de calefacción en USD

Título del proyecto		VIVIENDA I SISTEMA A PAGO CONTADO		Base		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
Tasa de descuento		5,70%		Descripción:		Descripción:		Descripción:		Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida (años)		20		SCT1		SCT2		SCNT1		SCNT2		SCNT3	
Fecha		Mayo de 2014		Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP
Costos Iniciales	<b>Costos iniciales</b>												
	Costo inicial de la vivienda	100%	48.227	48.227	66.448	66.448	61.782	61.782	54.401	54.401	58.832	58.832	
	Costo del sistema de calefacción		402	402	302	302	302	302	302	302	302	302	
	<b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>			48.629	66.750	62.083	54.703	59.134					
<b>DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE</b>				-18.121	-13.454	-6.074	-10.505						
Reemplazo / Vida residual	<b>Reemplazo</b>												
	Reemplazo	año	FVP										
	Costo del sistema de calefacción	5	0,76	8 402	305	6 302	229	6 302	229	6 302	229	6 302	229
	Costo del sistema de calefacción	10	0,57	8 402	231	6 302	173	6 302	173	6 302	173	6 302	173
	Costo del sistema de calefacción	15	0,44	8 402	175	6 302	131	6 302	131	6 302	131	6 302	131
	Costo del sistema de calefacción	20	0,33	8 402	133	6 302	100	6 302	100	6 302	100	6 302	100
<b>TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL</b>			843	633	633	633	633						
<b>DIFERENCIA COSTO REEMPLAZO VALOR PRESENTE</b>				211	211	211	211						
Costos Anuales	<b>Costos Anuales</b>												
	Costo de mantenimiento de la vivienda		11,75	900	10.579	300	3.526	500	5.877	500	5.877	300	3.526
	Tasa Escalonamiento	FVP/escal.											
	Costo de energía para calefacción	8,35%	26,20	1.273	33.361	896	23.475	892	23.364	855	22.406	890	23.332
	<b>TOTAL COSTOS ANUALES</b>			43.940	27.001	29.241	28.284	26.859					
<b>DIFERENCIA COSTOS ANUALES VALOR PRESENTE</b>				16.939	14.699	15.656	17.081						
Costos Ciclos de Vida	<b>Costos Ciclo de Vida (valor presente)</b>												
			SCT1	93.412	94.384	91.957	83.619	86.625					
	<b>DIFERENCIA COSTO VALOR PRESENTE</b>		SCT1		-972	1.455	9.793	6.787					
<b>DIFERENCIA COSTO VALOR PRESENTE</b>		SCT2	972		2.427	10.764	7.759						

Tabla 4.1 Evaluación económica: Vivienda I – Sistema A – supuesto de pago contado

Título del proyecto		VIVIENDA I SISTEMA A PAGO FINANCIADO		Base		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C		Alternativa D	
Tasa de descuento		5,70%		Descripción:		Descripción:		Descripción:		Descripción:		Descripción:	
Ciclo de vida (años)		20		SCT1		SCT2		SCNT1		SCNT2		SCNT3	
Fecha		Mayo de 2014		Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP	Costo	VP
Costos Iniciales	<b>Costos iniciales</b>												
	Costo inicial de la vivienda	20%	9.645	9.645	13.290	13.290	12.356	12.356	10.880	10.880	11.766	11.766	
	Costo del sistema de calefacción		402	402	302	302	302	302	302	302	302	302	
	<b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>			10.047	13.591	12.658	11.182	12.068					
<b>DIFERENCIA COSTO INICIAL VALOR PRESENTE</b>				-3.544	-2.610	-1.134	-2.021						
Reemplazo / Vida residual	<b>Reemplazo</b>												
	Reemplazo	año	FVP										
	Costo del sistema de calefacción	5	0,76	8 402	305	6 302	229	6 302	229	6 302	229	6 302	229
	Costo del sistema de calefacción	10	0,57	8 402	231	6 302	173	6 302	173	6 302	173	6 302	173
	Costo del sistema de calefacción	15	0,44	8 402	175	6 302	131	6 302	131	6 302	131	6 302	131
	Costo del sistema de calefacción	20	0,33	8 402	133	6 302	100	6 302	100	6 302	100	6 302	100
<b>TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL</b>			843	633	633	633	633						
<b>DIFERENCIA COSTO REEMPLAZO VALOR PRESENTE</b>				211	211	211	211						
Costos Anuales	<b>Costos Anuales</b>												
	Costo de cuota anual de la vivienda		11,75	3.552	41.752	4.884	57.409	4.548	53.460	3.996	46.971	4.332	50.921
	Costo de mantenimiento de la vivienda		11,75	900	10.579	300	3.526	500	5.877	500	5.877	300	3.526
	Tasa Escalonamiento	FVP/escal.											
	Costo de energía para calefacción	8,35%	26,20	1.273	33.361	896	23.475	892	23.364	855	22.406	890	23.332
<b>TOTAL COSTOS ANUALES</b>			85.692	84.410	82.701	75.255	77.779						
<b>DIFERENCIA COSTOS ANUALES VALOR PRESENTE</b>				1.282	2.991	10.437	7.913						
Costos Ciclos de Vida	<b>Costos Ciclo de Vida (valor presente)</b>												
			SCT1	96.583	98.634	95.991	87.069	90.480					
	<b>DIFERENCIA COSTO VALOR PRESENTE</b>		SCT1		-2.051	592	9.513	6.103					
<b>DIFERENCIA COSTO VALOR PRESENTE</b>		SCT2	2.051		2.643	11.565	8.154						

Tabla 4.2 Evaluación económica: Vivienda I – Sistema A – supuesto de pago financiado.

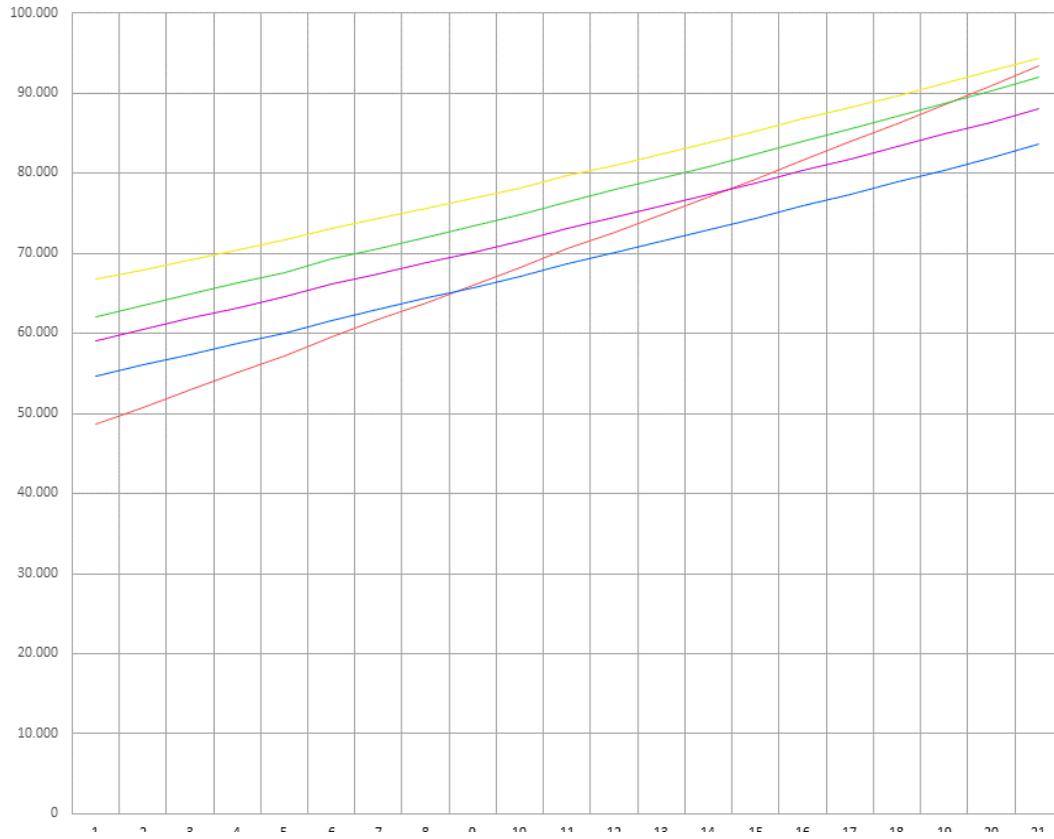


Gráfico 4.1 Costos acumulados Vivienda I – Sistema A – supuesto de pago contado.

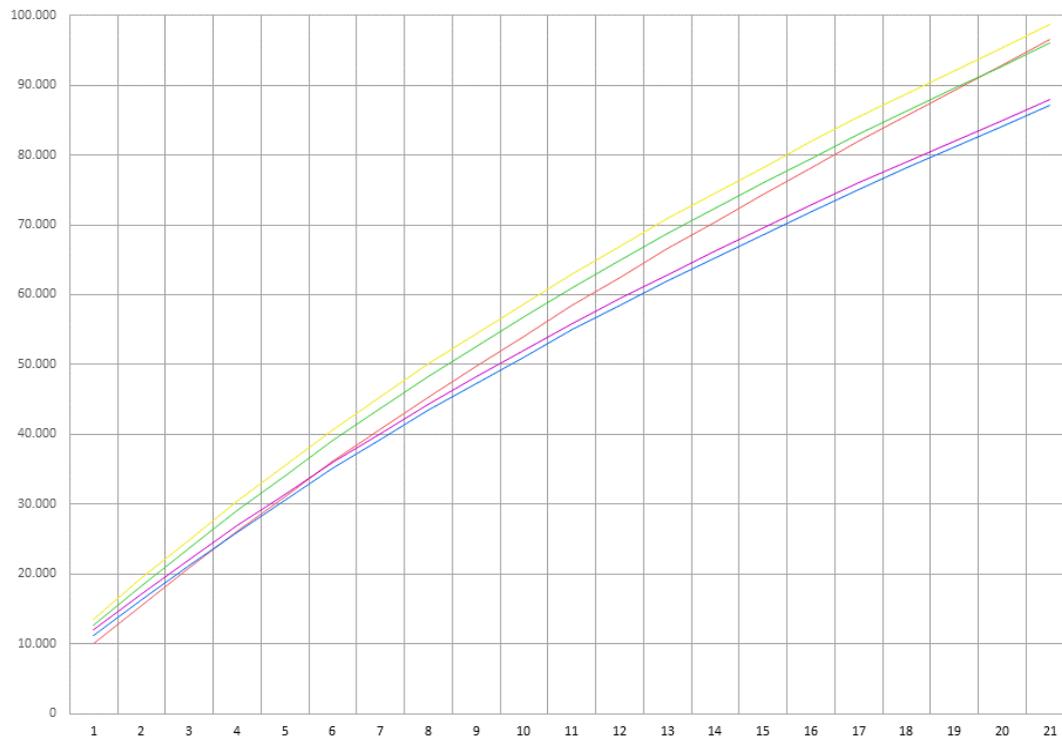


Gráfico 4.2 Costos acumulados Vivienda I – Sistema A – supuesto de pago financiado.

En la Tabla 4.3 se han tabulado los VPN de todos los casos estudiados y en la Tabla 4.4 se presenta un cuadro de valores de repago de las soluciones alternativas respecto del caso base, evidenciándose que, para los casos estudiados, los sistemas constructivos aprobados

presentan un beneficio económico en el ACV realizado respecto del caso base, producto del ahorro en energía para calefacción. En algunos casos es posible repagar la inversión inicial en el tiempo de análisis propuesto.

Sistema de calefacción	Sistema constructivo	Supuesto de pago contado				Supuesto de pago financiado			
		Vivienda I	Vivienda II	Vivienda III	Vivienda IV	Vivienda I	Vivienda II	Vivienda III	Vivienda IV
A Estufa a cuarzo	SCT 1	93.412	89.908	93.129	89.611	96.583	93.003	96.300	92.745
	SCT 2	92.960	90.408	92.848	91.386	98.634	95.856	98.523	97.017
	SCNT 1	90.318	88.695	90.112	89.034	95.991	94.185	95.786	94.545
	SCNT 2	83.619	82.607	83.438	82.810	87.069	86.019	86.888	86.241
	SCNT 3	86.675	86.148	86.538	86.044	90.480	89.953	90.343	89.849
B Estufa a leña	SCT 1	72.804	70.899	73.104	71.073	75.975	73.994	75.863	74.206
	SCT 2	78.233	75.989	78.601	76.993	83.908	81.437	83.864	82.625
	SCNT 1	75.659	74.400	75.989	74.843	81.332	79.890	81.251	80.354
	SCNT 2	69.539	68.742	69.879	69.021	72.989	72.154	72.918	72.452
	SCNT 3	72.035	71.827	72.392	71.786	75.840	75.632	75.786	75.591
C Estufa a gas	SCT 1	97.030	93.418	96.716	93.035	100.201	96.513	99.887	96.168
	SCT 2	95.404	92.797	95.281	93.769	101.079	98.244	100.955	99.401
	SCNT 1	92.750	91.061	92.522	91.380	98.423	96.551	98.195	96.891
	SCNT 2	85.946	84.894	85.745	85.083	89.396	88.306	89.195	88.514
	SCNT 3	89.104	88.519	88.952	88.403	92.909	92.323	92.756	92.208

Tabla 4.3 Resumen de VPN (USD)

	Supuesto de pago contado				Supuesto de pago financiado			
	SCT 2	SCNT 1	SCNT 2	SCNT 3	SCT 2	SCNT 1	SCNT 2	SCNT 3
Vivienda I - Sistema A	-	19	8	12	-	19	3	7
Vivienda II - Sistema A	-	-	10	15	-	-	5	12
Vivienda III - Sistema A	-	19	8	12	-	19	3	8
Vivienda IV - Sistema A	-	-	10	15	-	-	5	12
Vivienda I - Sistema B	-	-	12	18	-	-	5	20
Vivienda II - Sistema B	-	-	14	15	-	-	8	-
Vivienda III - Sistema B	-	-	12	19	-	-	5	20
Vivienda IV - Sistema B	-	-	14	-	-	-	8	-
Vivienda I - Sistema C	20	18	9	13	-	18	4	9
Vivienda II - Sistema C	-	20	10	15	-	-	6	13
Vivienda III - Sistema C	20	18	9	13	-	18	4	9
Vivienda IV - Sistema C	-	20	10	15	-	-	6	13

Tabla 4.4 Resumen de periodo de repago (años).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Sumario de resultados obtenidos

El estudio realizado se ha basado en el cálculo y la simulación, donde siempre que se mantengan los mismos datos de entrada o partida se llegará a un mismo resultado, sin dar lugar al azar o a la incertidumbre. Por este motivo, se trata de una investigación determinista: el resultado estará determinado por las decisiones definidas que se ingresan en el modelo matemático.

Resultó evidente la diferencia en prestaciones alcanzadas por los sistemas aprobados por el MVOTMA y el sistema de construcción tradicional a base de bloques cementicios. Las diferencias que presentan los sistemas alternativos respecto del caso base son más evidentes que las diferencias entre los sistemas alternativos entre sí. Al hacer *zoom* con fin de evaluar las variaciones entre los sistemas alternativos considerados, se apreció que optimizando la elección de tipología, materialidad y sistema de calefacción por separado, se asegura al usuario el mejor desempeño energético de las variables consideradas, condicionado a que cada una de las opciones esté dentro del rango de valores para el cual fue diseñado. Sin embargo, cuando se realiza una evaluación financiera se involucran otros costos en un ACV que pueden variar la toma de decisión, principalmente, producto de las tasas de escalonamiento de la energía.

Según el análisis realizado, cuando se comparan los resultados de demanda y consumo obtenidos por tipologías, la vivienda IV –pareada de frente largo– fue la solución que requirió menor demanda energética anual. Cuando se evalúan los sistemas constructivos, el SCNT 2 resultó ser la solución más eficiente. Y cuando se analizó el consumo energético, el sistema de calefacción B –Salamandra– fue la opción más económica.

Al incorporar al análisis una evaluación financiera se demuestra que no siempre la misma solución resulta ser la más económica. Dicho análisis incluyó una serie de costos y parámetros que afectaron los resultados iniciales, como los costos de adquisición y mantenimiento de las viviendas, costo inicial y de reposición de sistemas de calefacción utilizados, los costos operativos de calefacción y los indicadores y tasas involucrados, que por medio de ecuaciones paramétricas permiten ajustar el valor del dinero en el tiempo.

Las gráficas presentadas a continuación ilustran cómo se afectan los distintos costos comparados. El Gráfico 5.1 muestra la relación entre los costos iniciales de las viviendas y los costos anuales de calefacción, observándose claramente las diferencias entre los tres sistemas de calefacción. El sistema a leña se revela como la propuesta más económica, seguida del sistema a supergás y, por último, solución eléctrica.

El Gráfico 5.2 presenta la relación entre los costos iniciales de las viviendas y el valor presente de los costos

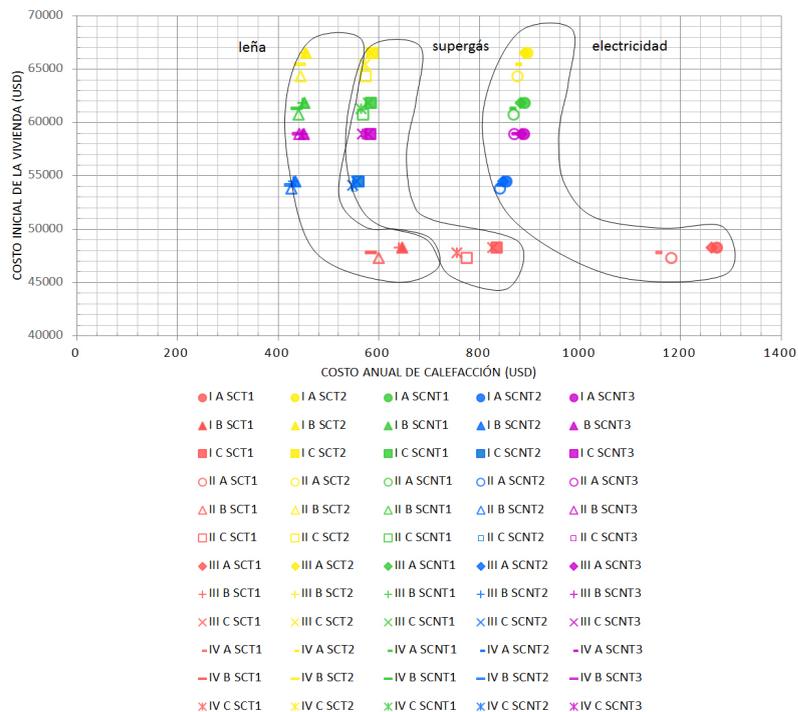


Gráfico 5.1 Gráfico comparativo entre costo inicial de la vivienda y costo de calefacción anual.

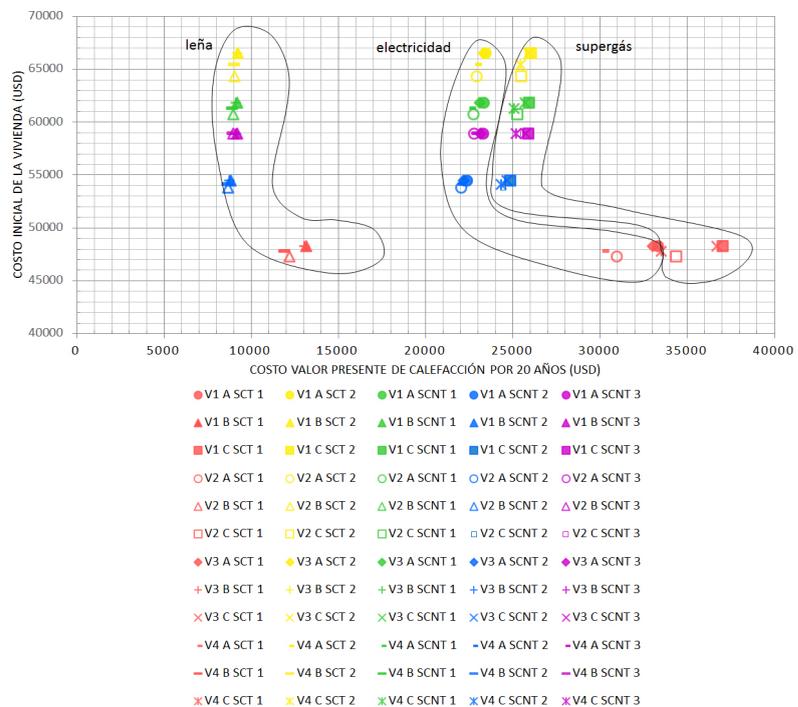


Gráfico 5.2 Gráfico comparativo entre costo inicial de la vivienda y valor presente del costo de calefacción a 20 años.

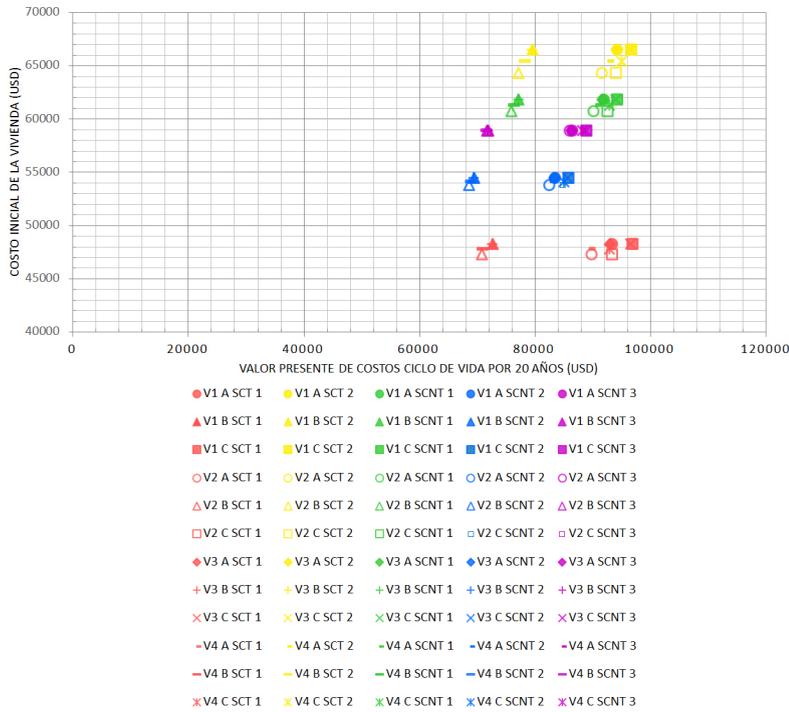


Gráfico 5.3 Gráfico comparativo entre costo inicial de la vivienda y VPN de ACV, según supuesto de pago contado

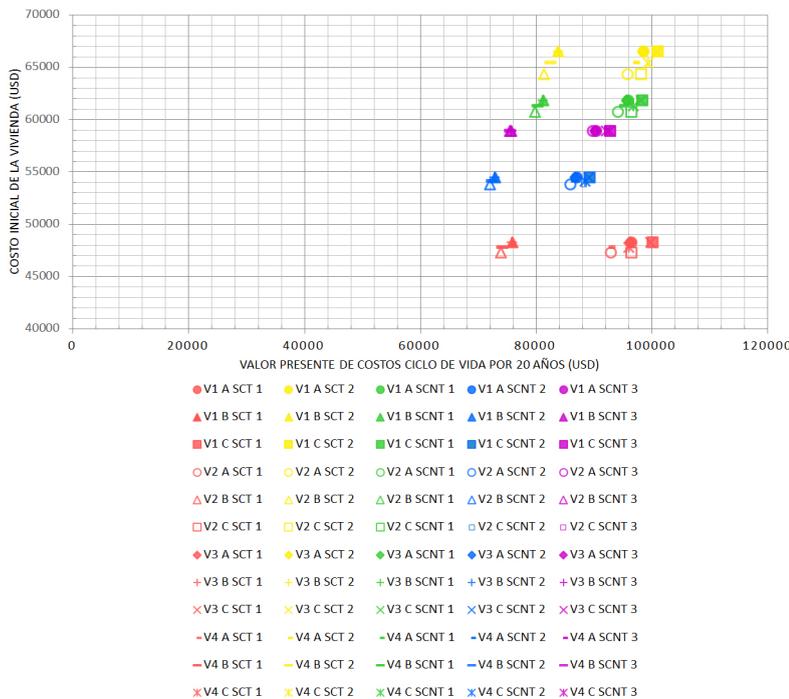


Gráfico 5.4 Gráfico comparativo entre costo inicial de la vivienda y VPN de ACV según supuesto de pago financiado.

de calefacción para el periodo de ACV, a partir de lo cual es posible visualizar que, en el periodo de análisis establecido, la tecnología a gas resultó más onerosa que la electricidad, producto de la tasa de escalonamiento que presenta esta fuente de energía.

Asimismo, se puede advertir que, en mayor o menor medida, los puntos se agrupan por sistema constructivo y sistema de calefacción. La tipología no tuvo mayor incidencia, en los casos estudiados.

El Gráfico 5.3 expone el vínculo entre los costos iniciales de las viviendas y los VPN del ACV, según supuesto de pago contado, y el Gráfico 5.4 exhibe el nexo entre estos costos, según supuesto de pago financiado. Se observa, en ambos casos, la no correlación entre abscisas y coordenadas. Tal como se estimó en las etapas preliminares de la investigación, los resultados fueron aleatorios, pues no se percibió una relación directa entre los costos iniciales y los costos operativos de calefacción.

## 5.2 Modelo de análisis

Se presenta, ahora, un modelo de análisis que resume las tres fases de evaluación realizada. El primer elemento a considerar es la elección de la tipología edilicia y los distintos sistemas constructivos, los cuales implican costos iniciales y de mantenimiento. Con estas dos variables y el establecimiento de supuestos de uso y condiciones internas, se determina la demanda energética de las opciones elegidas –mediante cálculo o simulación computacional estática o dinámica–. Luego, se incorpora el sistema de calefacción, que implica su costo inicial y costo de reposición (dependiendo del sistema, pudiera requerir costos de mantenimiento).

Según el poder calorífico de la fuente de energía, las características de rendimiento del sistema y el valor de demanda energética determinada, se calcula el consumo energético, el cual involucra un costo operativo en el periodo de análisis establecido. La tercera fase se compone del análisis financiero. Para determinar los indicadores del análisis de ciclo de vida, debe estudiarse las condiciones locales de tasas de intereses, periodos de depreciación de la vivienda y tasas de escalonamientos de las anualidades consideradas.

De la misma forma que se estableció un mapa de ruta para la realización de la evaluación económica de las soluciones de vivienda, sistema constructivo y sistema de calefacción, puede elaborarse un mapa genérico que permita evaluar el beneficio económico de la incorporación de soluciones de eficiencia energética (Gráfico 5.5).

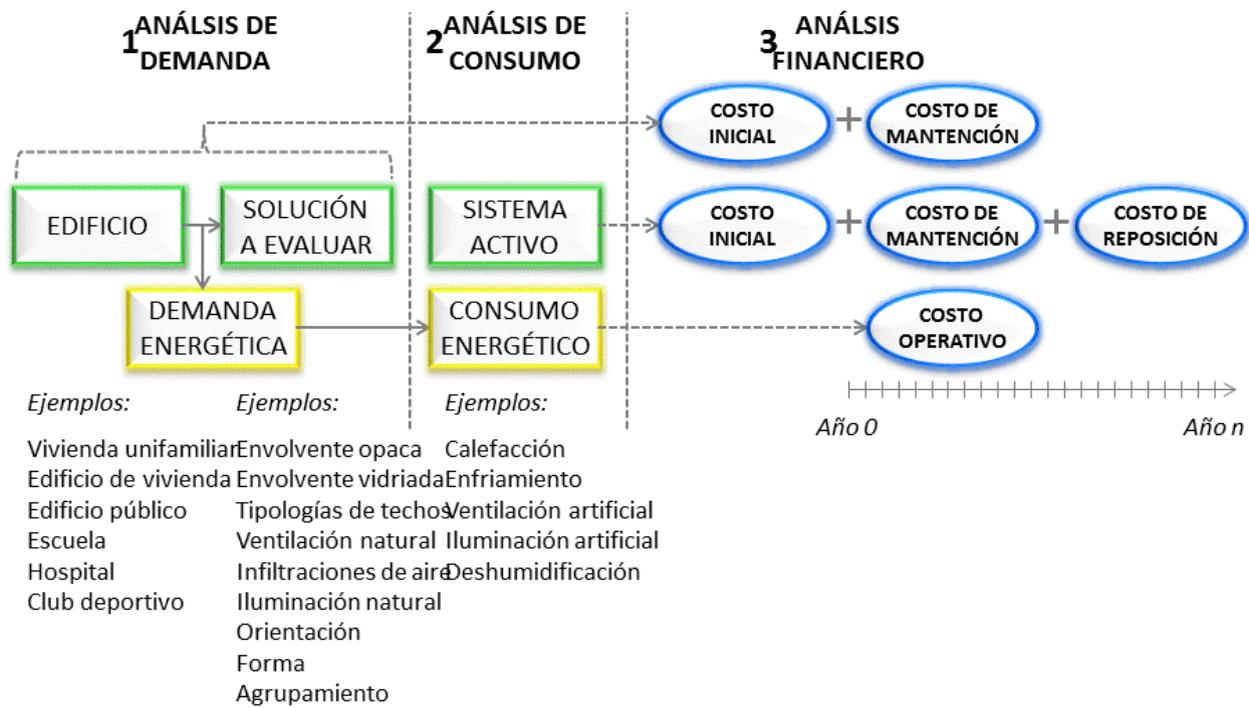


Gráfico 5.5 Mapa semántico del modelo de análisis general.

## CONCLUSIONES

Factores sociales, ecológicos y económicos, deben conjugarse para conseguir un desarrollo sostenible. En la investigación aquí expuesta, se consideraron aspectos de carácter social respecto al confort y calidad de vida que deben asegurarse en la vivienda; aspectos ecológicos en cuanto a la demanda y consumo de energía requerida para su calefacción; junto a aspectos económicos financieros, con fin de analizar el beneficio de la eficiencia energética.

Los gráficos de demanda energética presentados demuestran que existe una apreciable diferencia entre los sistemas avalados por el MVOTMA y el caso base considerado, revelando la evidente mejora en la demanda y consumo energético que éstos consiguen. Para los casos estudiados, los sistemas con estas calidades de envolvente presentaron requerimientos de acondicionamiento térmico similares, independientemente de la tecnología utilizada.

Se concluye que el marco legal asegura al usuario acceder a una vivienda cuyo confort higrotérmico está garantizado por la normativa vigente, minimizando pequeñas variaciones que se obtienen por el uso de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado uruguayo.

Cuando se realiza una evaluación financiera, las conjeturas realizadas en el análisis de demanda y consumo pueden variar, pues en las ecuaciones paramétricas inciden el periodo de análisis de ciclo de vida, la tasa de descuento y las tasas de escalonamiento de la energía.

A partir del análisis financiero, se infiere que las soluciones más eficientes desde el punto de vista energético, no siempre resultaron ser más onerosas que las menos eficientes, pues a nivel de mercado existen otros criterios en juego, como paradigmas y valoraciones de los usuarios –ubicación, dimensiones, terminaciones–. Se entendió de antemano que el costo de la vivienda y el costo de calefacción son dos variables independientes, que fueron analizadas comparativamente con fin de contraponer los costos de las viviendas los costos operativos de calefacción, garantizando el confort térmico interior. Las evaluaciones económicas demuestran que no existe una correlación entre los costos iniciales de las viviendas y sus valores presentes netos para las distintas soluciones, validando la hipótesis planteada.

El modelo de análisis propuesto constó de tres fases: análisis de demanda, análisis de consumo y análisis financiero. En cada fase se consideraron supuestos fijos y parámetros variables. Se deja constancia de que estos parámetros, naturalmente, afectaron los resultados obtenidos, pudiendo ser considerados como casos de estudio.

El estudio realizado se concentró en el análisis de la envolvente opaca. Entendiendo la vivienda como un sistema integral debieran equilibrarse las inversiones realizadas en eficiencia energética de distintos componentes. Para conseguir un balance energético eficiente, han de optimizarse las pérdidas térmicas por ventilación y transmisión de calor, debiendo estar en concordancia con los parámetros locales, la normativa vigente y el estado de avance de las tecnologías disponibles en el mercado.

El balance energético se aplica a todo producto que demanda energía para funcionar. En este sentido, se alinea con la definición de desarrollo sostenible, entendiendo que aspectos sociales, ecológicos y económicos deben trabajarse sinérgicamente. Se considera que lo primero a garantizar, como punto de partida, es la dimensión social referida a la calidad de vida –en este caso, dentro de la vivienda–.

Luego, en relación con los aspectos ecológicos, es necesario que estos se desarrollen con el avance de la tecnología, atendiendo las necesidades sociales y sean acompañados de la viabilidad económica que permita su inserción en los mercados.

## AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a los proveedores de los sistemas constructivos estudiados y funcionarios del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, por su interés y colaboración en el trabajo; también a mis profesores guía Ing. Ariel Bobadilla e Ing. Roberto Arriagada, por su exigencia y respaldo; al profesor Ing. Jaime Soto y equipo de trabajo del CITEC-UBB que me apoyaron en el manejo de la herramienta TAS y análisis realizados.

## BIBLIOGRAFÍA

ARENA, Pablo. Análisis de Ciclo de Vida y sustentabilidad ambiental de los edificios. Experiencias en Argentina [en línea]. *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación*. Consultado 9 noviembre 2014. Disponible en: [www2.medioambiente.gov.ar/ciplycs/documentos/archivos/Archivo\\_480.pdf](http://www2.medioambiente.gov.ar/ciplycs/documentos/archivos/Archivo_480.pdf)

CLICK RENOVABLES. Cómo calcular la potencia, las necesidades de combustible y el ahorro que obtienes con una instalación de biomasa (Caso práctico y comparativa) [en línea]. *Click Renovables*. Consultado 9 noviembre 2014. Disponible en: [www.clickrenovables.com/blog/como-calculer-la-potencia-las-necesidades-de-combustible-y-el-ahorro-que-obtienes-con-una-instalacion-de-biomasa-caso-practico-y-comparativa](http://www.clickrenovables.com/blog/como-calculer-la-potencia-las-necesidades-de-combustible-y-el-ahorro-que-obtienes-con-una-instalacion-de-biomasa-caso-practico-y-comparativa)

DNE. Política Energética 2005-2030 [en línea]. *Dirección Nacional de Energía*, 2010. Consultado 6 abril 2014. Disponible en: [www.dne.gub.uy/documents/49872/0/Pol%C3%A9tica%20energ%C3%A9tica%202005-2030?version=1.0&t=1378917147456](http://www.dne.gub.uy/documents/49872/0/Pol%C3%A9tica%20energ%C3%A9tica%202005-2030?version=1.0&t=1378917147456)

DNE [en línea]. Consultado 6 abril 2014. Disponible en: [www.dne.gub.uy](http://www.dne.gub.uy)

EVISOS [en línea]. Consultado 6 abril 2014. Disponible en: [montevideo.evisos.com.uy/venta-de-lena-seca-para-estufas-la-mejor-id-34724](http://montevideo.evisos.com.uy/venta-de-lena-seca-para-estufas-la-mejor-id-34724)

FISCAL, Raúl. Estudio técnico económico de eficiencia energética en sistemas eléctricos industriales costa afuera [en línea]. *Boletín IIE*, marzo-abril 2001, 87-92. Consultado 6 abril 2014. Disponible en: [www.iie.org.mx/2001b/tecnico1.pdf](http://www.iie.org.mx/2001b/tecnico1.pdf)

GONZÁLEZ, Alex. *Evaluación de herramientas de simulación energética: estudio del caso de la determinación de la demanda de calefacción en viviendas en concepción*. Tesis de magíster INÉDITA. Chile: Universidad del Bío-Bío, 2012.

HERNÁNDEZ, Roberto. *Metodología de la investigación*. 5ta ed. México: McGrawHill, 2010. [/sites/mvd2030.montevideo.gub.uy/files/descargas/modelo\\_suamvi.pdf](http://sites/mvd2030.montevideo.gub.uy/files/descargas/modelo_suamvi.pdf) [consulta: 30 julio 2013].

INE. *Informe de Divulgación sobre Situación de la Vivienda en Uruguay* [en línea] 2006. <[www.ine.gub.uy/enha2006/ENHA\\_Vivienda\\_%20Final\\_Corr.pdf](http://www.ine.gub.uy/enha2006/ENHA_Vivienda_%20Final_Corr.pdf)> [consulta: 28 julio 2013].

# USO DEL RECURSO GEOTÉRMICO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EN UNA PROPUESTA DE DESARROLLO TURÍSTICO SUSTENTABLE. CASO EN ARGENTINA

Artículo recibido 28-08-14  
aceptado 28-10-14

Geothermal resource use for heritage conservation in a sustainable tourism development proposal. case in argentina

ERNESTO KUCHEN.  
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan, Argentina/  
ernestokuchen@fau.unsj.edu.ar

LUISA MATTIOLI.  
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan, Argentina/  
mss30291@gmail.com

**Palabras clave:**  
estrategia turística,  
recursos renovables,  
patrimonio.

## RESUMEN

La conservación del patrimonio ambiental y cultural es considerada uno de los pilares del desarrollo sustentable en una sociedad. El territorio de San Juan, Argentina posee valles cordilleranos que necesitan una gestión consciente de su patrimonio, capaz de evitar la marginación de la población autóctona por influencia de procesos territoriales, producto de la actividad turística y minera sin planificación. Es objetivo del trabajo diseñar una estrategia turística que conduzca al desarrollo del territorio, valorando el uso del recurso energético renovable de origen geotérmico, como medio de conservación del ecosistema natural. Para ello, un estudio de campo permite elaborar un diagnóstico de cuencas y manifestaciones geotermales, destacando las variables: mineralización, caudal y temperatura. Como resultado relevante se determina el valor patrimonial de Unidades de Paisaje Cultural (UPC), dentro de las cuales se identifica el área de Las Flores (UPC7), con las mejores cualidades mineromedicinales y una ubicación geográfica estratégica para la propuesta de una Villa Termal. El fomento del turismo con identidad propia y coparticipación social de origen local conduce al empleo racional de los recursos patrimoniales, minimiza la degradación ambiental, garantiza la continuidad de la cultura en el tiempo y constituye un motor para el desarrollo sustentable.

**Keywords:**  
tourism strategy,  
renewable resources,  
heritage.

## ABSTRACT

Environmental and cultural heritage conservation is considered one of the main topics in sustainable development of societies. San Juan territory, in Argentina has mountain valleys with villages they need a conscious management of its heritage, avoiding marginalization of its autochthonous people under the influence of local processes, due to tourism and mining activities without planning. The aim of this work is to design a tourism strategy to lead the development of the territory, considering the use of renewable geothermal energy resource as a measure of preserving the natural ecosystem. To attain this purpose, a field study allows getting a diagnosis on basins and natural geothermal springs, highlighting variables as mineralization, flow and temperature. Among the results, the heritage value is determined as a cultural landscape unit (Unidad de Paisaje Cultural, UPC), within which, the area of Las Flores (UPC7), is identified with the best mineral mud quality for health applications and strategic location for the development of a thermal village. The promotion of tourism with its own identity and social co-participation of local people, leads to rational use of heritage resources, minimizes environmental degradation, ensure a continuity of culture in time and is a thrust for sustainable development.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inicia con la hipótesis siguiente: la estrategia turística que toma en cuenta valores patrimoniales conduce al desarrollo territorial sustentable. El Departamento Iglesia, en San Juan, Argentina, posee una ubicación estratégica y se encuentra bajo la presión de diferentes procesos territoriales de diversas escalas, principalmente en función de la minería y el turismo. Esto otorga al sector tanto oportunidades como amenazas para su desarrollo. La Convención del Patrimonio Mundial destaca que el patrimonio cultural y natural forman parte de los bienes inestimables e irremplazables de una nación y la humanidad (UNESCO, 1972). El desarrollo sustentable del territorio promueve el vínculo entre la naturaleza y la cultura, funda soluciones económicas alternativas, re-orienta el potencial científico-tecnológico, propone una nueva política que se basa en valores, creencias, sentimientos y saberes, y revaloriza las diferentes formas del habitar (Martínez, 2006).

El término "sustentabilidad" llega a constituir una multiplicidad de procesos. Se lo considera como una nueva forma de pensar, inclusiva con la naturaleza, la cultura y los seres humanos (*ibidem*). Con ello se enfatizan las capacidades de las comunidades locales y la valoración de los recursos patrimoniales. Asimismo, se promueve la armonía entre el hombre y la naturaleza, con el fin de evitar que ésta quede sometida a las necesidades de la auto-realización del hombre (Albuquerque, 2004). Se fomenta, por último, el concepto de conservación, considerado como necesidad de retención del balance natural, de diversidad, de cambio evolutivo en el ambiente y de manejo planificado de los recursos naturales (Meléndez, 2010).

El desarrollo turístico en Argentina rescata valiosos descubrimientos. Las termas de Reyes (Jujuy), Rosario de la Frontera (Salta), Río Hondo (Santiago del Estero), Villavicencio, Cacheuta, Puente del Inca, Sosneado, Los Molles, El Peralito (Mendoza), Copahue (Neuquén), Laguna de Carhue, Los Gauchos (Buenos Aires), entre otros sitios (véase Kaiser, 1967), constituyen polos de desarrollo turístico basados en el uso de surgentes naturales de energía geotérmica (Secretaría de Energía, 2014). Por cercanía a la Cordillera de los Andes, la Provincia de San Juan presenta un elevado potencial geotérmico. Las manifestaciones naturales que dan indicio de ello se localizan en diferentes áreas dentro de la provincia, destacándose las de Talacasto, Agua Hedionda y La Laja, que se suman a las 61 conocidas en la actualidad (Carrizo y Quinteros, 2001). En la Localidad de Las Flores, Departamento Iglesia, se detecta, de igual modo, un elevado potencial geotérmico (Wetten, García y Pelegrino, 1984).

A fin de diseñar una estrategia turística de bajo impacto ambiental para el desarrollo del territorio y conservación del ecosistema natural, se estudia la disponibilidad del recurso energético renovable de origen geotérmico. Un estudio de campo en el Departamento Iglesia permite relevar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas propias de la explotación de las manifestaciones geotermales. Se relevan tipo y cantidad de puntos de afluencia geotermal y se determina su importancia en función de variables como, por ejemplo, grado de mineralización, caudal de cuenca y temperatura en boca de pozo. A partir del diagnóstico y valoración de recursos naturales en el territorio, se diseña una estrategia turística sustentable mediante la propuesta de una Villa Termal. La misma se orienta al cuidado de la salud e higiene de los usuarios y a la posibilidad de brindar servicios turísticos con identidad propia y coparticipación social de origen local. Este trabajo pretende servir de aporte a la planificación de territorios vulnerables a procesos territoriales, considerando el potencial turístico y el empleo de energías renovables de bajo impacto ambiental, de manera que se fortalezca la identidad local y garantice la conservación y preservación del patrimonio de comunidades autóctonas.

## 2 DESARROLLO DEL TRABAJO

### 2.1 Descripción del objeto de estudio

En cuanto al sitio, el área de estudio corresponde al Departamento Iglesia, en la Provincia de San Juan, Argentina (Figura 1), que ocupa el 22% del territorio provincial y posee una superficie de 19.801km<sup>2</sup> y una densidad poblacional baja de < 0,3 Habitantes/Km<sup>2</sup>, con 9.141 individuos (Censo 2010). El Departamento Iglesia se sitúa en una zona de oasis cordilleranos a una altura promedio de 2000 metros sobre el nivel del mar, limita al oeste con la República de Chile, al norte con la Provincia de la Rioja, al este con el Departamento Jáchal y al sur con los Departamentos Ullum y Calingasta. Las características de aridez contrastan con la presencia mínima de agua de deshielo, ríos, arroyos y vertientes que dan origen a dichos oasis.

En relación a las vertientes de origen geotérmico, el estudio se centra en pequeños nodos poblados, entre los que sobresalen las localidades de Chigua, El Chinguillo, Malimán, Colangüil, Angualasto, Tudcum, Rodeo, Guañizuil, Las Flores, Villa Iglesia, Zonda, Campanario, Tocota, Bauchazeta y Bella Vista. Ahora bien, dada su ubicación geográfica y la calidad del recurso energético de origen geotérmico que presenta, la localidad de Las Flores logra destacarse claramente con respecto a los demás nodos poblados.

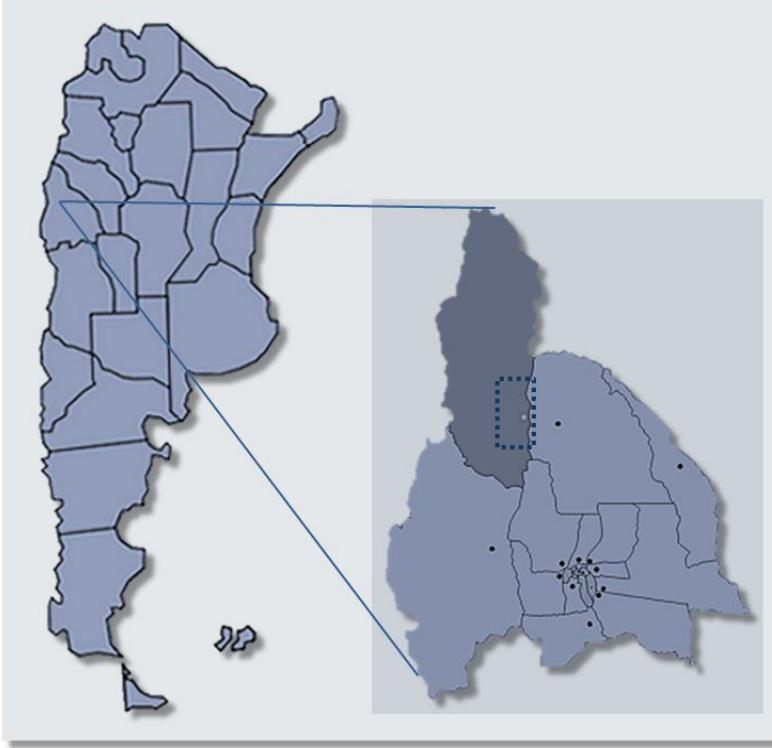


Fig. 1 Argentina, San Juan. Localización macro del sector en estudio en el Departamento Iglesia.

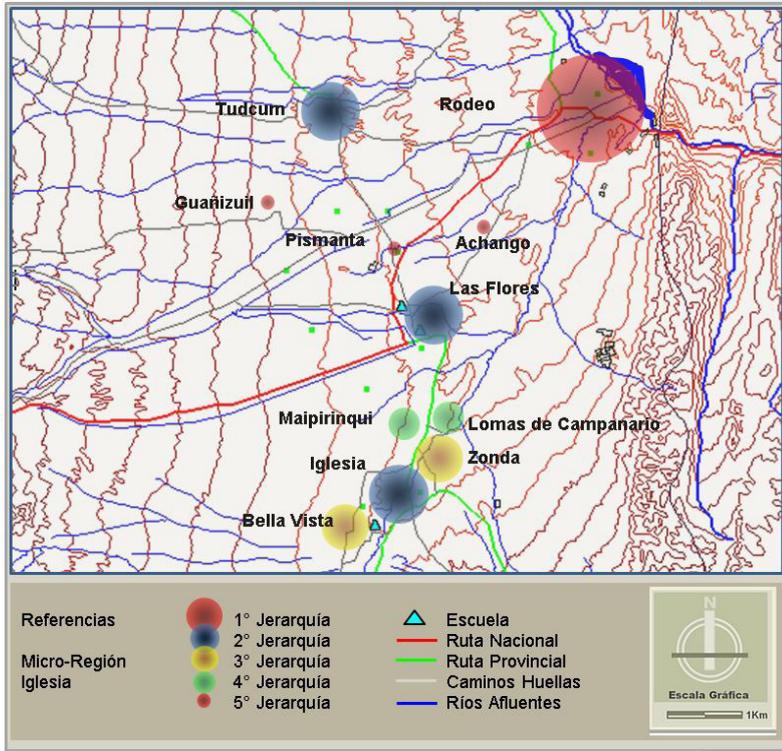


Fig. 2 Síntesis de la estructura del sistema, subsistemas de nodos, redes y áreas pobladas.

## 2.2 Energía Geotérmica

La energía proveniente del interior de la Tierra -o energía geotérmica- posee, según determinados modelos, un núcleo (sólido) ubicado a 6.357,78km de distancia, con una temperatura similar a la de la superficie del sol (5000-7000 Kelvin) y está rodeado por capas compuestas por metales en estado líquido y a menor temperatura. La más superficial, que habitamos los seres vivos, recibe el nombre de Litósfera, presenta un espesor variable de entre 100 a 70km y constituye un aislante térmico.

En condiciones normales, el gradiente de temperatura de la Litósfera se incrementa a razón de 3°C/100m de profundidad (Secretaría de Energía, 2014). El área de estudio, cercana a la Cordillera de los Andes, presenta un gradiente térmico más elevado que aquél. Indicio de ello son las vertientes que, a su vez, sugieren la potencial existencia del recurso energético de origen geotérmico.

Los valles cordilleranos poseen vertientes de baja entalpía, con temperaturas variables entre los 20 y los 50°C. La entalpía es, por cierto, la unidad de medida de la energía geotérmica y se mide en calorías por gramo de agua. Cuando la temperatura se ubica por debajo del punto de ebullición (<100°C) corresponde a "baja/media" entalpía y, lógicamente, cuando se halla por encima de él, se denomina "alta" entalpía (Sass y Lehr, 2013). La geotermia de baja entalpía es aplicable en industria, agricultura y ganadería, balneología e hidroterapia y climatización de edificios, entre otras actividades (Lund, Freeston y Boyd, 2005). La ventaja de la energía geotérmica reside en que está presente 8760 h/año (todo el año), es silenciosa, de bajo impacto ambiental, no depende de la relación día/noche o invierno/verano, tampoco del estado del cielo y menos de las condiciones hidrológicas del sitio (*ibidem*). Una desventaja es el costo de inversión en perforación que llega a superar el 70% del emprendimiento (Sass y Lehr, 2013). Disponer de vertientes naturales de energía geotérmica, como las que se detectan en Iglesia, constituye una oportunidad para el desarrollo del territorio.

## 2.3 Relevamiento

El relevamiento de factores de influencia sobre el sistema local y el análisis patrimonial del departamento conducen a la elaboración de una propuesta de solución sustentable. Se elabora un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), sintetizando aspectos relevantes que condicionan, prevalecen, afectan o favorecen el desarrollo. La valoración subjetiva de las variables de influencia se resume en la determinación de Unidades de Paisaje Cultural (UPC).

### 2.3.1 Diagnóstico FODA

El diagnóstico del área incluye el estudio de situaciones geográficas, ambientales, poblacionales, patrimoniales y la detección de las principales actividades económicas. Se realiza un análisis de la estructura del sistema de micro-región, en función de los subsistemas de nodos, redes, áreas y sus gravitaciones. Estas evidencian procesos y funciones sobre el territorio a distintas escalas y jerarquías (Figura 2).

Los recursos que reflejan el potencial del área para el desarrollo son: la Reserva Natural de la Biosfera de San Guillermo, el Valle del Cura con yacimientos metalíferos, el dique Cuesta del Viento, el hotel Termas de Pismanta, la apertura de la Ruta Nacional N°150 y la construcción del corredor bioceánico, que transcurre de oeste a este del país y vincula los puertos marítimos de Coquimbo (Chile) y Porto Alegre (Brasil). Sobre este escenario se involucran diversos flujos socio-económicos y culturales que pueden afectar el desarrollo del territorio y el consiguiente sustento de sus comunidades.

La situación geográfica del Departamento Iglesia posee cualidades excepcionales que favorecen el desarrollo turístico en base a sus recursos patrimoniales. Esta localización predispone a la configuración de poblados de oasis andinos dispersos, vinculados en red mediante la actividad agrícola-ganadera (Figura 2).

La estructura organizacional soporta el flujo socio-económico y el desplazamiento de mercancías que origina la industria minera y el turismo en crecimiento. La falta de políticas asociadas a los procesos evidenciados en el diagnóstico, propicia la utilización del territorio a favor de especulaciones económicas y procesos externos al territorio. Esto, sin duda, afecta al futuro aprovechamiento de recursos locales. Las falencias detectadas en acciones de conservación y protección del patrimonio local por parte de las autoridades y también de algunas comunidades, intensifican la vulnerabilidad local.

Asimismo, la banalización del patrimonio en relación al turismo es un riesgo de origen antropogénico relevante, que se asocia a la falta de conocimiento y conciencia por el cuidado de la naturaleza y la cultura. No obstante, la existencia de algunos emprendimientos que aprovechan las fuentes de agua termal de manera sustentable incorpora valor agregado al uso racional de los recursos para el desarrollo, como también lo hace el conocimiento ancestral de las comunidades autóctonas. Aunque existen escasos conocimientos sobre el valor y la forma de administrar los recursos, se evidencia una actitud positiva de la comunidad para trabajar en defensa del patrimonio.

En suma, el diagnóstico deja entrever el grado de vulnerabilidad a procesos globales sobre el territorio, los cuales deben ser abordados desde la organización comunitaria.

### 2.3.2 Unidades de Paisaje Cultural (UPC)

Del análisis y valoración de los recursos, se construye un atlas patrimonial donde destacan nueve unidades (UPC), como áreas, con sus respectivas valoraciones y vocaciones territoriales (Figura 3).

En relación a las fortalezas que posee el Departamento Iglesia, se identifica el área UPC7 (Las Flores) con los recursos de mayor significación patrimonial y oportunidades para el desarrollo. Se subraya el valor potencial de terrenos con alto nivel paisajístico y con afluencia de vertientes de agua geotérmica (ver valoración en Tabla 1).

Dentro de UPC7 se identifican cinco vertientes termales que afloran de manera natural (puntos rojos en Figura 4), de las cuales una se encuentra en uso (Pismanta), con buenas condiciones de infraestructura y afluencia turística de carácter nacional y otra (La Salud), está en construcción. Las demás vertientes (Rosales, Poblete y Centenario) no poseen infraestructura.

La subdivisión de UPC7 en cinco Sub-Unidades de Paisaje Cultural, que se muestra en la Figura 4, se debe a la localización de áreas con diferentes potencialidades patrimoniales.

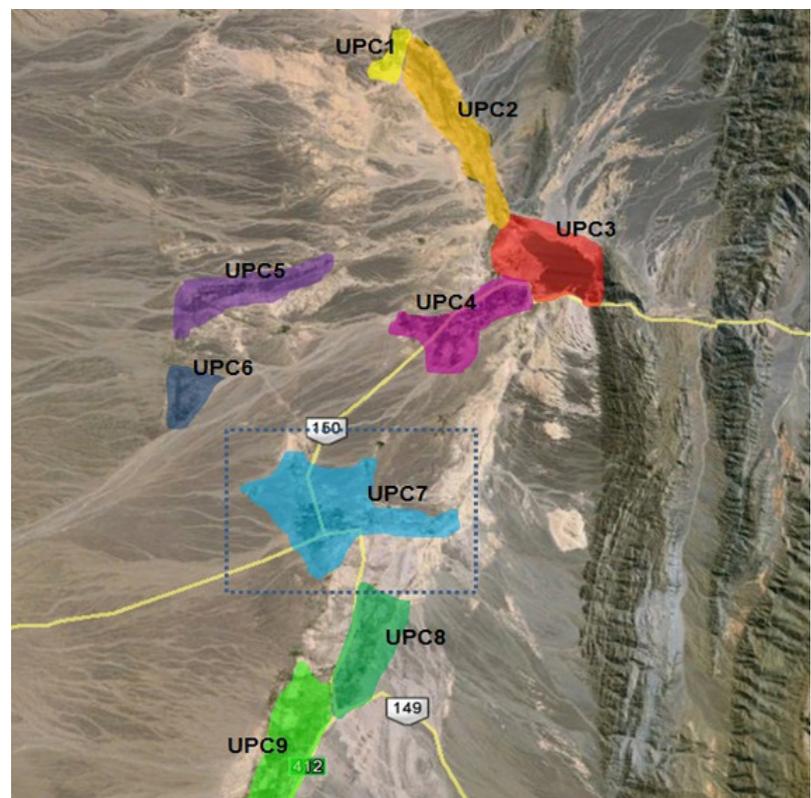


Fig. 3 Valle de Iglesia, con nueve Unidades de Paisaje Cultural.

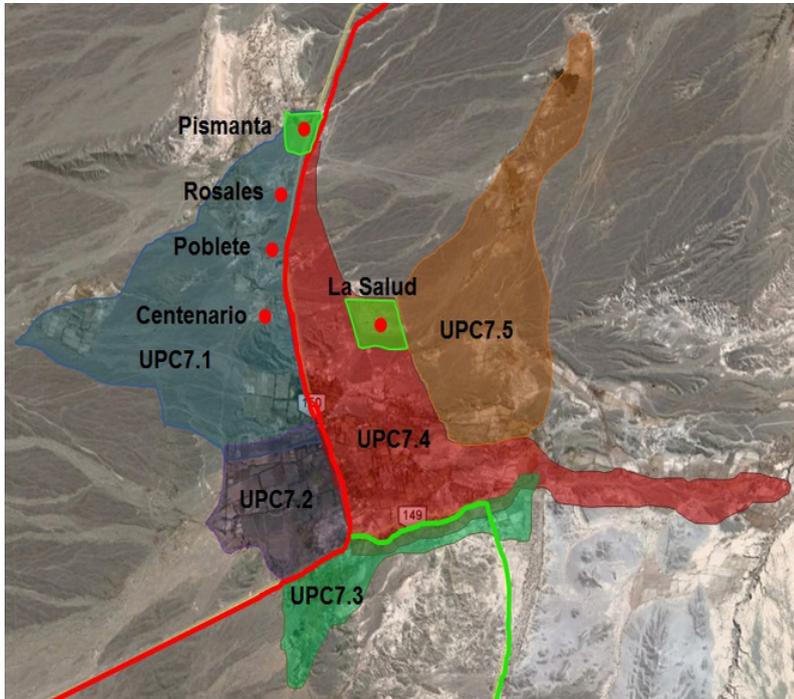


Fig. 4 Las Flores, Sub-Unidades de Paisajes Culturales.

Las fortalezas y oportunidades detectadas en UPC posicionan al área de Las Flores con el mejor potencial para iniciar la estrategia de desarrollo turística. El peligro de deterioro que significa estar localizada sobre el futuro corredor bioceánico (línea roja en Figura 4) exige anticiparse a posibles procesos perjudiciales para el territorio. Ante ello, el diseño de la estrategia turística se basa en un diagnóstico exhaustivo del área.

## 2.4 Diagnóstico de UPC7

Del relevamiento de las condiciones locales de UPC7 se detecta que además de litología y espesor con posibilidades de explotación del recurso geotérmico (Centro Regional Aguas Subterráneas-Instituto Nacional del Agua, 1994), el agua subterránea no está contaminada y posee condiciones óptimas para uso en balneología y aplicaciones medicinales. A continuación, se relevan los datos de información de las variables: mineralización, caudal, acidez/salinidad y temperatura, que definen la calidad del recurso geotérmico.

### 2.4.1 Mineralización

La composición del agua en UPC7 tiene reconocimiento internacional por sus beneficios en el tratamiento de afecciones respiratorias, digestivas, circulatorias,

dérmicas, motrices, inmunológicas y psicológicas (De Michele *et al.*, 2008). Las Sub-Unidades UPC7.1 y UPC7.4 constituyen cuencas con rellenos sedimentarios. Según los análisis de laboratorio realizados por CRAS-INA (1984), Pismanta y Rosales se destacan por la presencia de minerales como azufre, cobre, calcio, zinc, magnesio y silicio. La calidad mineral del agua se considera buena ya que presenta niveles de areniscos de edad del terciario, cuaternario y aluviones recientes de granulometría variable (Figura 5).

### 2.4.2 Caudal

El caudal del agua surgente en UPC7 oscila entre los 11.000 l/h y los 1.800 l/h (litros/hora), lo cual representa una debilidad importante que condiciona los valores de capacidad de carga turística y, con ello, el número máximo de visitantes que el área puede soportar (Tabla 1). La capacidad de carga considera la tolerancia del ecosistema a impactos adversos sobre la sociedad, la economía y la cultura de un área y se define para determinar la capacidad de recuperación en el corto plazo, sin que disminuya la satisfacción del visitante (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2006). La baja capacidad de carga se estima positiva en el desarrollo sustentable.

### 2.4.3 Acidez/salinidad

En cuanto al valor-ph del agua (acidez/salinidad), se muestra que hay variaciones actuales mínimas despreciables respecto del estudio realizado por (Wetten, García y Pelegrino, 1984). La calidad del agua se incrementa al este de la línea de afloramientos de vertientes y, por el contrario, hacia el oeste aumenta la salinidad por efectos del menor relleno cuaternario, aluviones recientes y la influencia del riego agrícola (Figura 4). En cuanto a condiciones geológicas y composición química, la UPC7.1 presenta valores similares en toda su extensión (*ibidem*).

### 2.4.4 Temperatura

El potencial geotérmico de las Sub-unidades en UPC7 tiene origen profundo, con temperatura promedio en boca de pozo, de  $35 \pm 9^\circ\text{C}$ , es decir, de baja entalpía. Las de Centenario, Rosales y Poblete, en UPC7.1, poseen los mayores valores de la zona de estudio, con temperatura del agua en boca de pozo variable entre  $42 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $38 \pm 2^\circ\text{C}$  (Figura 5). Otros estudios de factibilidad realizados en los pozos VI-3 y VI-4 permiten medir una temperatura de  $27,5 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , respectivamente. Estos últimos manifiestan valores de temperatura inferior a las vertientes de origen natural del área y, a su vez, menor caudal que Rosales y Centenario (Tabla 1).

## 2.5 Estrategia Turística en UPC7.1

El análisis de los datos del relevamiento permite contrastar la hipótesis inicial, en la que se afirma que una estrategia turística que considera la valoración del patrimonio local, facilita el desarrollo territorial sustentable. En este trabajo, la estrategia focaliza el empleo del recurso geotérmico como motor de desarrollo de la "micro-escala" a nivel región y prevé que, en el largo plazo, provocará oportunidades de desarrollo y complementariedad con otras comunidades. Para el diseño de la estrategia turística a nivel sectorial sobre UPC7.1 en Las Flores, se superponen los potenciales propios de los sistemas estructural, turístico-social, ambiental y patrimonial, y se determinan áreas de intervención.

### 2.5.1 Estructural

El sistema estructural se construye mediante la localización de tres sectores de acceso al recurso hídrico: las vertientes naturales, el deshielo de la Cordillera y la reserva del dique Cuesta del Viento. La ubicación geográfica (latitud, longitud y altitud), la accesibilidad e infraestructura existente de caminos y, en general, el vínculo económico de las diferentes UPC del Departamento (Figura 2), que constituyen polos de desarrollo, fortalecen la propuesta. Este sistema permite articular áreas de carácter público y semipúblico mediante el subsistema estructural de ciclo vías y sendas peatonales.

### 2.5.2 Turístico-social

La balneología y la hidroterapia brindan un producto orientado a satisfacer necesidades del usuario dentro del sistema turístico-social.

La iniciativa adquiere reconocimiento por la identidad que la comunidad le atribuye al sector, haciendo hincapié en la comodidad, disponibilidad y economía. La capacidad de carga reducida del sistema se considera una fortaleza, que hace frente a la amenaza de crecimiento ilimitado que propone el modelo de desarrollo actual. Mediante una economía de alcance, un sistema local de producción/consumo y cooperación/gestión de la población local, es posible garantizar la continuidad de las actividades y conservación de la biodiversidad. Desde la instancia proyectual turística se apunta a incentivar y propiciar la asociación comunitaria para dar lugar a eslabonamientos productivos locales.

Se prevé que la comunidad se organice, de acuerdo a sus capacidades y cultura local, en redes de cooperación que retroalimenten el circuito turístico mediante áreas de hospedaje y de recreación comercial y gastronómica.

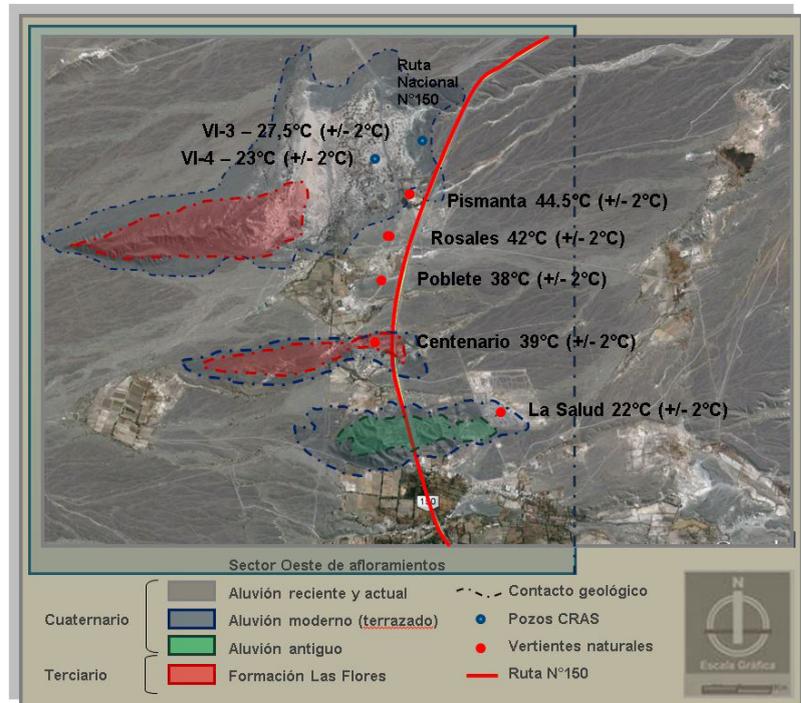


Fig. 5 Geología y puntos de medición de temperatura en bocas de vertientes y pozos

En general, se rescata que las vertientes naturales en UPC7 se ubican en entornos con elevado valor paisajístico (Tabla 1), lo cual le otorga un agregado al valor patrimonial de los recursos geotermales. Otros valores de importancia como ubicación geográfica, accesibilidad e infraestructura, otorgan fuerza al desarrollo de una estrategia turística termal.

Punto de Medición	Caudal l/seg.	pH	T°	Edad	Cap. Portante	Paisaje [1-5]	Edific.	Fango	Latitud
Pozo VI-3	3.960	9,2	27,5 ± 2	Cuat.	B	4,5	-	-	30°16' S
Pozo VI-4	2.988	8,6	23 ± 2	Terc.	B	4,5	-	-	30°16' S
Vertiente Pismanta La Holla	6.120	9,7	44 ± 2	Terc.	B	5	-	Si	30°16' S
Vertiente Pismanta Pozo Bravo	11.160	9,8	44,5 ± 2	Terc.	B	5	Si	-	30°16' S
Vertiente Rosales	11.880	9,6	42 ± 2	Cuat.	B	4,5	Si	Si	30°17' S
Vertiente Centenario	3.600	9,9	39 ± 2	Cuat.	R	5	Si	-	30°17' S
Vertiente Poblete-Bañitos	1.800	9,8	38 ± 2	Cuat.	M	5	Si	-	30°17' S
Vertiente, La Salud	-	8,5	22 ± 2	Aluvión	B	5	Si	-	30°18' Sr

Tabla 1 Valores medición de variables analizadas en UPC7. Ref. Capacidad Portante: B (Bueno), R (Regular), M (Malo).

### 2.5.3 Ambiental

El “ser locales” es la premisa para dar fortaleza comunitaria y ambiental. La Villa Termal reúne vertientes de valor turístico para el bienestar humano. La calidad de los valores de los parámetros del recurso geotérmico (Tabla 1) posiciona el sistema ambiental como el escenario propicio para dar respuesta al usuario que busca armonía con el entorno natural autóctono. La Villa Termal en UPC7.1 pretende servir de apoyo al futuro desarrollo sustentable del Departamento Iglesia, para lo cual se debe considerar que un cambio en la estructura del sistema exige la re-acomodación y adaptación de sus componentes, es decir, una evolución conjunta. El alcance de estos objetivos se refuerza con la gestión pública de la Intendencia y la Secretaría de Turismo de Iglesia a través del fomento de áreas públicas, parques temáticos, huertas orgánicas y áreas con forestación autóctona que organicen y den sustento a diferentes actividades, tanto turísticas como comerciales, bajo un ordenamiento del uso del suelo en relación al impacto/ aptitud.

### 2.5.4 Patrimonial

El territorio vislumbra cualidades patrimoniales excepcionales, principalmente el recurso de energía renovable de origen geotérmico, dando lugar a la existencia de oasis cordilleranos. La valoración local del patrimonio y la apropiación del mismo por parte de sus pobladores mediante la estrategia de desarrollo de una Villa Termal (Figura 6), constituye la clave del desarrollo sustentable. La propuesta de Villa Termal integra los sistemas detectados en una serie de acciones articuladas en áreas (Figura 6). Las referencias con letras “A” a “F” en la Figura 6, sintetizan la zonificación del uso del suelo. La combinación de letras se refiere a la integración de los sistemas estructural, turístico-social, ambiental y patrimonial, a partir de propuestas de preservación y saneamiento en las que se prioriza la gestión del cuidado y mantenimiento del recurso renovable, el respeto del patrimonio ambiental y cultural, la calidad del servicio con identidad propia, el personal involucrado, la relación con la comunidad autóctona y el sistema de higiene y seguridad para los usuarios.

A continuación, se priorizan acciones relevantes que deben considerarse en la propuesta de Villa Termal a fin de alcanzar la sustentabilidad en la región.

**1** Control exhaustivo de calidad del agua subterránea, de acuerdo a su composición físico-química y microbiológica, caudal y temperatura. Plan de Control de la calidad por medio de muestreo en boca de pozo con registro de frecuencia y resultados, con el objetivo de documentar valores de calidad.

**2** Consideración de un plan de ordenamiento territorial en la implementación de la Villa Termal en relación al entorno de la micro-región y, específicamente, de la UPC7.1

**3** Impacto Ambiental de la explotación geotérmica y emprendimientos turístico-comerciales.

**4** Control de residuos de los emprendimientos mediante tratamiento y disposición de efluentes primarios y secundarios. Minimización de eliminación de residuos a través de técnicas de reciclado y reutilización.

**5** Monitoreo del uso racional del agua, la energía y los materiales.

**6** Medidas de reutilización del agua termal residual como fuente alternativa de sistemas de riego racionalizados.

**7** Impacto ambiental de las obras de infraestructura, instalaciones y futuras ampliaciones, que considere el factor de carga admisible.

**8** Respeto de flora nativa en parques, para evitar desequilibrios ecológicos.

**9** Limitación de obras de infraestructura, instalaciones y elementos de soporte que pudiesen transformar la calidad paisajística.

**10** Control del nivel sonoro y calidad del aire dentro de rangos aceptables.

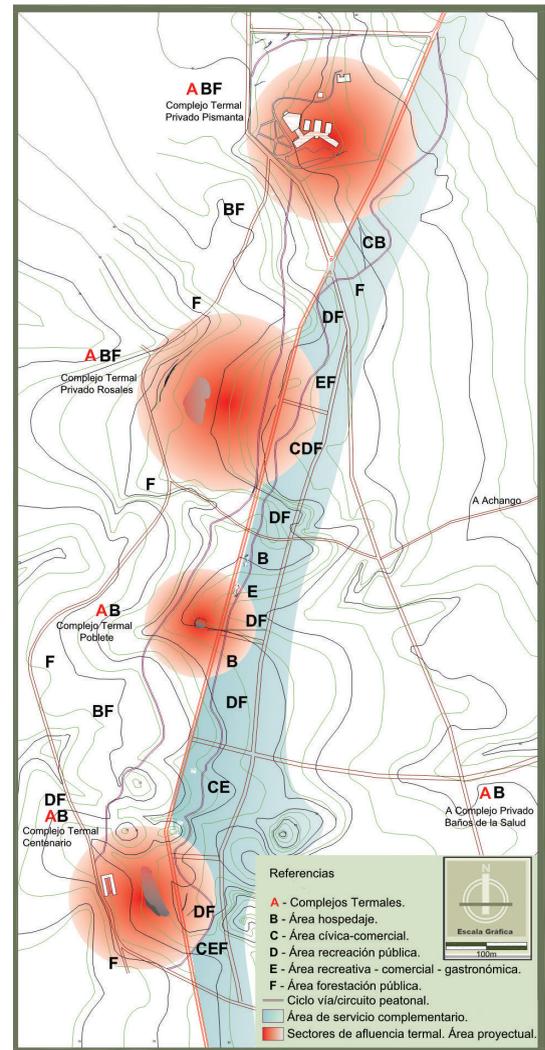


Fig. 6 Propuesta de Villa Termal sobre la UPC7.1. Zonificación

## CONCLUSIONES

La energía geotérmica permite racionalizar el uso de la energía convencional, conduciendo un ahorro importante de recursos energéticos y haciendo un aporte a la eficiencia energética de los emprendimientos. El uso del recurso geotérmico para la conservación del patrimonio constituye una medida óptima para el desarrollo sustentable del Departamento Iglesia, sobre todo, por disponer de vertientes naturales que dan indicio del potencial aprovechamiento.

La actual construcción del Corredor bioceánico que vincula Chile, Argentina y Brasil (paso Agua Negra), constituye un escenario de crecimiento a mano de especulaciones inmobiliarias. Esta amenaza, junto a la falta de regulaciones en el uso del suelo, condiciona el patrimonio cultural y natural de Iglesia. En base a ello, una estrategia turística representa la base para el desarrollo territorial sustentable de la región.

La buena calidad del agua subterránea para usos en balneología e hidroterapia, con fines medicinales y para el confort humano, dan soporte al desarrollo de emprendimientos, tanto relacionados con la salud, como turísticos con fines recreativos. La propuesta de una Villa Termal, de baja capacidad de carga, conduce a minimizar el impacto ambiental del emprendimiento. La toma de conciencia sobre criterios de sustentabilidad por la población se prevé llevar a cabo mediante la coparticipación social, considerando la gestión local como principal precursora de sus recursos para la conservación y protección de los mismos.

Una gestión consciente permite reducir el impacto ambiental negativo. La Villa Termal se fundamenta en la preservación y saneamiento del recurso energético renovable. La estrategia contempla el respecto de la flora y fauna local, el control del uso de recursos y el territorio, el tratamiento de efluentes, de residuos y el cuidado del paisaje, priorizando la sustentabilidad e identidad de la región.

La atracción de turistas que buscan beneficios asociados a la salud constituye un valor agregado al desarrollo del territorio. Establecer límites sobre la disponibilidad y uso de recursos, impide la degradación ambiental y garantiza la continuidad de las actividades turísticas en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBUQUERQUE, Francisco. *Desarrollo económico local y descentralización en América Latina*. CEPAL, 2004, vol. 82, pp. 157-171.

CARRIZO, Rodolfo y QUINTEROS, Marta. *Catálogo bibliográfico del Centro Regional de Agua Subterránea*. Argentina: CRAS, Universidad Nacional de San Juan, 2001.

CENTRO REGIONAL AGUAS SUBTERRÁNEAS-INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (CRAS-INA). *Informe Técnico IT-155. Período de muestreo 1981*. San Juan, Argentina, 2004.

COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP) 2006-2012. *Estrategia Nacional para un Desarrollo Sustentable del Turismo y la Recreación en las Áreas Protegidas de México*, D.F. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006.

DE MICHELE, Daniel; UNTURA, Marcos; GIACOMINO, Marta y BELDERRAIN, Andrés. *El Termalismo Argentino. Balnea*, nº 4, Serie de monografías. Madrid, Publicaciones UCM Universidad Complutense de Madrid, 2008, 163 pp.

KAISER, Emilio. *Guía Balneológica de Lagunas y Termas Argentinas*. Buenos Aires: Sándoz, 1967.

LUND, John W.; FREESTON, Derek H. y BOYD, Tonya L. Direct application of geothermal energy. Worldwide review. *Geothermics*, 2005, vol. 34, nº 6, pp. 691-727.

MARTÍNEZ, Roberto. Educación para el desarrollo sostenible. Educação para o desenvolvimento sustentável. *Revista Iberoamericana de Educación* (Edit. OEI), 2006, vol. 1, nº 40, pp. 7-10.

MELÉNDEZ, Virginia. 2010: Año Internacional de la Biodiversidad. *Bioagrobiencias*, México, 2010, vol. 3, nº2, pp. 8-16.

SASS, Ingo y LEHR, Clemens. *Design parameter acquisition of an underground heat storage and extraction system. A deep bhe array in a karstik alpine marble aquifer for a 1 GWh power*. Presentado en: 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013, 6 páginas.

UNESCO. *Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural*. París, 1972.

WETTEN, Cristian; GARCÍA, Eduardo y PELEGRINO, Javier. *Investigación del agua subterránea y del termalismo del Valle de Iglesia*. (Proyecto de Investigación) CRAS, Centro Regional Aguas Subterráneas. Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Investigaciones Geológicas, 1984.

# CONFORT TÉRMICO EN LOS ESPACIOS PÚBLICOS URBANOS

## Clima cálido y frío semi-seco

Artículo recibido 08-09-14  
aceptado 06-10-14

Thermal comfort in urban public spaces: Hot and cold semi-arid climate.

M.H. FRANCISCO GUZMÁN BRAVO.  
Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, México/  
guzmanbf@gmail.com

JOSÉ MANUEL OCHOA DE LA TORRE.  
Universidad de Sonora, México/  
jmochoa@arq.uson.mx

**Palabras clave:**  
espacios públicos  
abiertos; confort térmico  
exterior; sensación  
térmica; temperatura  
del aire.

### RESUMEN

Las condiciones climatológicas en un espacio público abierto, espacio exterior, determinan el uso y permanencia de los usuarios en este, a diferencia de los espacios interiores en donde las condiciones de habitabilidad pueden ser controladas, aislando al ser humano de las variables climatológicas que le afecten. Ello es posible, en primera instancia, con la envolvente arquitectónica creada para ese fin y si esta no ha sido diseñada de manera bioclimática, queda la alternativa de la climatización artificial, que ofrece un confort térmico adecuado para el usuario.

Con el objetivo de evaluar dicho confort en espacios públicos abiertos en la Ciudad de Nogales, Sonora, y en relación a su habitabilidad temporal, se seleccionaron dos casos de estudio, llevando a cabo la evaluación de la sensación térmica percibida, mediante la aplicación de encuestas subjetivas a los usuarios, en las que se incorporó criterios como tipo de vestimenta, género, actividad, edad, y preguntas sobre la satisfacción, permanencia, seguridad y uso adecuado del sitio. Mientras estas entrevistas se efectuaban, se realizaban mediciones de campo sobre determinadas variables climáticas (temperatura del aire, velocidad de viento, humedad relativa, radiación solar y temperatura radiante) y se les solicitaba a las personas encuestadas evaluar su sensación térmica, a partir de una escala de siete puntos, que variaba de muy caliente a muy frío, basada en la escala de sensación térmica de la norma ISO 7730 (2005).

Una vez ejecutado el análisis de los resultados, se pudo conocer la temperatura de neutralidad ( $T_n$ ) o temperatura de confort manifestada por los usuarios, misma que podrá ser utilizada para el diseño o adecuación de los espacios públicos existentes en la localidad, o bien en ciudades con un tipo de clima igual o similar al analizado, contribuyendo con ello a la recuperación de la convivencia y socialización en los espacios públicos abiertos.

### ABSTRACT

The climate conditions in an open public space, an outdoor space, condition the use and length of stay of its users, unlike indoor spaces where habitability conditions can be controlled, thereby isolating human beings from climate variables that affect them. Firstly, this is possible with an architectural envelope created for this purpose, and if the envelope was not designed bioclimatically, there is the alternative of artificial heating and cooling, which provide adequate thermal comfort for the user.

In order to evaluate thermal comfort in open public spaces in the City of Nogales, Sonora, in relation to their seasonal habitability, two cases were selected for study. Perceived thermal sensation was evaluated through subjective surveys of users, which included type of clothing, gender, activity, age, and questions about satisfaction, length of stay, safety and proper use of the site. While interviews were carried out, measurements of the area were taken of certain climate variables, including: air temperature, wind speed, relative humidity, solar radiation and radiant temperature. Survey participants were asked to evaluate their thermal sensation on a seven-point scale from very hot to very cold, based on the ISO Standard 7730:2005 thermal sensation scale.

Once the results were analyzed, the user's Neutrality Temperature ( $T_n$ ) or comfort temperature was determined, which could be used to design or adapt existing public spaces in the locality, or in cities with the same or a similar type of climate, in this way contributing to the restoration of coexistence and socialization in open public spaces.

**Keywords:**  
open public spaces,  
outdoor thermal comfort,  
thermal sensation, air  
temperature.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las características climatológicas de una localidad condicionan la forma de vida de sus habitantes, tanto en los espacios interiores como exteriores. En los últimos, las condiciones de habitabilidad son más adversas que en los primeros, donde ellas pueden ser controladas, aislando al ser humano de las variables climatológicas que le afecten. Es por ello que en el diseño de los espacios públicos, se debe buscar una respuesta a esas particularidades climatológicas, que facilite la adaptación del hombre al medio ambiente exterior. En ese sentido, dice Víctor Olgyay (1988), que el hombre siempre se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía.

El tipo de clima para la Ciudad de Nogales está clasificado en el grupo de clima seco, de tipo semi-seco y subtipo semi-seco templado (INEGI, 2004: 14). Como sucede en muchas ciudades del país y del mundo, el uso de los espacios públicos exteriores se ha visto disminuido, ya sea por las condiciones espaciales de estos, o porque ya no son utilizados como antaño, como lugar de paso y de encuentro, de interrelaciones personales; mismas que ahora se dan en las invisibles redes sociales del internet, aislando socialmente a las comunidades.

La Ciudad de Nogales no está libre de este fenómeno. Además, dado el tipo de clima, prevalecen aquí dos temporadas muy acotadas, una de mucho calor y otra de mucho frío, que incluye frecuentes nevadas. De acuerdo a Nikolopoulou M. (2002), actualmente existe un gran interés por conocer el confort térmico en espacios públicos exteriores, considerando que estos pueden contribuir a la calidad de vida de las ciudades y a disminuir el aislamiento y la exclusión social.

Derivado de lo anterior, seleccionamos dos sitios de la Ciudad de Nogales (Tabla 1), ubicados en diferentes entornos urbanos, con el objetivo de evaluar el confort térmico en espacios públicos abiertos, a través de la percepción térmica percibida por los usuarios, durante un periodo cálido y un periodo frío.

## 2 EL CONFORT TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES

El concepto de "confort" ha venido variando a lo largo de la historia, de manera que ha tenido distinto significado en diversos periodos. Tal es así, que fue sinónimo de "consolar" debido a su raíz latina *confortare*. En el siglo XVII fue vinculado con lo privado, "lo doméstico", la intimidad y ya en el XVIII se le empieza a relacionar con el ocio y la comodidad. Durante el siglo XIX se le asocia con la ventilación, la luz, el calor y con los temas higienistas, pero es recién en el XX cuando se comienza a trabajar para lograr la eficiencia del confort y la comodidad.

El confort térmico, para las personas que se encuentran en espacios abiertos, es uno de los factores que influye en las actividades al aire libre en calles, plazas, parques infantiles, parques urbanos, etc. La cantidad e intensidad de esas actividades se ve afectada por el nivel de incomodidad experimentado por los usuarios cuando se exponen a las condiciones climatológicas de esos espacios abiertos. El hombre considera cómodo el ambiente si no existe ningún tipo de incomodidad térmica. La primera condición de comodidad es la neutralidad térmica, que significa que una persona no siente ni demasiado calor ni demasiado frío.

El confort térmico es, según la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Givoni, B. (1989:7) lo define, por su parte, como "la ausencia de irritación o malestar térmico", definida por las condiciones climáticas consideradas como aceptables y cómodas en el interior de los edificios. Ello implica una ausencia de cualquier sensación de térmica (calor o frío).

## 3 METODOLOGÍA

Respecto al confort térmico exterior, los procesos de investigación aplicada son relativamente nuevos e involucran aspectos que difieren de los que se enfrentan en el interior. Los ambientes exteriores plantean mucho

SITIO	PERIODO DE OBSERVACIÓN	ENCUESTAS APLICADAS
Parque Urbano "El Roble"	02 JUL al 01 AGO 2013	135
Unidad Deportiva "Pedro González"	02 JUL al 01 AGO 2013	135
Parque Urbano "El Roble"	09 ENE al 09 FEB 2014	132
Unidad Deportiva "Pedro González"	09 ENE al 09 FEB 2014	137

Tabla 1 Periodos de observación y encuestas aplicadas.

menos restricciones que los interiores y como resultado de ello, el estudio de confort exterior aborda una mezcla compleja de relaciones entre parámetros altamente variables, que incluyen los grupos de usuarios, las actividades y el microclima, es decir, afronta aspectos relacionados con la comodidad bioclimática y los efectos de adaptación a la modificación de condiciones del ambiente exterior (Gómez, Rojas e Higuera, 2010). La investigación se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas subjetivas y la medición simultánea de las variables climáticas de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y temperatura radiante; técnicas que, a efecto de descripción, han sido agrupadas en: monitoreo humano, monitoreo ambiental y método de análisis. Cabe señalar que el cuestionario desarrollado tuvo como base los cuestionarios realizados por Nikolopolou para el Proyecto RUROS (2002), así como los factores y parámetros citados por Ochoa (2009: 111-129).

### 3.1 Monitoreo humano.

Este procedimiento se llevó a cabo con la participación directa de los usuarios, mediante sus respuestas al cuestionario aplicado, el cual constaba de cuatro partes. La primera contiene los datos generales de la generación de cada encuesta, así como la procedencia y grado de estudios. La segunda recoge los datos de observación, tales como tipo de vestimenta, actividad, edad y género, donde también se incluye el peso y la estatura -con lo cual se obtuvo el índice de masa corporal-, así como preguntas sobre la evaluación y el uso del espacio. La tercera parte del cuestionario contempla diversos aspectos de la adaptación física y psicológica, con el fin de conocer la evaluación de diferentes parámetros climáticos, la sensación térmica y la preferencia de los usuarios, para lo cual se le solicitó a los encuestados que evaluaran dicha sensación en el momento de la entrevista en una escala de siete puntos, que va de muy caliente a muy frío, en base a la escala de sensación térmica de la norma ISO 7730 (2005).

Sensación Térmica	
+ 3	Muy Caliente
+ 2	Caliente
+ 1	Un Poco Caliente
0	Neutro
- 1	Un Poco Frío
- 2	Frío
- 3	Muy Frío

Fig. 1 Escala de sensación térmica norma ISO 7730.

### 3.2 Monitoreo ambiental.

En la última parte del cuestionario aplicado, se anotaron los resultados de las mediciones realizadas de manera simultánea, de los parámetros de: temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar y temperatura radiante, para conocer las condiciones a que estaban expuestos los sujetos, al momento de la aplicación de la encuesta. Con el objetivo de supervisar las condiciones de las personas encuestadas, se utilizó un conjunto de instrumentos portátiles.

- Las mediciones de la temperatura ambiente y la humedad, se realizaron con un equipo que cuenta con termómetro, higrómetro, anemómetro y luxómetro digitales, de la marca SPER SCIENTIFIC LTD, modelo 850070 (<http://www.sperdirect.com>).
- Para la temperatura radiante se utilizó un termómetro infrarrojo, el cual estima la temperatura de los cuerpos, de acuerdo con la cantidad de radiación infrarroja que emiten. Marca empleada: EXTECH INSTRUMENTS, modelo 42510A (<http://www.extech.com/instruments>).
- La radiación solar fue obtenida de los datos meteorológicos disponibles en la Estación Meteorológica Automática de Nogales (EMA), ubicada en las coordenadas: Longitud 110°54'50" N; Latitud 31°17'52" O; Altitud 1275 msnm, perteneciente al Sistema Meteorológico Nacional (SMN) y denominada Estación SO07.

### 3.3 Método de análisis.

El análisis de los datos fue realizado mediante la utilización del programa Excel, elaborando primero la base de datos para cada uno de los periodos analizados, bases que se conformaron a la par de la obtención de los datos en cada periodo. El programa se utilizó fundamentalmente para realizar las correlaciones entre las principales variables, calculadas a partir de los datos de campo obtenidos, capturando los datos recabados de cada una de las encuestas realizadas, y obteniendo 40 variables de manera directa. Las variables incluidas para realizar las correlaciones de información, fueron Género, Rangos de Edad, Índice de Masa Corporal (IMC) y Tipo de Vestimenta, en relación con el Voto de Sensación Térmica.

Asimismo, se utilizó el Método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST), para la obtención de la temperatura de neutralidad (Tn). El método MIST se fundamenta en el enfoque de adaptación del confort térmico (Bojórquez, 2009: 219). Este enfoque implica la interacción de variables físicas y biológicas (clima, metabolismo, aislamiento térmico), como también psicológicas (adaptación experiencia, expectativa, tolerancia, deseo). Por tal motivo, la sensación de confort varía de individuo a individuo, de localidad a localidad, e incluso de un estrato sociocultural a otro (Brager y de Dear, 2003).

## 4 ESTUDIOS DE CASO

El Municipio de Nogales, se encuentra localizado en el extremo Norte del Estado de Sonora, México, situado en la frontera norte, colindando con los Estados Unidos de América. Está clasificado en el grupo de clima seco, de tipo semi-seco y subtipo semi-seco templado BS1kw(x'), con una temperatura media anual promedio de 17.8°C, y con precipitación media anual promedio de 449.7 milímetros. En el invierno generalmente hay nevadas y granizos. La Ciudad de Nogales, donde se ubican los sitios analizados, se encuentra localizada en las coordenadas geográficas Latitud 31° 31' 86.11" N y longitud 110° 94'58.33" O, a una altura de 1200 metros sobre el nivel del mar (msnm).

La investigación se centra en el confort térmico de los usuarios de dos espacios públicos abiertos de la Ciudad de Nogales. El trabajo de campo fue realizado durante un periodo cálido (julio 2013) y un periodo frío (enero 2014), mediante la aplicación de encuestas subjetivas y mediciones simultáneas, teniendo como objetivo evaluar el confort térmico exterior en relación a su habitabilidad temporal.

### 4.1 Localización de los sitios analizados.

Los espacios públicos seleccionados formaron parte del Programa de Rescate de Espacios Públicos del Gobierno Federal, periodo 2006-2012 del Gobierno Federal (SEDESOL, 2011), por lo cual fueron objeto de elaboración y desarrollo de diseño, así como de obras de remodelación.

ESPACIO PUBLICO	AREA/M <sup>2</sup>	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Unidad Deportiva "Pedro González"	30.035,78	31º 17' 29.20" N	110º 55' 32.25" W	1.245
Parque Urbano "El Roble"	28.439,57	31º 16' 24.21" N	110º 57' 01.49" W	1.301

Tabla 2 Espacios públicos seleccionados. Fuente: Propia.



Fig. 2 Foto aérea Unidad Deportiva "Pedro González". Fuente: Google Earth

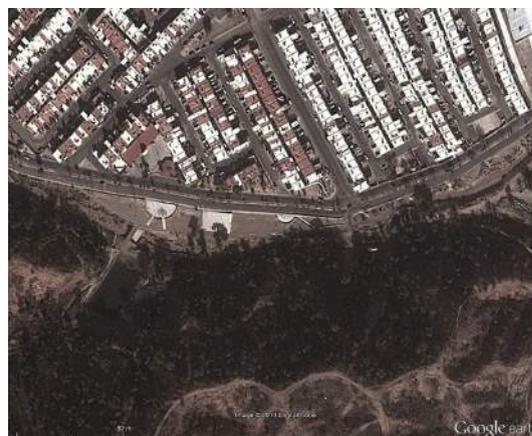


Fig. 3 Foto aérea Parque Urbano "El Roble". Fuente: Google Earth

#### 4.2 Unidad Deportiva “Pedro González”.

La Unidad Deportiva “Pedro González” (Figura 2) posee una superficie de 30,035.78 m<sup>2</sup>. Se halla localizada al Noreste de la mancha urbana de la Ciudad de Nogales, Sonora, en una Zona Habitacional del nivel Medio a Medio Bajo, y rodeada por las colonias: Los Álamos, Virreyes, Solidaridad, Los Corrales, Lomas de Nogales. Ubicado sobre una meseta nivelada, el sitio cuenta con escasos 20 árboles, entre los cuales predomina el tipo Álamo *Guerigo* (*Populus monticola*), cuya altura aproximada es de entre 3 a 5 metros. Cuenta con algunas facilidades deportivas y juegos infantiles (Figuras 4-5).



Fig. 4 Fotografías Unidad Deportiva “Pedro González”.

#### 4.3 Parque Urbano “El Roble”.

El Parque Urbano “El Roble” (Figura 3), cuya superficie es de 28,439.57 m<sup>2</sup>, se localiza al Suroeste de la mancha urbana de la Ciudad de Nogales, Sonora, en una Zona Habitacional de Interés Social y nivel Medio Bajo, frente al Fraccionamiento Las Bellotas, de manera muy cercana a zonas industriales. Se puede describir como un parque lineal, al estar ubicado sobre el costado sur del Blvd. Está dividido por un arroyo natural, tipo intermitente, con dirección Oeste a Este. Consta de algunas facilidades deportivas, juegos infantiles, así como una ciclopista de 850 metros de longitud, tipo *cross country* (Figuras 6-7), la cual fue construida sobre la ladera del cerro, mismo que cuenta con vegetación nativa de Encino (*Quercus Emoryi*), según se aprecia en la Figura 6.

Fig.5 Plano distribución Unidad Deportiva “Pedro González”.

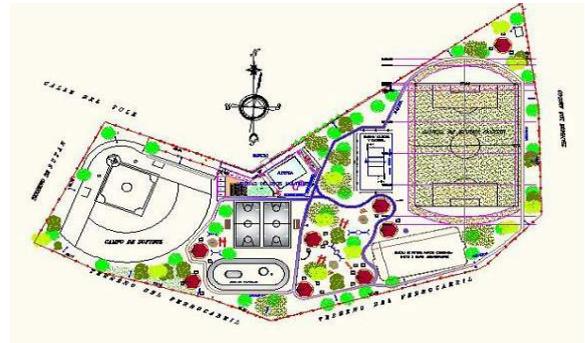


Fig.6 Plano distribución Parque Urbano “El Roble”.



Fig.7 Fotografías Parque Urbano “El Roble”.

## 5 RESULTADOS.

### 5.1 Datos mediciones

#### simultáneas en ambos espacios, en periodo cálido.

Con las mediciones simultáneas, registramos, para el periodo cálido, una temperatura ambiente máxima (TA máx.) superior a los 35°C, en ambos sitios. Asimismo, la temperatura radiante máxima (TR máx.) fue advertida entre los 39°C y 40°C. Por otra parte, el mayor porcentaje de humedad relativa (HR máx.) se registró en el Parque Urbano, siendo de un 68%. Así también, la radiación horaria más alta (RH máx.) medida en el mismo Parque, fue de 514 W/m<sup>2</sup>. (Tablas 3-4).

### 5.2 Sensación térmica percibida en ambos espacios, en periodo cálido.

De las 135 personas encuestadas en el Parque Urbano (Figura 8), en relación a la sensación térmica manifestada, el 56% dijo encontrarse con "algo de calor" y un 16% con "calor", contra el 28% que manifestó sentirse en "neutralidad" (confortable).

PARQUE URBANO							
T.A. max °C	T.A. min °C	T.R. max °C	T.R. min °C	V.V. max m/s	V.V. min m/s	H.R. max %	H.R. min %
35,8	24	40,4	23,8	3,2	0,1	68	26,2
29,02		30,07		0,82		46,4	

Tabla 3 Máximos, mínimos y promedios de las variables climáticas periodo cálido. Parque Urbano.

UNIDAD DEPORTIVA							
T.A. max °C	T.A. min °C	T.R. max °C	T.R. min °C	V.V. max m/s	V.V. min m/s	H.R. max %	H.R. min %
35,4	25,4	39,2	24,3	3,5	0,1	59	19,9
30,98		31,63		0,91		37,06	

Tabla 4 Máximos, mínimos y promedios de las variables climáticas periodo cálido. Unidad Deportiva.

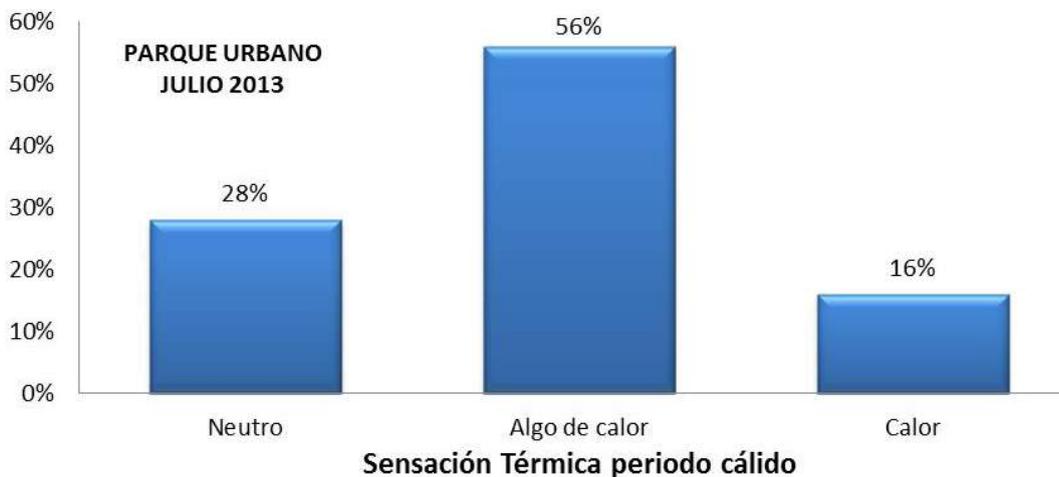


Fig.8 Sensación térmica periodo cálido, Parque Urbano.

Por otra parte, de las 135 personas encuestadas en la Unidad Deportiva, respecto a la sensación térmica percibida por los usuarios, un 45% respondió encontrarse en confort, el 19%, con algo de calor, un 32%, con calor, y un 3%, con mucho calor.

Solo el 1% manifestó sentir algo de frío. En ambos sitios el mayor porcentaje de respuestas correspondió a la sensación de algún grado de incomodidad, aunque, cabe señalar, que los usuarios del Parque Urbano manifestaron mayor grado de incomodidad. (Figura 9).

### 5.3 Datos mediciones simultáneas en ambos espacios, periodo frío.

La temperatura ambiente máxima (TA máx.) para el periodo frío, en ambos sitios fue superior a los 20°C, y la temperatura radiante máxima (TR máx.) osciló entre los 22°C y 23°C. Asimismo, el mayor porcentaje de humedad relativa (HR máx.) fue registrado en el Parque Urbano, con el 25%. Y, finalmente, la radiación horaria más alta (RH máx.) se registró en el mismo Parque con 594 W/m<sup>2</sup>. (Tablas 5-6).

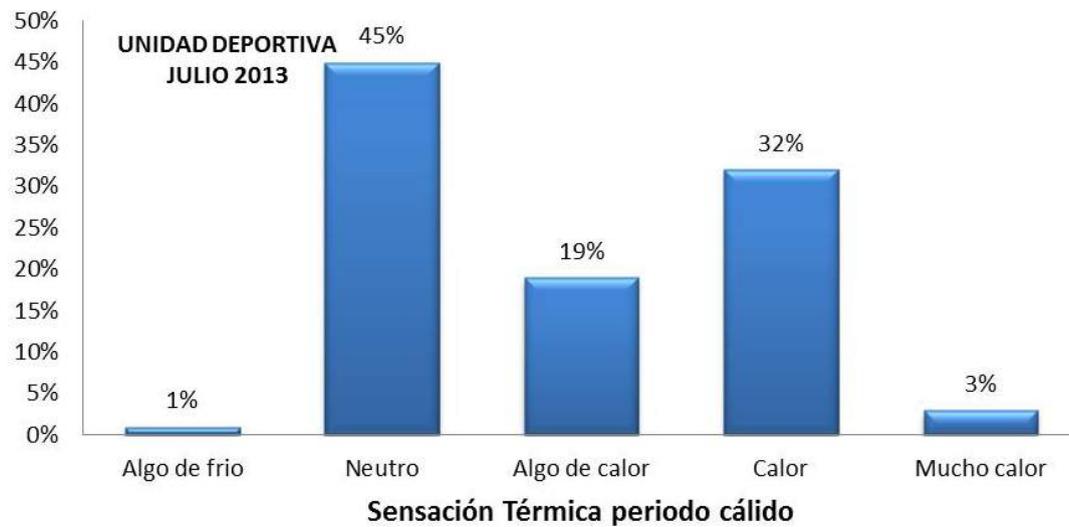


Fig.9 Sensación térmica periodo cálido, Unidad Deportiva.

PARQUE URBANO					
T.A. max °C	T.A. min °C	T.R. max °C	T.R. min °C	V.V. max m/s	V.V. min m/s
27	12,3	28,5	13,5	4,2	0,1
20,71		22,83		1,41	

Tablas 5 Máximos, mínimos y promedios variables climáticas periodo frío, Parque Urbano.

UNIDAD DEPORTIVA					
T.A. max °C	T.A. min °C	T.R. max °C	T.R. min °C	V.V. max m/s	V.V. min m/s
28,9	12,5	25	13,8	2,8	0,3
21,58		23,69		1,39	

Tabla 6 Máximos, mínimos y promedios variables climáticas periodo frío, Unidad Deportiva.

### 5.4 Sensación térmica percibida en ambos espacios, periodo frío.

De las 132 personas encuestadas en el Parque Urbano, el 69% manifestó sentirse confortable, contra de un 21% que señaló encontrarse con algo de frío y un 10%, con algo de calor. (Figura 10).

Por otra parte, de las 137 personas encuestadas en la Unidad Deportiva, un 73% respondió sentirse en

confort, frente a un 27% que indicó encontrarse en algún grado de incomodidad. De este último porcentaje, el 14% dijo sentir algo de frío y el 13%, algo de calor. Para el periodo frío, fue en la Unidad Deportiva donde el mayor porcentaje de usuarios manifestó sentirse confortable. (Figura 11).

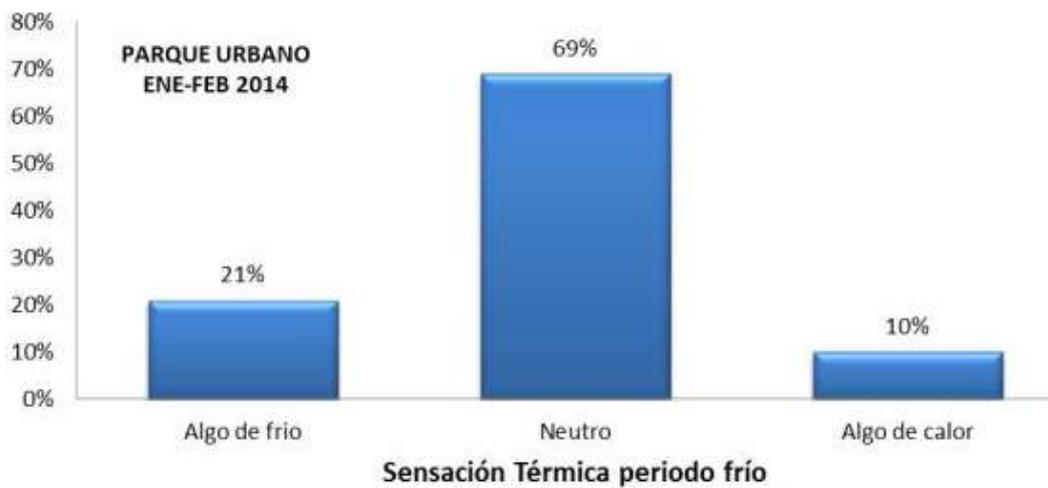


Fig.10 Sensación térmica periodo frío, Parque Urbano.

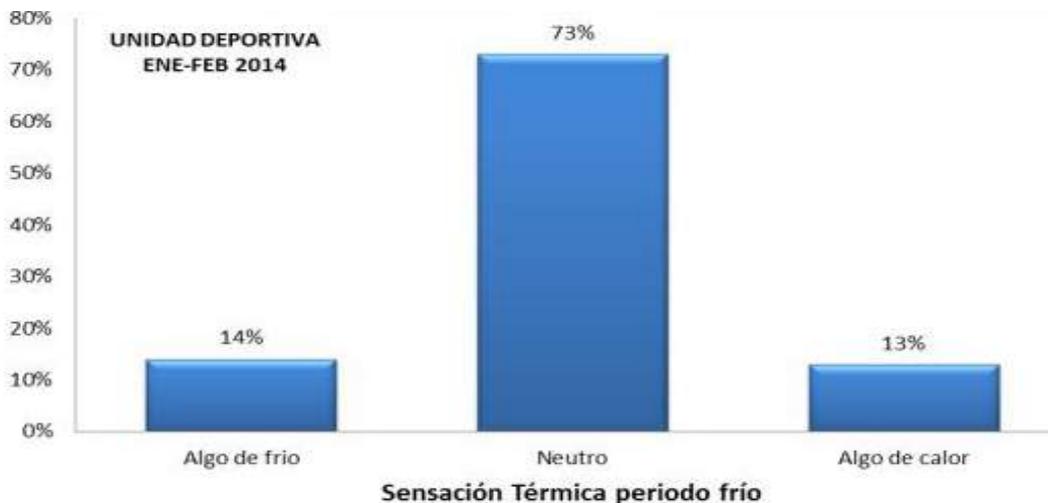


Fig.11 Sensación térmica periodo frío, Unidad Deportiva.

Temperatura Ambiente °C	Tn -1DS	Tn	Tn +1SD
	24	25,8	27,4

Tabla 7 Valor de Tn para temperatura ambiente y rango confort térmico periodo cálido, ambos sitios.

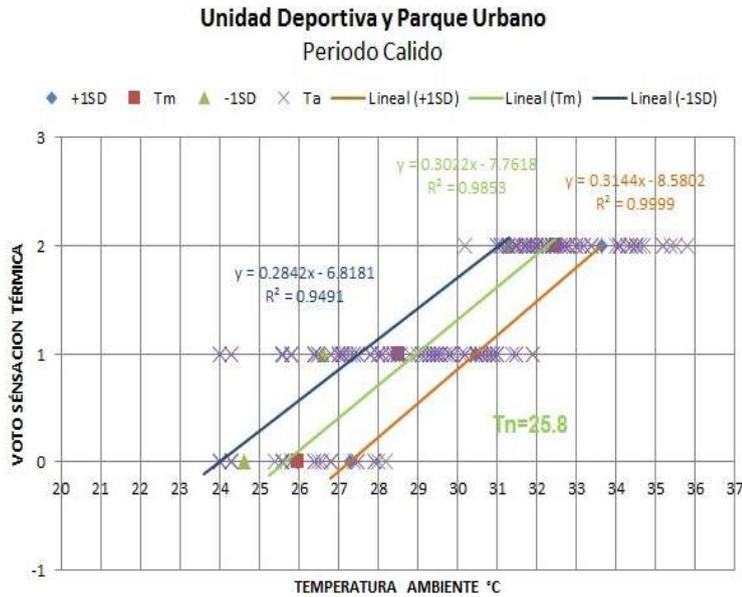


Figura 12 Voto de sensación térmica por temperatura ambiente (TA) periodo cálido, ambos sitios.

Temperatura Ambiente °C	Tn -1DS	Tn	Tn +1SD
	19,2	20,8	22,4

Tabla 8 Valor de Tn para temperatura ambiente y rango confort térmico periodo frío, ambos espacios.

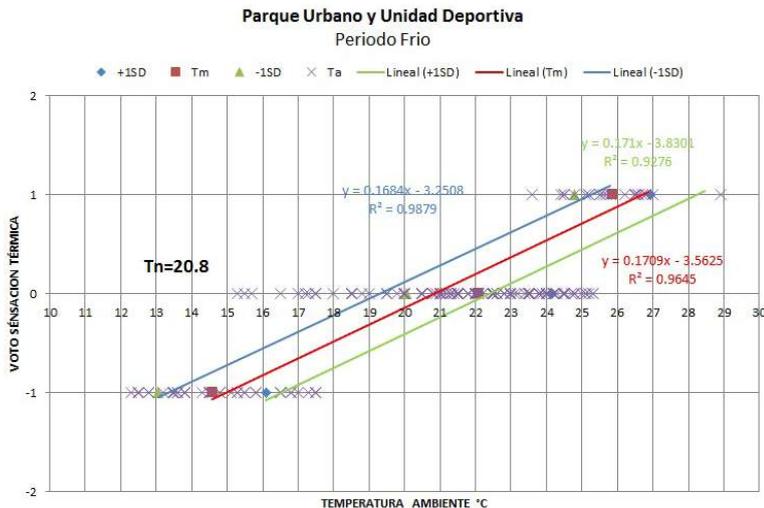


Figura 13 Voto de sensación térmica por temperatura ambiente (TA) periodo frío, ambos espacios.

## 5.5 Sensación térmica obtenida para ambos espacios, periodo cálido.

A través del método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST), fueron obtenidos los datos que se muestran en la Tabla 7 para ambos espacios: la Temperatura media (Tm) y los rangos reducido y extenso de confort térmico, con base en la ecuación de la recta de regresión lineal de los valores medios.

La sensación térmica por temperatura ambiente para el periodo cálido en ambos espacios, presenta una Temperatura neutra (Tn) de 25.8°C y un rango reducido de confort térmico de 3.4°C, es decir,  $\pm 1.7^\circ\text{C}$  a partir de la Tn. (Figura 12).

## 5.6 Sensación térmica obtenida para ambos espacios, periodo frío.

Mediante el método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica (MIST), fueron obtenidos los datos que se muestran en la Tabla 8 para ambos espacios: la Temperatura media (Tm), y los rangos reducido y extenso de confort térmico, con base en la ecuación de la recta de regresión lineal de los valores medios.

La sensación térmica por temperatura ambiente para el periodo frío en ambos espacios, presenta una Temperatura neutra (Tn) de 20.8°C y un rango reducido de confort térmico de 3.2°C, es decir,  $\pm 1.6^\circ\text{C}$  a partir de la Tn. (Figura 13).

## 5.7 Análisis comparativo de resultados.

La percepción del confort térmico se ve influenciada por variables ambientales, fisiológicas, psicológicas y socioculturales. El modelo de encuesta aplicada contiene reactivos de estos cuatro grupos de variables, sin embargo, en los resultados obtenidos no se evidencian claramente todas las variables, aunque su influencia se ve reflejada en la emisión de los votos de sensación térmica percibida.

Ahora bien, es importante recordar que la percepción térmica constituye un proceso complejo del cerebro humano, el cual, debido a la individualidad, puede variar considerablemente de un usuario a otro, pese a que las circunstancias del entorno sean las mismas al momento de emitir su voto.

Los resultados obtenidos en esta investigación presentan  $3^\circ\text{C}$  para el rango reducido de sensación térmica del periodo cálido, para el Parque Urbano y  $1.7^\circ\text{C}$  para la Unidad Deportiva. En relación al mismo periodo, el resultado de la suma de encuestas aplicadas en ambos espacios, para el rango reducido de sensación térmica, fue de  $3.2^\circ\text{C}$ . (Tabla 9).

Asimismo, los resultados obtenidos para el rango reducido del periodo frío, según la sensación térmica percibida por los usuarios, fue de 3.2°C para el Parque Urbano y de 2.7°C para la Unidad Deportiva. Para igual periodo, el rango reducido de sensación térmica percibida por los usuarios, del conjunto de encuestas aplicadas en ambos espacios, fue de 3.1°C. (Tabla 10).

Como se aprecia en las tablas anteriores (Tablas 10-11), la temperatura de neutralidad para el periodo cálido muestra una variación de 2.2°C entre un espacio y otro, en cambio, al analizar el periodo frío de los espacios por separado, la variación entre ellos es tan solo de 0.2°C. Igual diferencia se acusa en los rangos reducido y extenso, a partir de los cuales observamos que en la Unidad Deportiva el rango de confort es menos amplio que en el Parque Urbano.

<b>CALIDO</b>	<b>Tn -2DS</b>	<b>Tn -1DS</b>	<b>Tn</b>	<b>Tn +1SD</b>	<b>Tn +2SD</b>
PARQUE	21,4	23,2	24,8	26,2	27,4
UNIDAD	25,3	26,2	27	27,9	28,7
AMBOS	22,2	24	25,8	27,2	28,8

Tabla 9 Valor de Tn para temperatura ambiente (TA) y rangos de confort térmico según sensación térmica, para periodo cálido. Fuente: Propia.

<b>FRIO</b>	<b>Tn -2DS</b>	<b>Tn -1DS</b>	<b>Tn</b>	<b>Tn +1SD</b>	<b>Tn +2SD</b>
PARQUE	17,8	19,3	21	22,5	24
UNIDAD	18,2	19,4	20,8	22,1	23,4
AMBOS	17,8	19,3	20,9	22,4	24

Tabla 10 Valor de Tn para temperatura ambiente (TA) y rangos de confort térmico según sensación térmica, para periodo frío. Fuente: Propia.

## CONCLUSIONES

De las temperaturas ambiente (TA) promedio registradas durante el periodo cálido, la Unidad Deportiva reportó casi +2°C por arriba del Parque Urbano. Además, a través de la utilización de los métodos estadísticos descritos en el cuerpo del estudio, advertimos que en la Temperatura neutra (Tn) obtenida para el periodo cálido también se manifiesta una diferencia de +2.25°C en la Unidad Deportiva, por encima de la Temperatura neutra (Tn) del Parque Urbano. (Tabla 10).

Por otra parte, y conjuntamente en ambos espacios, la Temperatura neutra (Tn) para el periodo cálido fue de 25.8°C. Considerando que la temperatura ambiente (TA) promedio de ese periodo, y para ambos espacios, fue de 30°C, se observa una diferencia de +4.2°C. Asimismo, el rango reducido de confort en igual etapa fue de 3.2°C, por lo tanto, y dado que la diferencia mencionada se halla por encima del rango de confort obtenido, es claro que existe incomodidad en la mayoría de los usuarios de los espacios durante el periodo cálido.

Igualmente, de los resultados obtenidos de forma conjunta para ambos espacios, la Temperatura neutra (Tn) para el periodo frío fue de 20.9°C y la temperatura ambiente (TA) promedio obtenida en las encuestas realizadas para ambos espacios, fue de 21.14°C; con lo cual se observa una diferencia de +0.24°C solamente (Tabla 11). Dado que el rango reducido de confort para ese periodo fue de 3.1°C, y que los resultados determinan que la temperatura ambiente y la temperatura de neutralidad son casi coincidentes y se hallan dentro del rango reducido de confort, se puede afirmar que la mayoría de los usuarios de ambos espacios, durante el periodo frío, se sintieron en confort térmico.

Al identificar las variables climáticas, que en conjunto con las variables personales, incidieron en los usuarios para que manifestaran su voto de sensación térmica percibida, se pudo obtener un nivel de confort térmico percibido por los usuarios, para los periodos frío y cálido analizados, como contribución a las investigaciones que se realicen para climas similares. Teniendo en cuenta, de acuerdo a los resultados, que la variable de Temperatura Radiante fue determinante para la sensación térmica percibida, ya que estuvo siempre por arriba de la Temperatura del Aire (TA), se hace evidente que en el diseño de espacios abiertos se debe considerar el uso de materiales con bajo albedo, tanto en pisos como en mobiliario urbano, con el fin de tener una menor reflexión de la Radiación Solar.

La obtención de la Temperatura de neutralidad (Tn) o de confort, conseguida a través del voto de sensación térmica manifestado por los usuarios y la Temperatura ambiente registrada, podrá ser empleada, con miras a prolongar el tiempo de permanencia de las personas en los espacios públicos exteriores, para el diseño o adecuación de dichos espacios públicos existentes en la localidad, o bien, para otras ciudades que cuenten con el mismo tipo de clima. Así, se logra el objetivo

de implementar estrategias para propiciar el confort térmico y, de ese modo, un mejor desarrollo de las actividades en los espacios públicos. Con todo ello, se aspira, en definitiva, a contribuir a la recuperación de la convivencia y socialización en los espacios, como base de la sociedad humana y de la integración de las familias.

## AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) el financiamiento recibido para el desarrollo de la presente investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Pagina Web: <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>

BOJÓRQUEZ M. Gonzalo. (Junio 2010). "Confort Térmico en Exteriores: Actividades en Espacios Recreativos, en Clima Cálido Seco Extremo". Tesis para obtener el grado de Doctor en Arquitectura.

GIVONI, B. (1989). Urban design in diferent climates. U.S.A., World Meteorological Organization.

GÓMEZ Nersa, ROJAS Axa e HIGUERAS Ester. (2010). Parámetros Sostenibles en el Planeamiento y Diseño Ambiental del Espacio Micro Urbano. Consultado 04 Octubre 2012. Página Web: <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper407.pdf>

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 7730 (Third edition 2005-11-15). Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

INEGI, Cuaderno estadístico Municipal, Nogales., Sonora (2004: 14). Conjuntos de datos geográficos de la carta de Climas. ISBN 97-13-2592-9

NIKOLOPOULOU, Marialena. (2002). Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach. Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (RUROS)

OCHOA de la Torre, José Manuel. (2009). Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos. Erasmus Ediciones.

OLGYAY, Víctor. Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas. Editorial Gustavo Gili, 1988.

# PROPUESTA DE REHABILITACIÓN URBANA PARA LA COLONIA TARAHUMARA EN CIUDAD CUAUHTÉMOC, CHIHUAHUA, MÉXICO.

Artículo recibido 30-09-14  
aceptado 28-10-14

Urban reconversion proposal of the Tarahumara colony, in Cuauhtémoc City, Chihuahua, México.

LETICIA PEÑA BARRERA.  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Juárez, México/  
lpena@uacj.mx

Palabras clave:  
rehabilitación urbana,  
urbanismo bioclimático y  
sostenibilidad.

## RESUMEN

A lo largo de la historia de la fundación de las ciudades ha sido posible identificar diversas situaciones de vulnerabilidad, ocasionadas ya sea por la condición geográfica, la dependencia al centro (factores de lejanía), la toma de decisiones ajenas a la región o el desequilibrio sociopolítico derivado de una propuesta de desarrollo que no responde a las necesidades de la sociedad y provoca condiciones insostenibles. Esta problemática se agudiza en regiones con diferentes minorías (indígenas), que subsisten en las ciudades, y cuyos usos y costumbres no son considerados en los programas dirigidos para otorgarles beneficios, de manera que son ajenos a su idiosincrasia y modo de vida. El gobierno del Estado de Chihuahua, interesado en apoyar a comunidades tarahumaras o *rarámuris*, promueve la creación de la Colonia Tarahumara en la ciudad de Cuauhtémoc, donando en 2001 el terreno y el financiamiento para las primeras 50 viviendas en propiedad común, y así lograr su arraigo. En este trabajo se presenta la propuesta de reequipamiento urbano-ecológico de la Colonia Tarahumara, la cual fue presentada a la Fundación Tarahumara para la construcción de otras 50 unidades de vivienda, teniendo en cuenta factores determinantes de localización e identificación de las costumbres de la comunidad *rarámuri*, como también soluciones urbano-bioclimáticas, con el fin de que ésta pueda tener acceso a la financiación federal de la Sedesol y, por último, de contribuir al desarrollo sostenible de la comunidad tarahumara.

Keywords:  
retrofitting, bioclimatic  
urbanism and  
sustainability.

## ABSTRACT

Throughout the history of the founding of cities, one can identify various vulnerabilities, either due to geographical conditions, the dependency factors of distance with the center, to making decisions outside the region, or sociopolitical imbalance, as the development does not meet the needs of society and the conditions are unsustainable. This problem is exacerbated in regions with different minorities (indigenous) that remain in the cities, and whose customs are not considered in programs designed to benefit them, being outside their idiosyncrasies and lifestyle. The state government of Chihuahua, interested in supporting communities Tarahumara or "rarámuris" promotes the creation of the Tarahumara colony in the city of Cuauhtemoc, with donating the land in 2001 and the funding to 50 housing, the ownership is common and achieve permanence. This paper presents the proposal of urban retrofitting ecological of the Colony Tarahumara, which was presented to the Tarahumara Foundation for the construction of other 50 housing units, considering the determinants of the location, identifying aspects of the customs of the "Rarámuri" community, with bioclimatic urban solutions, so that they could access the federal funding of SEDESOL and contribute of the sustainable development to the community tarahumara.

## 1 INTRODUCCIÓN

La migración de grupos indígenas a las ciudades, en el Estado de Chihuahua, se presenta por dos factores: las condiciones adversas de la vida en la montaña y la movilidad durante periodos invernales que dificultan su supervivencia en la sierra tarahumara. Por ello, los *rarámuris* permanecen en la ciudad durante el invierno y retornan en el verano a las zonas de la montaña; sin embargo, algunos grupos permanecen más tiempo, viviendo situaciones de pobreza extrema e indigencia<sup>1</sup>.

Por "vulnerabilidad social" se entiende la fragilidad que enfrentan individuos y grupos ante condiciones de diferenciación. Esta situación afecta las capacidades para relacionarse y las habilidades para la recuperación física, mental y emocional, debido al rechazo y a la falta de opciones y oportunidades que permitirían disminuir estas desigualdades; oportunidades que un desarrollo sustentable debiera promover, al dar cabida a la diversidad<sup>2</sup>.

Ciudad Cuauhtémoc es una de las ciudades más jóvenes del Estado de Chihuahua y se constituye a partir del aumento de su población en la década de los 40, siendo centro de "la ruta de la manzana". La posición geográfica de Cuauhtémoc en el centro del Estado, cercano a la capital de Chihuahua, facilita la salida y abasto de productos para la producción agrícola y para el consumo local. La dispersión de sus comunidades se resuelve por las condiciones adecuadas de los caminos rurales.

Las sequías de la década pasada provocaron en el Estado una crisis que produjo el estancamiento y la migración permanente a las principales ciudades de familias y adultos en edad de trabajar. En el caso del municipio de Cuauhtémoc, se ha identificado una mayor dinámica poblacional y con ello la movilidad de grupos indígenas. Es un lugar donde residen grupos de menonitas, *rarámuris* o tarahumaras y mestizos, siendo algunos de ellos bilingües. (Loera, 2003).

En este trabajo se plantea una propuesta de rehabilitación urbano-ecológica (Hernández Ajá, 2009:101), donde aplican conceptos del urbanismo bioclimático, para construir 50 viviendas en la Colonia Tarahumara, ubicada en ciudad Cuauhtémoc.

En cuanto a las características de la región, la ciudad se localiza en las coordenadas 28° 25' 00" N y 106° 51' 00" W, a una altitud de 2010 msnm, el clima es semiseco templado, alcanza en invierno temperaturas inferiores a los -18 grados Celsius y, en verano, hasta los 37 grados Celsius. La precipitación anual promedio es de 500 a 600mm, con tormentas de granizo en verano e invierno frío con nevadas frecuentes. El porcentaje de humedad es de 50% promedio anual, con mínimas de 20% y máxima de 85%. La oscilación térmica es de 19 grados Celsius.

Los meses más fríos son diciembre, enero y febrero, con los registros de temperatura más bajos (-18 a -16 grados Celsius). En verano, los meses más cálidos son junio, julio y agosto, con temperaturas de 37 a 34 grados Celsius. La temperatura máxima promedio anual es de 23 grados Celsius y la mínima promedio de 4 grados Celsius (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2001)

Estas temperaturas extremas requieren la definición de estrategias bioclimáticas en el diseño urbano, pero también en las edificaciones, teniendo en cuenta orientación, topografía, pendientes y vientos dominantes de la región, lo cual permite diseñar en base al soleamiento y obtener condiciones de confort térmico tanto al interior como al exterior de los espacios. Se busca privilegiar soluciones pasivas y activas basadas en las determinantes del lugar, valorando los usos y costumbres de sus habitantes y aportando a la variable social, vinculada al tema del desarrollo sostenible<sup>3</sup>.

El objetivo de este trabajo es aportar parámetros de comparación para la mejora del espacio urbano por medio de la medición de indicadores de tipo ambiental y social que pueden influir en la rehabilitación urbana ecológica o *retrofitting*. Dichos parámetros son: la reducción de vialidades o áreas de banqueta; el aumento de áreas permeables y jardines; la definición de áreas verdes y andadores; la incorporación de ciclovías; la diversificación de usos de las construcciones, como viviendas, talleres y/o comercio, basada en el perfil de sus habitantes, y en sus usos y costumbres.

1 Rarámuri" o tarahumara, etnia indígena del Estado de Chihuahua. Rigen su vida bajo lo que significa ser rarámuri: su mitología, sus ritos, la herbolaria y los cultivos. Se les conoce como los hombres de pies alados, ya que recorren grandes extensiones de territorio a pie, a una velocidad poco común (mexicodesconocido.com, 2010).

2 El desarrollo sustentable es un concepto que toma auge a finales de la década de los ochenta, dado el crecimiento desigual en las ciudades, cuyos preceptos surgen a partir de las deficiencias presentadas en las políticas de tipo económico en esa época implementadas.

3 "Reconocemos que el desarrollo sostenible exige una perspectiva a largo plazo y una amplia participación en la formulación de políticas, la adopción de decisiones y la ejecución de actividades a todos los niveles." Cumbre Mundial de Johannesburgo. (Organización de Naciones Unidas, 2002).

## 2 REHABILITACIÓN URBANA ECOLÓGICA.

El interés por proponer un cambio en el diseño urbano surge en una visita de campo que permitió observar algunos problemas que, posteriormente, serían identificados en el levantamiento topográfico. En concreto, gracias al análisis de las pendientes, aparentemente mínimas, se descubrió que éstas generaban escurrimientos que impactaban en las viviendas existentes, lo que significó evaluar la organización de lotes y, con ello, aprovechar mejor la orientación del prototipo de vivienda. La intención de la rehabilitación como tal, se establece como resultado de este análisis. En este sentido, se retoma este concepto de rehabilitación urbano-ecológica, considerando lo siguiente:

**1** Recuperación del espacio existente por medio de la planeación y participación, que como menciona Hernández Ajá, surge “mediante una nueva estructura urbana que garantice la calidad del entorno del ser humano” (2009:101).

**2** Disminución del impacto ambiental, mediante algunas tendencias que se han incluido a nivel mundial: ciclovías, estaciones de conexión con transporte público, soluciones pasivas para la construcción y alternativas con recursos renovables (Haley, 2009).

**3** Reequipamiento urbano o *retrofitting*, que se plantea a pequeña escala, con el objetivo de favorecer el tratamiento de residuos (compostaje), optimizar recursos renovables, y promover “barrios de uso mixto o aumento de la infraestructura de barrio, iniciativas basadas en la recolección de agua de lluvia, el compromiso social y comunitario a nivel de barrio”, incluyendo el “caminar, montar bicicleta y los sistemas de transporte de baja masa de carbono”, según lo plantea el grupo Retrofit 2050 (Eames et al, 2013:16-19). La definición de los espacios de equipamiento se considera en base al estilo de vida de los habitantes *rarámuri*, no como un modelo a repetir indistintamente, sino como respuesta a sus necesidades, que corresponden a espacios “convivenciales”, de usos múltiples y que puedan adecuarse con el tiempo (Hernández Ajá, 2000:25).

## 3 LA COLONIA TARAHUMARA

En 2001, el Gobierno Federal fomentó la construcción masiva y extensiva de vivienda, aplicando el financiamiento institucional y de ahorro del trabajador (INFONAVIT, FOVISSSTE) en todo el país. También se aplicaron programas para combatir la extrema pobreza en comunidades indígenas, destinando recursos para dotar de vivienda a los grupos que habían migrado a la ciudad<sup>4</sup>.

La Colonia Tarahumara surge como una iniciativa de la Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas

del Gobierno Municipal de Cuauhtémoc, mismo que coordinó la donación y primera lotificación del predio. Se buscó atender a familias *rarámuris* que requerían vivienda y cuya actividad comercial y estilo de vida los había llevado a la ciudad con el fin de vender sus productos de tipo artesanal o de buscar trabajo. Así, en 2001, la Colonia es ubicada a las afueras de la ciudad, volviéndose una zona segregada y sin equipamiento, lo que implica largos traslados a sus habitantes <sup>5</sup>.

El financiamiento de las primeras 50 viviendas fue asumido por las mujeres, siendo ellas sujeto de crédito<sup>6</sup>.

El tipo de propiedad en la Colonia es comunal y sus pobladores mantienen la organización basada en las costumbres indígenas, con valores o estilos de vida que les identifican, ya sea nombrando al gobernador del grupo o coordinado la organización de las ceremonias<sup>7</sup>. En la actualidad la Colonia Tarahumara se localiza en el sector con mayor dinámica de crecimiento y cerca del nuevo Hospital del Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS). Estas condiciones de segregación pasiva de la Colonia, dadas por su localización, propiciaron que sus habitantes mantuvieran el modo de vida *ad hoc* a sus costumbres.

La vulnerabilidad social que enfrentan los grupos indígenas en la ciudad, debe atenderse mediante el respeto y conservación de sus tradiciones y costumbres, que se fortalecen con la vivencia en comunidad y la organización social, en búsqueda de beneficios comunes.

Después de 13 años, la comunidad ha logrado el pago del adeudo total y por medio de la Fundación Tarahumara y la empresa de manzanas “La Norteña” (como aval) iniciaron gestiones para obtener recursos para la edificación de las siguientes 50 casas, aplicando recursos del Gobierno Federal de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

## 4 METODOLOGÍA.

Se aplicaron diferentes métodos para el desarrollo de la propuesta de rehabilitación urbana:

**1** *Análisis de sitio y visita de campo*: Aporta a la definición de conceptos de diseño, la valoración de los espacios urbanos existentes, a la identificación de los elementos del medio físico natural (topografía, orientación, vientos dominantes, edafología, geología e hidrología profunda y superficial); así como a los aspectos de medio construido (equipamiento, lotificación actual, servicios existentes -ubicación de postes y líneas de tuberías-, vegetación local o introducida), información relevante del impacto presente en el lugar.

**2** *Indicadores LEED-ND*: En la propuesta de reconversión se tomaron en cuenta los indicadores para vecindarios

4 “El resultado ha sido el incremento masivo de unidades habitacionales de calidad cuestionable, normalmente construidas en suelos de bajo valor y que tienden a ubicarse en las zonas periféricas” (Delgado, 2010:125).

5 Para el “*rarámuri*”, caminar es parte de su estilo de vida, pues son conocidos también como “pies alados” o “pies ligeros”.

6 La atención a grupos vulnerables se establece como una estrategia del Gobierno del Estado en diferentes ciudades, en este caso, el Instituto de la Vivienda del Estado de Chihuahua beneficia a la población *rarámuri*.

7 En este caso, han sido elegidas mujeres gobernadoras, ya que son las propietarias de la vivienda, habiendo cumplido, la mayoría, con el pago del primer crédito.

(Leadership in Energy and Environmental Design Neighborhood Development por sus siglas LEED-ND), sistema que evalúa la eficiencia de la localización, la preservación ambiental, la diversidad y conveniencia de vecindarios, ambientes peatonales, la disminución de la demanda de transporte, diseño de ciclovías, usos mixtos y espacios comunitarios, disminución de uso de energía, reuso y reciclaje de desechos o residuos derivados del funcionamiento de una edificación o conjunto urbano, por mencionar algunos aspectos<sup>8</sup>.

**3 Principio de sustentabilidad:** Se introducen algunos atributos de los principios del desarrollo sustentable (económicos, ambientales y sociales) para privilegiar el aspecto social, basado en las características del grupo indígena llamado *rarámuris* o tarahumaras, que fue determinante para privilegiar los usos y costumbres, y el espacio para los ceremoniales de su cosmovisión cultural.

Los aspectos a considerar en el hábitat urbano sustentable involucran factores económicos, sociales y ambientales que son útiles para evitar soluciones parciales a un problema complejo; se requiere de nuevas normas y formas de pensamiento, de la aplicación de principios de diseño, de control y observación por parte de autoridades y ciudadanos. Por ello, se aporta mediante el análisis de elementos de diseño urbano y la evaluación comparativa de los beneficios en las condiciones de vida de sus habitantes, ya sean económicos, ambientales y sociales<sup>9</sup>.

## 5 REHABILITACIÓN URBANA DE LA COLONIA TARAHUMARA EN CUAUHTÉMOC, CHIHUAHUA.

En la elaboración de la propuesta se presentan dos momentos: el análisis de las condiciones del emplazamiento actual (propuesta inicial) y la elaboración de la propuesta de rehabilitación.

### 5.1 Análisis de la propuesta inicial.

La Colonia fue definida en un terreno rectangular que se ubicaba a las afueras de la localidad, hace 13 años; el sitio se vinculaba a un ambiente más rural, ajeno de la urbanización. La Fundación Tarahumara atiende posteriormente la solicitud de edificar otras 50 viviendas, basada en el proyecto urbano de lotificación cerrada: las nuevas viviendas estarían rodeadas de vialidades perdiendo espacios para eventos ceremoniales.

Se construyeron 50 casas en el perímetro de la propiedad; la iglesia y media cancha de básquetbol al centro; y el equipamiento de kínder y primaria al norte del predio. Se incluyen, asimismo, lotes para comercio, sobre la vialidad Libramiento Sur, para uso común y ser administrados

por los mismos pobladores, privilegiando beneficios colectivos y de interés comunitario. La vivienda se construye con materiales de bloque de concreto y techo de lámina, inapropiados para la región, siendo muy calientes en verano y fríos en invierno. En este sentido, la adecuación climática, sería conveniente.

El proyecto urbano inicial no presenta una solución diferenciada para indígenas *rarámuris* y otros grupos de población. De esta forma, la construcción de las nuevas viviendas y las calles propuestas en este proyecto inicial, eliminarían áreas primordiales para sus costumbres, ya sean espacios abiertos para juegos y rituales, para la producción de artesanía o para concursos de caminatas y carreras, que no están previstos. El sitio central con la iglesia quedaría rodeado por vialidades, eliminando la plaza típica, centro de la vida religiosa y ceremonial de este grupo (ver Figura 1).

### 5.2 Planteamiento de la rehabilitación urbana.

La propuesta de rehabilitación urbana buscó identificar los factores de diseño urbano que debían mitigar los cambios en el medio natural y construido. Para esto, se definieron los de índole social, tomando en cuenta usos y costumbres de sus habitantes y evitando un proyecto que no correspondiera a este perfil.

**8** Se aplican algunos conceptos de la certificación LEED-ND pero no se especifica el número de créditos obtenidos porque esto requeriría equipos de especialistas que deben conformar un proyecto para tal objetivo, el cual no es congruente ni con la intención de la propuesta, ni con los recursos disponibles.

**9** Los problemas ambientales en las ciudades se “evidencian en el cambio climático global, destrucción de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad, aumento de la contaminación, escasez y mal uso del agua, degradación de suelos” Quesada, Venzant y Leyva (2011).

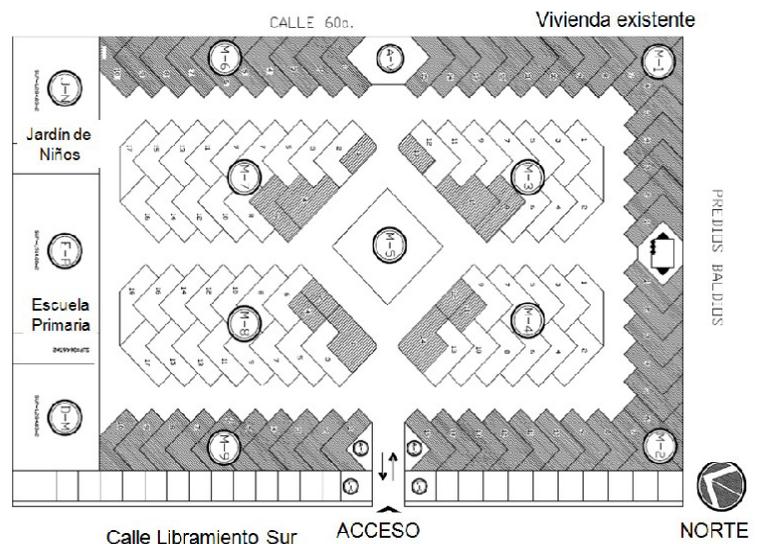


Fig. 1 Plano de la propuesta inicial de la Colonia Tarahumara, imagen del original (s/e).

10 Acción de proyectar o construir considerando la interacción de los elementos del clima con la construcción, a fin de que sea esta misma la que regule los intercambios de materia y energía con el ambiente y determine la sensación de confort térmico en interiores<sup>7</sup> (Morillón, 2005:9).

11 La vulnerabilidad socio-política “se deriva de la pertenencia a un grupo, género, localidad, medio, condición socio-económica, cultura o ambiente” que mantiene a los individuos en situación de fragilidad, injusticia, desprecio, que daña su identidad como personas (Feito, 2007:9).

12 Fenómeno que se refiere al aumento de temperatura dado en zonas muy pobladas, provocado por la densidad poblacional, la falta de áreas verdes y la mayor cantidad de asfalto en calles, que evita que durante la noche se disipe el calor. Se relaciona también, y por ende, con el aumento de urbanización en la ciudad.

En este sentido, las soluciones deben ser integrales desde el inicio y la planeación, la ubicación del emplazamiento, la selección de materiales, el equipo alternativo (solar o eólico), hasta la participación del usuario, que suman uno a uno los beneficios finales. Es decir, se establecen estrategias de diseño que fundamentan la solución de rehabilitación urbana.

1 *Características del medio físico natural:* en base al levantamiento topográfico se identifican las pendientes y escurrimientos de suroeste a noreste -paso fundamental para la rehabilitación- y se consideran vientos dominantes y la mejor orientación de los lotes o predios, privilegiando los sistemas pasivos bioclimáticos<sup>10</sup>.

2 *Aspectos relacionados con usos, costumbres y actividades sociales de la comunidad tarámurí:* La organización de la Colonia está determinada por los usos y costumbres de los tarámuris; las propietarias mujeres, nombran a la “gobernadora”, aspecto *sui generis* de este proyecto. Las actividades de los residentes son variadas y dependen de su vinculación con la ciudad.

Así, se dedican a la construcción, al comercio, trabajan en los huertos de manzana y algunos producen artesanía y vestimentas propias dentro de sus hogares. Se mantiene una relación armónica entre sus costumbres y la vida en la ciudad. Sin embargo, se busca aquí priorizar las actividades que favorecen la convivencia, las ceremonias, competencias o caminatas de un grupo étnico que valora su estilo de vida y su cosmovisión, principal estrategia de la rehabilitación urbana. Esto significa recuperar áreas para la plaza central y sitios de convivencia<sup>11</sup>.

3 *Análisis de la infraestructura:* La organización social de la Colonia permite administrar recursos de espacios comunes que produzcan ingresos para las necesidades del grupo, de modo que esta iniciativa contempla dejar los locales de comercio sobre la calle, en beneficio común, y además agregar talleres y negocios, áreas para contenedores y composta, áreas de convivencia, de captación pluvial y estacionamiento común.

4 *Alternativas bioclimáticas:* Se busca minimizar el uso de los espacios interiores, haciendo propicio el exterior de la vivienda, basándose en el estilo de vida y costumbres de sus habitantes. Otros factores como la orientación o emplazamiento de los lotes, la incidencia de vientos y sol, la inercia térmica de los materiales, aportan beneficios al ambiente interior de las edificaciones que permiten obtener temperatura neutral o zonas de confort térmico.

La propuesta de rehabilitación nace a partir de los siguientes 4 planteamientos:

1 *Adecuación al medio físico natural:* En base a los planos del sitio, se identificaron las pendientes y escurrimientos superficiales naturales, ya que éstos facilitan la captación pluvial y localización de pozos de absorción, adecuada para el riego de espacios jardineados.

Se propone la protección de vientos utilizando vegetación caducifolia local sobre andadores, para que en verano produzcan sombra y en invierno permitan la captación de radiación en beneficio de las viviendas.

Se privilegia la captación de agua al aumentar las áreas verdes y disminuir la superficie de calles, aspectos que contribuyen a la reducción de la temperatura exterior, evitando el fenómeno de “isla de calor”<sup>12</sup>.

Se desincentiva el uso del automóvil, proponiendo andadores y ciclovías al interior del conjunto, eliminando calles interiores y dejando un estacionamiento común, que podría servir durante el día como área de esparcimiento. Asimismo, se planea una óptima orientación norte-sur de lotes y viviendas, con el fin de lograr al interior soleamiento en invierno y sombra en verano. Además, el emplazamiento de la vivienda no cruza los escurrimientos sino que concuerda con pendientes naturales (ver Figura 2)

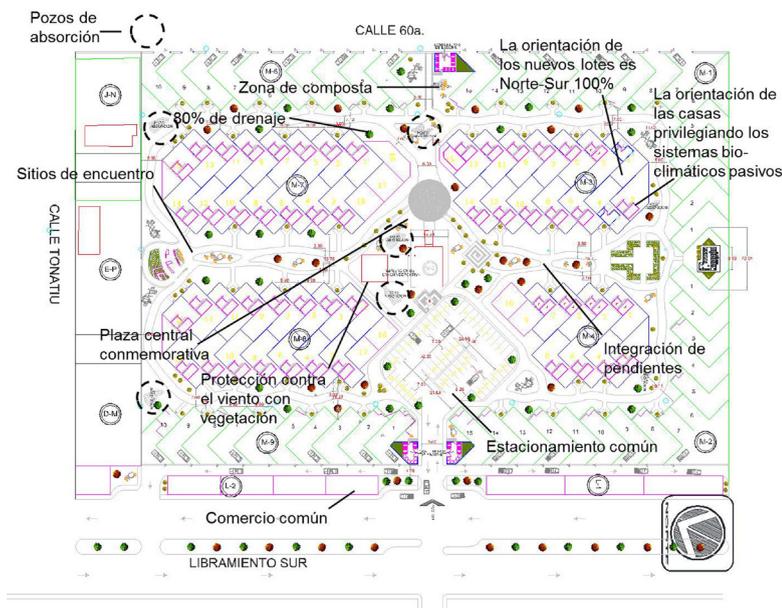


Fig. 2 Propuesta de rehabilitación urbana, imagen del plano original (s/e).

**2 Aspectos relacionados con usos, costumbres y actividades sociales:** En el diseño urbano bioclimático, privilegiar el factor humano como determinante involucra decisiones que favorecen la calidad de vida de los pobladores por encima de otros intereses. Esto implicó que el concepto de colonia urbana priorizara los intereses y costumbres del estilo de vida *rarámuri*.

En este sentido, se prioriza la movilidad a pie o en bicicleta con andadores peatonales y ciclovías, se rescata la Plaza Central, como corazón de la vida comunitaria y centro de reunión de la Colonia, espacio para la iglesia actual, ya que cuenta con atrio y plaza para rituales religiosos. Se jerarquiza la placa fundacional con una explanada conmemorativa y también la cancha de básquetbol completa y multifuncional.

Se incorporan otras dos plazas: norte y sur, como sitios para integrar actividades económicas y de tipo sociocultural, espacios propios de la comunidad. Se consideran lugares de equipamiento infantil, donde los niños juegan seguros en un ambiente apropiado y equipado.

La propuesta intenta, en definitiva, integrar a la concepción de "colonia urbanizada" la de "comunidad", y de ese modo respetar el modo de vida de la comunidad *rarámuri* (ver Figura 2).

**3 Análisis de la infraestructura:** Se establecen diferentes soluciones en la infraestructura que tendrán un impacto en la organización y administración de la misma, y, en algunos casos, beneficios económicos para todos. Entre ellas destacan:

- Administración de espacios comunes, zona comercial comunitaria sobre la calle Libramiento.
- Ubicación de vivienda-taller para negocios y elaboración de artesanía que respondan a la demanda de visitantes o turistas.
- Producción de composta, contando con la zona adecuada.
- Contenedores de reciclaje para obtener ingresos adicionales.
- Captación de agua de reuso para el riego (ver Figura 2).

Este análisis se lleva a cabo desde el supuesto de que el crecimiento económico no debe causar contaminación ambiental en el términos regionales ni globales (Gligo, 1989), por lo tanto, se busca que el aprovechamiento de recursos naturales esté en función de la preservación del medio ambiente.

**4 Alternativas bioclimáticas.**

Las soluciones que se definen son:

- Viviendas bien orientadas, con techos menos insolados, con materiales adecuados (adobe y madera); soluciones adaptadas a las condicionantes climáticas, espacios bien iluminados y ventilados.

•Espacio urbano con áreas verdes y movilidad a pie o en bicicleta, evitando el uso del automóvil, recuperando el espacio exterior y evitando el uso de la vivienda (ver Figura 2).

## 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las diferencias o prioridades que se asignan a los usos del suelo, la orientación de los lotes y superficies de las cubiertas expuestas a radiación solar, aportan variaciones al impacto climático, debido a que se logra una disminución de superficies radiantes en techos, banquetas y calles. En tal sentido, fue modificada la pendiente en techos, agregados los andadores con vegetación y sustituidas las calles por un estacionamiento común.

En la Tabla 1, se observa que el proyecto inicial como desarrollo habitacional convencional ha destinado el 34.9% de la superficie a pavimentos de vialidades o estacionamiento y el 51.50% al espacio construido de viviendas o locales de negocios. Se carece de áreas verdes, plazas, pozos de captación o andadores peatonales.

Los cambios establecidos en la rehabilitación, por medio de la mejora de la infraestructura social, como plazas, áreas permeables y andadores peatonales, impactan el 35.7% de la superficie del predio, a diferencia del 4.10% que se establecía en la propuesta inicial (ver Tabla 1).

CONCEPTO	PROPUESTA INICIAL	REHABILITACIÓN	PROPUESTA INICIAL	REHABILITACIÓN
	Superficie m <sup>2</sup>	Superficie m <sup>2</sup>	Porcentaje %	Porcentaje %
Vialidad o estacionamiento	14834.62	2541	34.90%	5.90%
Banquetas de Concreto	4027.46	499.5	9.50%	1.20%
Área de Plazas	901	6315.7	2.10%	14.90%
Áreas Verdes	863.01	667.98	2.00%	1.60%
Áreas permeables sin jardín		4247.29		10%
Andadores dentro del predio		4587.05		10.80%
Área de vivienda y locales	21849.28	23616.85	51.50%	55.60%
<b>TOTAL DEL PREDIO</b>	<b>42475.37</b>	<b>42 475.37</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>

Tabla. 1 Evaluación comparativa del uso del suelo del diseño urbano.

### Orientación de las viviendas

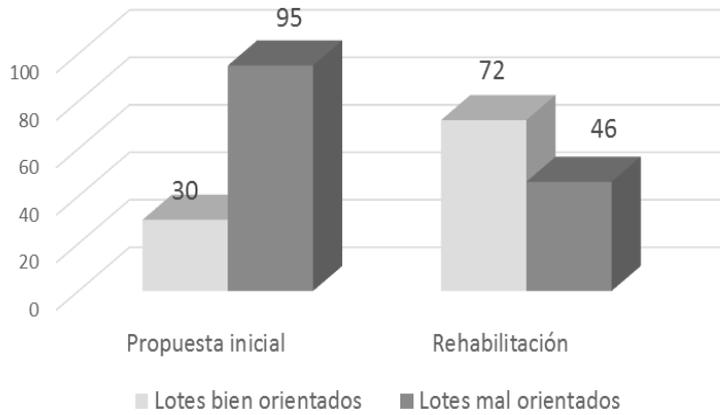


Fig. 3 Comparativa de la orientación del total de viviendas.

### Orientación del techo de las viviendas

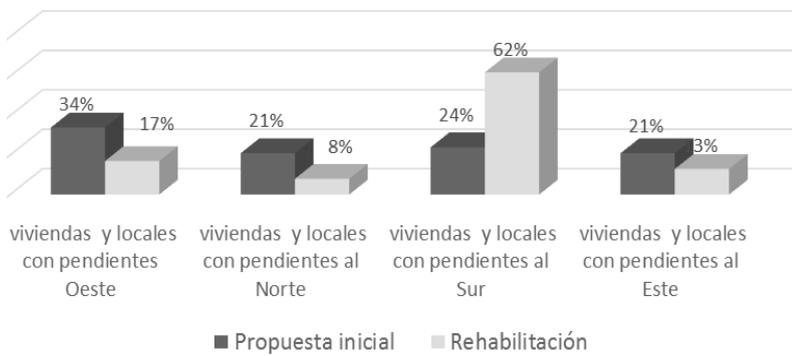


Fig. 4 Soleamiento de las superficies de cubierta en viviendas y locales de la Colonia Tarahumara.

En la Tabla 1, se observa que el proyecto inicial como desarrollo habitacional convencional ha destinado el 34.9% de la superficie a pavimentos de vialidades o estacionamiento y el 51.50% al espacio construido de viviendas o locales de negocios. Se carece de áreas verdes, plazas, pozos de captación o andadores peatonales.

Los cambios establecidos en la rehabilitación, por medio de la mejora de la infraestructura social, como plazas, áreas permeables y andadores peatonales, impactan el 35.7% de la superficie del predio, a diferencia del 4.10% que se establecía en la propuesta inicial (ver Tabla 1).

Otro factor fundamental corresponde a la adecuada orientación de las viviendas. En esta región se recomienda privilegiar la Norte-Sur. En este caso, se contabilizaron todas las viviendas ya construidas y las que corresponden a la rehabilitación. En la Figura 3 se muestra que el 76% de los lotes del proyecto inicial están mal orientados, porcentaje que, según se estima, se mantendría equivalente si se construyeran todas las viviendas con esta propuesta. En cambio, en el planteamiento de rehabilitación se mantendría sólo el 39.3% mal orientado, porcentaje que corresponde, ciertamente, a las viviendas de la primera etapa, ya construidas (ver Figura 3).

En la Figura 4 se evalúan las superficies de cubierta de la vivienda, ya que la incidencia solar en verano de esta superficie exterior impacta en el calentamiento del ambiente. Se advierte que la orientación oeste y este equivale al 29.9% de las construcciones de la propuesta de rehabilitación, a diferencia del 55.2% del proyecto inicial. Es decir, se logra que el 20% mejore las condiciones de soleamiento por medio de los cambios aplicados.



Fig. 5 Vivienda actual fotografía.

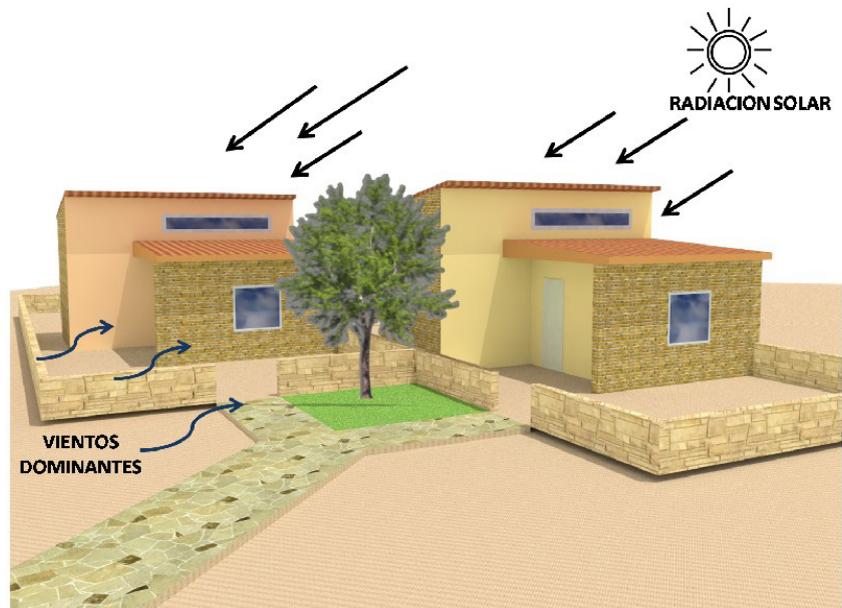


Fig. 6 Propuesta bioclimática de vivienda.

Se propone que los materiales de la edificación fueran propios de la región, como también valorar que la envolvente ofrezca mayor masa térmica (adobe en muros); en el caso de la techumbre de madera, se sugiere instalar plafón. En este sentido, se contempla también una reducción de vanos y superficies con soleamiento en verano (ver Figura 6). La diferencia con la vivienda actual es que fue edificada con materiales de poco valor térmico (block y lámina) y el emplazamiento no ha privilegiado la buena orientación (ver Figura 5).

La sustitución de banquetas y calles por andadores y áreas verdes con vegetación de hoja caduca, es adecuada para la generación de sombreados en verano, con lo cual disminuye la incidencia solar (Peña, 2009). Al revés, en invierno, al decrecer naturalmente la fronda, la medida permite la captación solar y, por lo tanto, aumenta la radiación solar en el ambiente exterior durante el periodo frío (ver Figura 7).

En la Tabla 2 se enlistan los beneficios sociales identificados:

- Incremento de los espacios de reunión o convivencia del 2.10% al 14.9%.
- Incorporación de áreas de andadores que facilitan las competencias y carreras propias de las costumbres del rarámuri.
- El espacio de estacionamiento común como área de esparcimiento alternativo durante el día o en periodo de festividades.
- Se incrementa el área de conservación con vegetación y absorción del 2% al 11.6%, favoreciendo la captación de agua pluvial y la mejora del espacio urbano.
- Se conservan espacios de comercio y talleres con beneficio común o individual, y se reconocen diversas formas de organizarse.

Otras ventajas identificadas son:

- Ambiente seguro de accidentes y niños libres en andadores.
- Lugar sin contaminación por escape de autos o producción de polvo.
- Circulación autos para emergencias de baja velocidad por andador peatonal.
- Bajo costo de urbanización, ya que al evitar la pavimentación se reduce el costo de terrecerías.
- Mayor captación de agua para el riego de áreas verdes, a través de la reducción de la superficie de pavimento.

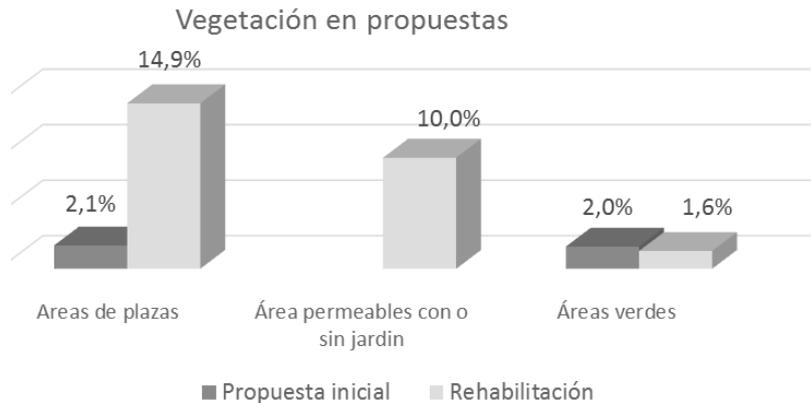


Fig. 7 Porcentaje de vegetación en propuestas.

CONCEPTO	Propuesta inicial	Rehabilitación	Propuesta inicial	Rehabilitación
	Área m <sup>2</sup>	Área m <sup>2</sup>	Porcentaje %	Porcentaje %
Espacios de reunión o convivencia (plazas)	901	6315.7	2.10%	14.90%
Espacios de competencias (áreas de andadores)	0.00	4587.05	0.00	10.80%
Áreas de esparcimiento (alternativo)	0.00	1349.00	0.00	3.20%
Área de conservación (absorción y áreas verdes)	863.01	4915.27	2.00%	11.60%
Áreas de comercio común	2487.41	1333.00	5.80%	3.10%
Lotes de comercio y/o taller	1952	1079.77	4.60%	2.54%

Tabla 2 Resultados de la evaluación comparativa de las ventajas sociales.

## CONCLUSIONES.

La rehabilitación urbana ecológica, en esta propuesta, vincula las características propias de los usos y costumbres de los tarahumaras o tarámuris, quienes conservan aún su lengua, el uso de atuendos y los modos de convivencia como una alternativa a la conformación de barrios.

Desde esta perspectiva, se responde a las variables del desarrollo sustentable, que se evalúan en relación con la estructura social para que los individuos puedan progresar, ya sea con espacios que propicien la convivencia, la organización barrial, o bien, la preservación de sus costumbres.

Los aspectos del área social que se proponen se hallan basados en las posibilidades de conservar los usos y costumbres propios de su cultura, en la preservación de símbolos, uso de artesanías, vestimentas e, incluso, de su lenguaje, de manera de fomentar la opción de conservar sus modelos de organización (gobernadora de la etnia). El proyecto de rehabilitación incluye conceptos del diseño urbano bioclimático mediante una adecuada orientación de los predios, la protección de vientos, las áreas verdes y la captación de la precipitación pluvial, medidas que valoran los beneficios ambientales y la disminución en el efecto de "isla de calor".

De esta forma, se busca considerar el perfil específico de los habitantes de la Colonia Tarahumara, no como modelo de segregación sino como forma de identidad, cuyas características distintivas van de la mano de lo colectivo, las costumbres de convivencia, los rituales religiosos, las actividades al aire libre. Dichos rasgos se rescatan aquí a través de la incorporación de andadores, áreas ceremoniales, recreativas y sociales, que procuran reflejar diversos usos y modos de vivir.

El desarrollo urbano sustentable, en este sentido, no sólo se basa en la identificación de factores del medio físico y en la aplicación de soluciones fundadas en las determinantes del lugar o del diseño del espacio, sino también en las formas de organización social y participación comunitaria, donde sus habitantes conservan valores de identidad y la cosmovisión, en este caso, del tarahumara.

## AGRADECIMIENTOS

Los cuadros y figuras fueron elaborados por el autor en 2010. La representación de las figuras se realizó por Omar Paniagua, estudiante de arquitectura de la UACJ, 2010. La propuesta fue presentada para obtener el financiamiento de la SEDESOL del Estado de Chihuahua por medio de la Fundación Tarahumara y la empresa "La Norteña".

## BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN NACIONAL DE AHORRO DE ENERGÍA, CONAE. Guía de recomendaciones para el ahorro de energía. *Secretaría del medio ambiente del GDF. México* [en línea]. 2010. Consultado 12 mayo 2013. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/prensa/reports/gu-a-de-ahorro-de-energ-a.pdf>

DELGADO, Gian Carlo. Ordenamiento territorial, bioeconómica urbana y pobreza frente al cambio climático. En: DELGADO, Gian Carlo et al. (coords.), *México frente al cambio climático. Retos y oportunidades*. México: Universidad Autónoma de México. Colección el mundo actual, 2010, pp. 111-137.

EAMES, Malcolm; HUNT, Miriam; DIXON, Tim y BRITNELL, Judith. *Retrofit City Futures: Visions for Urban Sustainability* [en línea]. England: Low Carbon Research Institute. Welsh School of Architecture, Cardiff University and Oxford Brookes University. Retrofit 2050 team, 2013. Consultado 3 noviembre 2014. Disponible en: <http://www.retrofit2050.org.uk/sites/default/files/resources/Visionsreportfinal.pdf>

FEITO, Lydia. Vulnerabilidad. En: *An. Sist. Sanit. Navar*. Universidad Rey Juan Carlos. 2007, vol. 30, Suplemento 3, pp. 11-22.

GLIGO, Nicolo. Política, sustentabilidad ambiental y evaluación patrimonial. Extracto revisado del artículo publicado en *Pensamiento Iberoamericano*, 1987, n° 12, Madrid, julio-diciembre, pp. 23-39.

HALEY, Paul. City Living and Urban Retrofitting. *Earth 911, more ideas, less waste* [en línea]. 2009. Consultado 2 noviembre 2014. Disponible en: <http://www.earth911.com/home/family/city-living-and-urban-retrofitting/>

HERNÁNDEZ AJÁ, Agustín. La ciudad Estructurada. *Textos sobre sustentabilidad. Revista Cuadernos de Investigación Urbanística-ETSA*, n° 42. España: Universidad Politécnica de Madrid, 2000.

HERNÁNDEZ AJÁ, Agustín. Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *INVI* (Chile), 2009, n° 65, vol. 24, pp. 79-111.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). *Cuaderno estadístico municipal, Cuauhtémoc, Chihuahua*. México: INEGI, 2001.

IVI-ECH. *Programa Institucional de Vivienda 2004-2010*. México: Instituto de la Vivienda del Estado de Chihuahua, 2005.

LOERA DE LA ROSA, Manuel. Expansión y estancamiento demográfico. En: OROZCO, Vitor (ed.), Chihuahua. *Visiones de su Historia, economía, política y cultura*. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2003.

LUNA, Georgina. Los hombres de los pies alados.

*Mexicodesconocido.com*. [en línea] 2010. Consultado 11 junio 2011. Disponible en: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/6297>.

MORILLÓN, David. Diseño Bioclimático. *Asociación Peruana Nacional de Energía Solar y del Ambiente* [en línea]. 2005, Power point en pdf, Consultado 10 junio 2014. Disponible en: [http://perusolar.org/16-spes-cursosytalleres/AB\\_CAP4\\_diseno\\_bioclimatico\\_davidmorillon.pdf](http://perusolar.org/16-spes-cursosytalleres/AB_CAP4_diseno_bioclimatico_davidmorillon.pdf)

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU). Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible Johannesburgo (Sudáfrica). 26 de agosto a 4 de septiembre [en línea]. *Organización de Naciones Unidas*. Disponible en: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N02/636/96/PDF/N0263696.pdf?OpenElement>

PEÑA, Leticia. Sistemas pasivos y activos para espacios urbanos bioclimáticos en la zona árida y semiárida del país. En: Asociación Nacional de Energía Solar: *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar*. Guadalajara, México, 2009.

PEÑA, Leticia. Urbanismo y medio ambiente. En: OROZCO, Víctor (coord.). *Chihuahua Hoy 2010. Visiones de su historia, economía, política y cultura*. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto Chihuahuense de la Cultura, 2010, pp. 167-190.

QUESADA, María Elena; VENZANT, Loida y LEYVA, Carmen. El mapa verde como herramienta para el mejoramiento ambiental del campus universitario. *Revista Ámbito Arquitectónico* (Universidad de Sotovento, Veracruz), mayo 2011, año XI, n° 20, pp. 44-45.