



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# SIMULACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO Y EDIFICACIÓN: EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA APLICADA A UN PROGRAMA HABITACIONAL EN MONTEVIDEO<sup>1</sup>

LÓPEZ SALGADO, María Noel (1); PICCIÓN, Alicia (2)

(1) Udelar, FADU, IC, DECCA e-mail: marialop@farq.edu.uy (2) Udelar, FADU, IC, DECCA apiccion@farq.edu.uy

### RESUMO

En Uruguay, desde 2012 existe la obligatoriedad de incorporar criterios de sustentabilidad ambiental en programas públicos de vivienda. El objetivo de este artículo fue, cuantificar estrategias de diseño, en el marco de cambio climático en función de los costos económicos asociados al diseño arquitectónico, a partir de consumos energéticos. Se simularon con Energy Plus modelos de viviendas con distintos diseños para los escenarios de emisiones A2 y B2 para 2020 y 2050. Debido a las previsiones de aumento de temperatura de bulbo seco, las construcciones ambientalmente sostenibles serán las que manejen estrategias de diseño para: período caluroso (protecciones solares en cerramientos vidriados, sombreado y ventilación natural) y frío (bajas transmitancia térmica de la envolvente y control de infiltraciones), siendo el manejo de los flujos de energía en el tiempo fundamental debido al aumento de eventos extremos. Las estrategias de diseño más ambientalmente sostenibles (ventilación natural, protecciones solares y masa térmica aislada), suponen una inversión inicial mayor, pero amortizable en cinco años.

**Palavras-chave:** Simulación. Vivienda. Cambio climático.

### ABSTRACT

*Since 2012 in Uruguay, there is an obligation to incorporate environmental sustainability criteria in public housing programs. The aim of this article was to quantify design strategies in the context of climate change, in terms of the economic costs associated with architectural design, from energy consumption. They were simulated with Energy Plus models of houses with different designs for scenarios A2 and B2 emissions, by 2020 and 2050. Due to the expected increase of dry bulb temperatures, environmentally sustainable buildings will be those that manage design strategies for: hot period (sunscreens in glass enclosures, shading and natural ventilation) and cold period (low thermal transmittance of the envelope and seepage control), the management of energy flows in the critical time, due to the increase in extreme events. Strategies for more environmentally sustainable design (natural ventilation, solar shading and thermal mass isolated), pose a greater initial investment, but they should amortized over a five years period.*

**Keywords:** Simulation. Housing. Climate change.

---

<sup>1</sup> LÓPEZ SALGADO, María Noel; PICCIÓN, Alicia. Simulación cambio climático y edificación: evaluación ambiental estratégica aplicada a un programa habitacional en Montevideo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta una parte del trabajo de tesis de maestría referido al instrumento de planificación denominado Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), su aplicación al programa de viviendas 'Precio, Proyecto y Terreno' (PPT), desarrollado por el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), en el área metropolitana de Montevideo, en la década del 90, a partir del análisis de alternativas de diseño por simulación. Pretende brindar a los decisores, presentando los costos económicos y energéticos asociados al diseño arquitectónico.

### 1.1. Evaluación Ambiental Estratégica

La EAE consiste en un proceso formal, sistemático y global para evaluar las posibles repercusiones ambientales de las propuestas de políticas, planes y programas durante su proceso de elaboración. Se parte de la EAE aplicada al programa habitacional: Precio, Proyecto y Terreno, aportando datos fundamentalmente para el modelo de evaluación. Luego de determinar los indicadores se concluyó que refieren básicamente al entorno, siendo algunos de ellos muy globales y sin diferencias significativas. Por este motivo es que se entiende fundamental analizar las estrategias bioclimáticas aplicadas en cada uno de los conjuntos.

### 1.2. Cambio climático y edificación

"Cambio climático" es un cambio en el clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural, observada durante periodos de tiempo comparables (ICC, 2001).

La relación entre clima y confort (De Dear et al, 2002) está largamente estudiada, pero es fundamental conocer las tendencias climáticas esperables.

La comunidad científica internacional describe las variaciones climáticas que, con cierta probabilidad, pueden ocurrir bajo diversas hipótesis de evolución socio-económica global, como **escenarios climáticos**. Son descripciones de realidades posibles bajo diferentes senderos de desarrollo e incertidumbres de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los escenarios son: **A1: globalización, énfasis en riqueza humana:** Globalizado, intensivo; **A2: regionalización, énfasis en riqueza humana:** Regional, intensivo; **B1: globalización, énfasis en la sostenibilidad ambiental y equidad:** Globalizado, extensivo (desarrollo sostenible) y **B2: regionalización, con énfasis en sostenibilidad y equidad:** Regional, extensivo. En el escenario con mayor reducción de emisiones (B1) el intervalo probable de dicho aumento es entre 1,1 y 2,9 °C, siendo la estimación óptima 1,8 °C y para el escenario con mayores emisiones futuras (A2) el intervalo probable es 2,0 a 5,4 °C y la estimación óptima 3,4 °C" (MVOTMA, 2010.)

Cuando se comienza a pensar en lo local: Uruguay, área metropolitana, aumenta la incertidumbre, a los efectos de pensar en planificación de territorio y diseño es sumamente importante tener una idea de hacia dónde se dirige el clima porque impactara en el confort de los usuarios.

En el sudeste de América, que incluye al territorio uruguayo, la evolución de la temperatura media anual en el periodo 1901 al 1995 muestra una tendencia creciente en el período, configurando un crecimiento de las temperaturas medias anuales de, aproximadamente, 0.3°C, en el sur del Uruguay, durante el último siglo (Bidegain et al., 2005). En los últimos 50 años hubo un aumento en las temperaturas mínimas absolutas, evidenciando un enfriamiento de la época cálida del año, junto con un calentamiento en la época fría (Rusticucci y Renom, 2008). Los modelos climáticos proyectan un aumento de temperatura media entre 2 a 3 °C para nuestra región (Bidegain, 2005). Los demás parámetros no se analizan por las dificultades de incorporarlos en la simulación y los errores asociados.

A los escenarios hay que incorporarles además las tendencias socioeconómicas. Estas constituyen un conjunto de variables, que describen el estado y tamaño de una sociedad en el futuro, y que toma como base el Modelo de Insumo Producto, herramienta que permite evaluar las interrelaciones e interdependencias existentes entre los diferentes sectores productivos de una economía (Barrenechea, 2009).

El escenario **B2** presentaría una menor dinámica, restricciones al comercio y cierto cuidado de los recursos naturales y el ambiente, con menor aumento de temperatura y variabilidad de precipitaciones y, en síntesis, menor calentamiento global. En cambio, el **A2 es un escenario intermedio**, por su dinámica y uso de recursos naturales, acceso a los mercados internacionales y desarrollo del modelo agroexportador, con alguna intervención para impulsar sectores con alto contenido tecnológico. Las "tasas de crecimiento del 3,7% anual al 2030, por la influencia de las grandes inversiones y expansión agrícola y forestal, que se desaceleran y reducen al 2,1% anual, al final del horizonte de prognosis en el Escenario A2, mientras que se ubican en 2,3% y 1,4%, respectivamente, en el Escenario B2" (Barrenechea, 2010).

### 1.3 Programa Habitacional: precio proyecto terreno , PPT

Se construyeron más de 4000 viviendas, unos 85 conjuntos habitacionales por este programa. En los PPT, el Estado decide, en primer instancia, las posibles localizaciones, pero para la elección de un proyecto es el menor precio el que prima. Se definieron cuatro tipos edificatorios básicos que reúnen parámetros energéticos diferenciados: torre (edificios de más de 4 pisos con ascensor, donde predomina la altura sobre las demás dimensiones); torre tira (edificios de más de 4 pisos con ascensor en donde la altura y la longitud predominan); y viviendas individuales aisladas. Los tipos edificatorios tienen el siguiente porcentaje de representación: Torre (96%); Torre-tira(2%) ; individual-aislada (2%). Como se desprende de los porcentajes el tipo torre, tiene mayor representatividad en la producción de viviendas de esta década, presenta

un porcentaje de huecos cercano al 40%, siendo la orientación predominante de los conjuntos la NO. La vivienda individual y la torre tira fueron desechadas como tipo por su baja representatividad. La tipo torre tiene dos dormitorios, un estar, un baño y una cocina

A su vez, dentro de los tipos se definen dos tipologías de vivienda que corresponden a: apartamentos mono-orientados y apartamentos doblemente orientados. Se tomaron los datos climáticos (temperatura interior en estares y dormitorios y temperatura exterior y humedad relativa exterior e interior) de las tipologías edilicias más representativas así como la evaluación de consumo de energía en climatización, tomando los datos del proyecto de Pautas de diseño bioclimáticas para un clima complejo (Picción, et al, 2008).

## 2 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### 2.1 Definiciones de bases climáticas: definición del escenario 0: 2010 y de los escenarios 2020 y 2030.

Se analizaron las **bases climáticas** de: la Dirección Nacional de Meteorología (DNM) y del Programa de simulación Energy Plus, pero se descartó la base climática de este último, por no disponer de datos del área metropolitana de Montevideo (valores horarios de la variable climática: temperatura, humedad relativa, etc ). Manejar los datos del programa solo de Montevideo no es coherente con la concepción teórica que se propone. Por lo tanto se trabaja con las medias del período caluroso y del período frío a la que se le suma las variaciones proyectadas para los distintos escenarios de acuerdo a Belcher et al 2015.

Se recopilaron los datos climáticos para la ciudad de Montevideo, a partir de las normales meteorológicas de la DNM. Estos conformaron la base de datos ambientales del año "0", que de ahora en más, para este artículo, corresponde al año 2010. Posteriormente se seleccionaron los escenarios de emisiones: A2 y B2 (IPCC 2001), de acuerdo al mayor o menor compromiso ambiental de la sociedad y desarrollo económico.

### 2.2 Determinación de la muestra y modelos de simulación

En el período de estudio se construyó por este programa habitacional 4485 viviendas; es decir, un total de 85 conjuntos. Se partió de la selección realizada por estudios previos (Picción, et al, 2008).

De la muestra original del trabajo de investigación *op cit*, para este artículo se tomó en consideración los **75 conjuntos de Montevideo, constituyendo un total de 2382 viviendas**. Se definieron cuatro tipos edificatorios básicos y se eligió el tipo torre.

Se estratificó la muestra aleatoriamente, a fin de que los elementos muestrales, o unidad de análisis, posean un determinado atributo; en este caso, proyectos con tipologías en torre. La **asignación es proporcional al**

**tamaño del estrato** en la población total; para un nivel de confianza del 90%, y un error de  $\pm 10\%$ , se eligieron 6 edificios de tipo torre (ver figura 1). se ajustó el modelo físico con los datos medidos para el año 0. A partir de los modelos ajustados es posible prever el comportamiento térmico.

Figura 1. Edificios seleccionados para edificio en altura.



Fuente: Modificado de Picción et al, 2008

A partir de la sistematización y el análisis de la tipología torre reales, se confeccionan dos modelos: uno simplemente orientado y otro doblemente orientado (Picción, et al, 2008). El “modelo” es una simplificación energéticamente ponderada de la tipología torre, que se introduce en el programa. Se plantean para la simulación cuatro variantes del mismo: doblemente orientado (posee por lo menos dos paredes expuestas al exterior); simplemente orientado (tiene una pared expuesta al exterior, ver figura 2) y los denominados modelos ideales (doblemente y simplemente orientados).

Los modelos ideales son aquellos a los que se le aplicaron las estrategias de diseño, con criterios ajustados para lograr los menores consumos de energía eléctrica asociados, para el año base. Según Picción et al 2008, estos son:.

Modelo ideal doblemente orientado (MID1-DO)

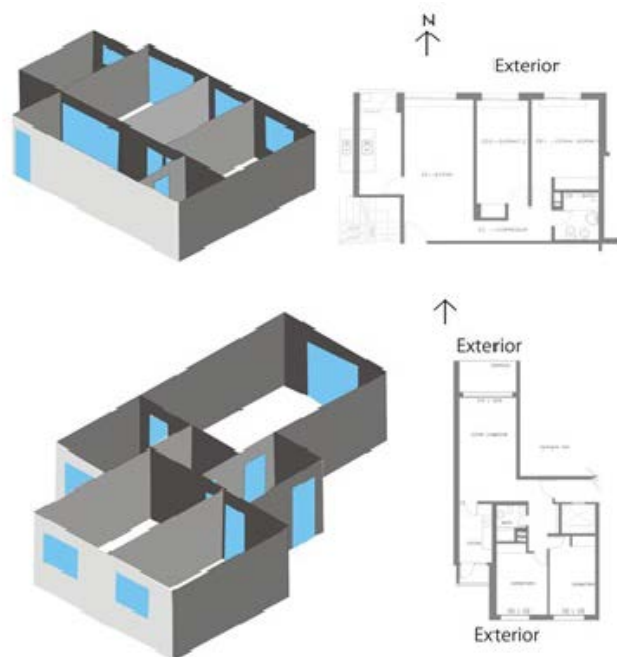
- 1- **Porcentaje de área de huecos: 30%** - se considera área de cerramiento vidriado / área de fachada total \*100.
- 2- **Transmitancia térmica del cerramiento vidriado:** doble vidriado hermético -  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.77.
- 3- **Transmitancia térmica del cerramiento opaco:** para una masa  $M= 400 \text{ Kg/m}^2$  -  $U= 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 4- **Orientación solar:** Norte, para mayor porcentaje de área de la vivienda.
- 5- **Color exterior de la fachada:** oscuro, absorptancia  $\alpha=0.90$
- 6- **Protección solar:** Exterior móvil, activada automáticamente a los  $25^\circ\text{C}$ .
- 7- **Área expuesta:** piso intermedio (no techo, ni piso expuesto)
- 8- **Densidad de ocupación:** alta ( $12\text{KWh/m}^2$ )
- 9- **Uso:** ocupación de 12 hs, de lunes a viernes, y 24 hs fines de semanas.

Para el modelo ideal simplemente orientado(MID2 –SO) las estrategias son:

1. **Porcentaje de área de huecos: 30% a 40%**
2. **Transmitancia térmica del cerramiento vidriado:** doble vidriado hermético -  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.76.
3. **Transmitancia térmica del cerramiento opaco:** para una masa  $M= 400 \text{ Kg/m}^2$  -  $U= 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. **Orientación solar:** Norte, para mayor porcentaje de área de la vivienda
5. **Color exterior de la fachada:** oscuro, absorptancia=0.9

6. **Protección solar:** Exterior móvil, activada automáticamente a los 25°C.
7. **Área expuesta:** piso intermedio (no techo, ni piso expuesto)
8. **Densidad de ocupación espacio:** baja (6Kwh/m<sup>2</sup>)
9. **Uso:** ocupación de 12 hs, de lunes a viernes, y 24 hs fines de semanas.

Figura 2. Modelos de simulación: simplemente orientado (superior) y doblemente orientado (inferior)



Fuente: Picción, et al 2008

### 2.3 Simulación de modelos para los escenarios: base, y escenarios climáticos del ICC A2 y B2, para los años 2020 y 2050,

Para simular los distintos modelos es necesario generar las bases. Se parte de las características climáticas actuales (2010, se considera año base). Para estos se analizaron dos bases de datos: 1. Dirección Nacional de Meteorológica, de acuerdo a las Normales climáticas del 1961-1990, que son los del último periodo de referencia, a nivel internacional disponible; 2. Base meteorológica del Programa de Simulación Energy Plus.

Según la clasificación climática (Köppen, 1936), a Uruguay le corresponde la nomenclatura Cfa; C por ser templado húmedo; f, debido a que tiene precipitaciones durante todo el año; a, porque la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. Esta investigación toma como referencia al área metropolitana de Montevideo. Según la norma de Zonificación Climática (UNIT, 1999), se divide en tres zonas climáticas al Uruguay, a saber: Zona II b, Cálida, Zona III b, Templada cálida y Zona IV, Templada fría. Para establecer las características climáticas locales del área de estudio se consideró las Normales Climatológicas de Uruguay de 1961-1990 (DNM, 1996), para las estaciones meteorológicas de Prado y Carrasco, por ser estas las más próximas a la ubicación de los casos estudiados. Si bien es importante la

variabilidad climática para analizar el clima de Montevideo, esta característica está representada, en parte, por la amplitud térmica diaria y anual que presenta el clima. Montevideo se localiza en la zona sur del país, en la latitud  $-34^{\circ}50'$ , la longitud  $56^{\circ}12'W$  y la altitud es de 16.27 m, sobre el nivel del mar.

Tabla 1. Datos del clima del área metropolitana, para base 0

<b>Área metropolitana de Montevideo</b>		
	<b>p.caluroso:</b> <i>dic, ene, feb y mar</i>	<b>p.frio:</b> <i>abr, may, jun, jul, ago, set, oct, nov</i>
<b>TMED</b>	21.8	14.0
<b>TX</b>	38.9	31.3
<b>TN</b>	9.2	1.3
<b>TXM</b>	26.8	18.3
<b>TNM</b>	17.1	9.8
<b>HR</b>	69.9	76.4
<b>P</b>	1012	1017
<b>HS</b>	262.1	186.2
<b>PV</b>	18.2	12.3
<b>VEL</b>	4.9	4.6
<b>RR</b>	93.1	90.9
<b>FRR</b>	6.3	6.6

Fuente: Modificado DNM, 1996

TMED= temperatura media mensual ( $^{\circ}C$ )

P=presión atmosférica (hPa)

TX=temperatura máxima absoluta mensual ( $^{\circ}C$ )

HS=tiempo insolación directa, acumulada por mes (hs)

TN=temperatura mínima absoluta ( $^{\circ}C$ )

PV=presión de vapor, media mensual (hPa)

TXM= temperatura máxima media ( $^{\circ}C$ )

V=velocidad del viento horizontal, media mensual (m/s)

TNM= temperatura mínima media ( $^{\circ}C$ )

RR=precipitaciones acumuladas por mes, media mensual (mm)

HR= humedad relativa media mensual (%)

FRR=días con precipitaciones mayores o igual a 1mm

La tabla 1 muestra la síntesis de los datos ambientales correspondientes al área metropolitana de Montevideo. Si se considera que el rango de confort térmico para Montevideo sería de 18 a  $24^{\circ}C$ , para invierno, y 20 a  $27^{\circ}C$ , para verano, se puede observar que las temperaturas medias exteriores que más se alejan de estos rangos, son la que corresponden al período frío .

Paralelamente se analiza la base climática del programa de simulación computacional Energy Plus, tomando un día representativo del período frío y otro, del caluroso. Pero estos datos no son posibles de compararlos con los datos de la base de la DNM porque son solo para Montevideo, por lo que se descarta su utilización. Se elige al Energy Plus 2.0.0, por ser un software, reconocido ampliamente; además, de tener antecedentes en la evaluación de edificaciones en contexto de cambio climático (Jentsch et al, 2008). Es un programa de simulación térmica y energética de edificios desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos), que trabaja en régimen

dinámico y permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de la envolvente del edificio.

El programa puede tomar como base climática de simulación, el año entero, o seleccionar un día de diseño representativo de cada época del año. Debido a la escasez e incertidumbre de datos que se cuenta, se optó por esta última opción. Se selecciona el día más cálido y más frío de la base climática y se lo presenta en tabla 2. Se sistematizan, además, los parámetros que se requieren para construir la base climática.

Los escenarios que se simularan son los definidos por el IPCC (2001): el A2 (2020 y 2050), que supone una alta producción de gases de efecto invernadero y con un fuerte desarrollo en bloques regionales; y el B2 (2020 y 2050), que supone una emisión más moderada de gases de efecto invernadero y con una fuerte interacción comercial regional.

Se observan diferencias entre los modelos, aunque todos muestran una sobreestimación de la temperatura media anual, en la mayor parte de la región analizada (Camilloni y Bidegain, 2005). La temperatura anual puede subir, para el 2020, entre 0.2 y 1.0°C y hasta 2.0°C, por el 2050, en el escenario A2. Para el escenario B2 se estima un aumento de entre +0.2 y 0.9 °C, para el 2020, y 1.0°C y 1.6°C, para el 2050 (Camilloni y Bidegain, 2005). Utilizando técnicas de reducción de escala espacial ("downscaling") estadística, aumentando la incertidumbre de las proyecciones, Bidegain (2010), establece las consideraciones de simulación a la escala del área metropolitana de Montevideo (tabla 2). Belcher et al (2005) han desarrollado una metodología para la transformación de datos climáticos para los escenarios del cambio climático. La metodología básica subyacente para el nuevo archivo consta de tres algoritmos diferentes, dependiendo del parámetro a cambiar:

$$x=x_0 +\Delta x_m \quad (1)$$

donde, x es el valor que toma la variable en el clima futuro,  $x_0$  es el valor original, o valor presente, y  $\Delta x_m$  es el cambio absoluto mensual que toma la variable.

En el caso del área metropolitana de Montevideo no se dispone de valores horarios de la variable climática. en condiciones de cambio climático. Por los niveles de precisión se trabaja con las medias del período caluroso y del período frío, a la que se le suma las variaciones proyectadas para los distintos escenarios (ver tabla 2). Para la construcción de la base climática del año 0, se tomaron las temperaturas máximas y mínimas diarias absolutas de la DNM, para el período frío y caluroso, para Prado y Carrasco. Para los escenarios A2 e B2, en los horizontes 2020 y 2050, se le sumó al valor que toma la variable temperatura, en el año 0, un  $\Delta x_m$ , que es el incremento de temperatura y precipitaciones, de acuerdo a la tabla 2, a partir de predicciones de Bidegain (2010 op cit).



Tabla 2. Condiciones de simulación para los distintos escenarios.

		Carrasco				Prado			
Datos que se tomaron para ingresar de acuerdo estadísticas climatológicas		2020	2020	2050	2050	2020	2020	2050	2050
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
verano	Temperatura máxima absoluta(tx periodo)	39.51	39.52	40.22	40.13	39.64	39.65	40.34	40.25
	temperatura máxima media menos temperatura mínima media ((txm - tnm) periodo)	9.45	9.45	9.45	9.45	10.03	10.03	10.03	10.03
	HR en realción a temp. Tx	71	71	71	71	69	69	69	69
	Presión media mensual (P periodo)	1012.2	1012.2	1012.2	1012.2	1012.1	1012.1	1012.1	1012.1
	velocidad del viento horizontal media mensual periodo	5.85	5.85	5.85	5.85	5.65	5.65	5.65	5.65
	dirección de viento predominante diciembre	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º	ESE - 135º
	frecuencia de días con precipitaciones en diciembre (FRR)	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60
	precipitaciones (PRR) mm	3.08	3.08	3.16	3.10	3.08	3.08	3.16	3.10
	Temperatura mínima absoluta (tn periodo)	3.34	3.34	3.94	3.86	0.49	0.49	1.08	1.01
	temperatura máxima media menos temperatura mínima media ((txm - tnm) periodo)	8.76	8.76	8.76	8.76	8.26	8.26	8.26	8.26
invierno	HR en realción a temp. Tx	57.00	57.00	57.00	57.00	63.00	63.00	63.00	63.00
	Presión media mensual (P periodo)	1016.69	1016.69	1016.69	1016.69	1016.46	1016.46	1016.46	1016.46
	velocidad del viento horizontal media mensual periodo	3.85	3.85	3.85	3.85	3.64	3.64	3.64	3.64
	dirección de viento predominante periodo	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º	NE - 45º
	frecuencia de días con precipitaciones en periodo (FRR)	6.20	6.20	6.20	6.20	6.50	6.50	6.50	6.50
	precipitaciones (PRR)	3.23	3.20	3.31	3.25	3.31	3.31	3.31	3.31

Fuente: Elaboración personal

## 2.4 Estudio de metodologías de evaluación de costos y cuantificación social y económica

Se cuantificaron las variantes de diseño para los modelos, a partir de la cuantificación de la mitigación de gases GEI e intensidad energética. Se cuantificaron económicamente las modificaciones de un determinado diseño arquitectónico. Para los análisis económicos (Carlo, 2009; Barrenechea, 2009) se elige: las medidas de conservación de energía (MCE), ecuación 2.

$$CEC = (TCC / \Delta E) \cdot \left\{ d / [1 - (1 + d)^{-n}] \right\} \quad (2)$$

donde,

TCC = costo total de la MCE (\$);

$\Delta E$  = energía economizada (MWh);

N = vida útil de la MCE (años);

D = tasa de descuento (adimensional).

## 3 RESULTADOS

La simulación mediante el programa Energy Plus 2.0.0, de los modelos tipológicos (simplemente orientado, doblemente orientados e ideales) y los escenarios previamente establecidos, determinó la intensidad energética (kWh/m<sup>2</sup>). Es decir, el consumo de energía eléctrica por área, para mantener un rango de confort térmico de 18°C a 27°C (tabla 3). Este rango se toma a partir de antecedentes de investigación donde se determinó el rango de confort térmico para Montevideo, Picción et al (2010). Si se gráfica el

consumo de energía para refrigeración se observa que todos los modelos tendrán un aumento en el mismo, para los distintos escenarios. Este crecimiento presenta una pendiente positiva, en todos los modelos (tabla 3).

Tabla 3. Matriz de simulaciones período caluroso

*Matriz de simulaciones - PERIODO CALUROSO*

escenarios		base			A2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración
Modelos de vivienda	Unilateral	11.1	11.3	11.2	12.0	12.1	12.1	12.9	13.0	13.0
	Doblemente orientado	10.1	10.3	10.2	10.9	11.1	11.0	11.8	11.9	11.8
	Modelo ideal unilateral	8.6	8.7	8.7	9.4	9.5	9.4	10.2	10.3	10.2
	Modelo ideal doblemente orientado	8.9	9.0	8.9	9.5	9.7	9.6	10.4	10.5	10.5

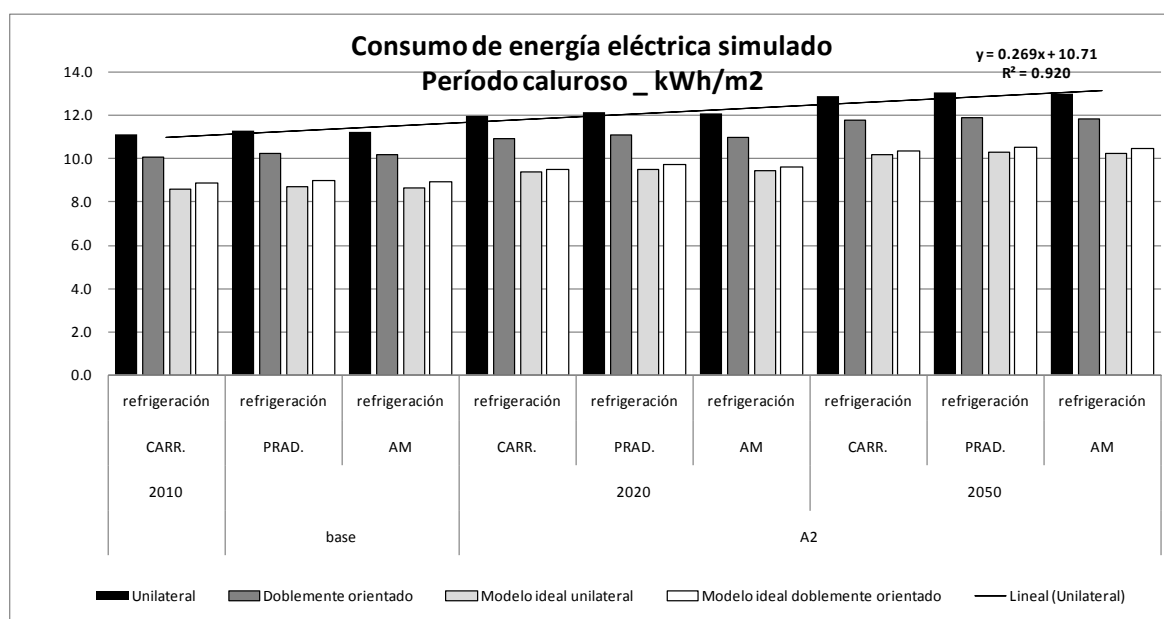
escenarios		base			B2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración
Modelos de vivienda	Unilateral	11.1	11.3	11.2	12.0	12.2	12.1	12.8	12.9	12.8
	Doblemente orientado	10.1	10.3	10.2	10.9	11.1	11.0	11.7	11.8	11.7
	Modelo ideal unilateral	8.6	8.7	8.7	9.4	9.5	9.5	10.1	10.2	10.1
	Modelo ideal doblemente orientado	8.9	9.0	8.9	9.6	9.8	9.7	10.3	10.4	10.4

Fuente Elaboración personal

Para todos los modelos se observa un incremento ascendente en el consumo de energía para refrigeración, que es coherente con el aumento de las temperaturas exteriores. Para el escenario A2, un modelo unilateral se pasa de 11.2 kWh/m<sup>2</sup>, para escenario base; a 13 kWh/m<sup>2</sup>, para el A2 2050. Para los modelos ideales, en todos los escenarios, tienen menos consumo de energía y, por ende, menores emisiones que los otros modelos tipológicos por su diseño ajustado.

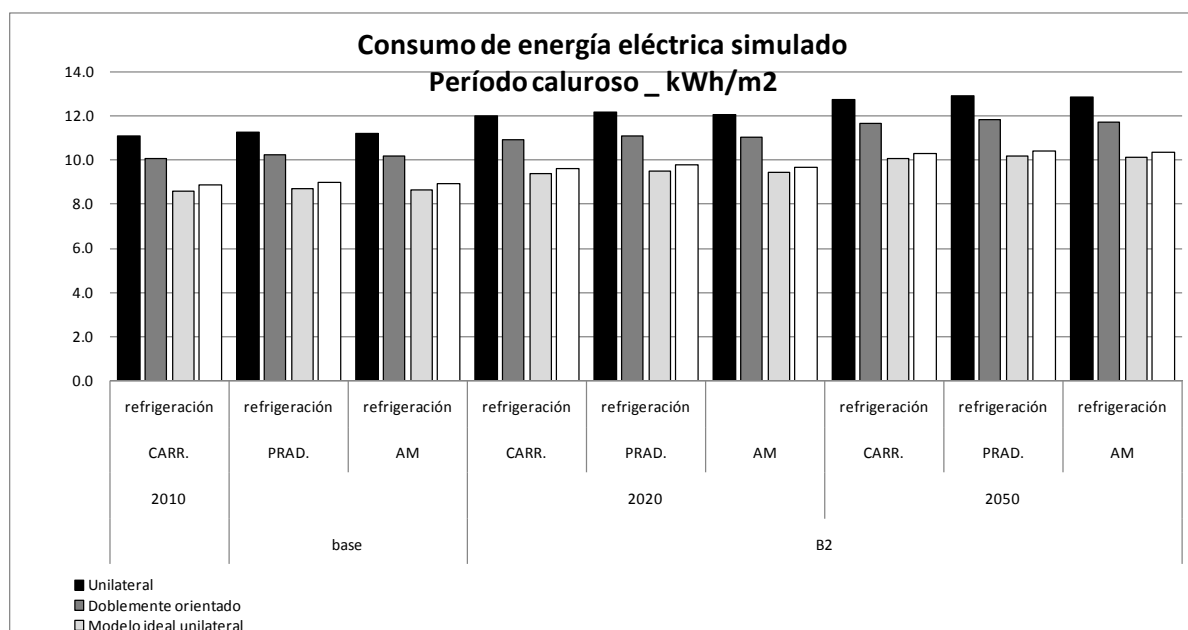
Para A2 y B2 (figuras 3 y 4), no hay diferencias significativas en los consumos por modelo tipológico y el incremento en el consumo de energía en refrigeración, en 40 años, sería promedialmente de 1.2 kWh/m<sup>2</sup>.

Figura 3. Consumo de energía en refrigeración escenario A2



Fuente: Elaboración personal

Figura 4. Consumo de energía en refrigeración escenario B2



Fuente: Elaboración personal

Tabla 4. Matriz de producción de TonCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/kWh período caluroso

Matriz de simulaciones

Producción de CO<sub>2</sub> en ton cada 100 m<sup>2</sup> /kWh

escenarios		base			A2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración
Modelos de vivienda	Unilateral	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Doblemente orientado	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
	Modelo ideal unilateral	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
	Modelo ideal doblemente orientado	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

escenarios		base			B2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración	refrigeración
Modelos de vivienda	Unilateral	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Doblemente orientado	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
	Modelo ideal unilateral	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
	Modelo ideal doblemente orientado	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

Nota: Para el cálculo de la reducción de emisiones se trabajó con un factor de conversión de 0,575 ton CO<sub>2</sub>/MWh. Este factor se ha utilizado como referencias para los más recientes proyectos MDL desarrollados en Uruguay.  
Fuente informe proyecto EE abril, 2010

Fuente: Elaboración personal

En lo que refiere al vínculo entre consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, en la tabla 4 se observa que los GEI, para una vivienda, son básicamente no significativas, pero, si se considera todo el parque habitacional, comienza a pesar.

Tabla 1. Matriz simulaciones de energía período frío.

escenarios		base			A2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción
Modelos de vivienda	Unilateral	13.1	13.1	13.1	10.7	12.7	11.7	10.7	12.7	11.6
	Doblemente orientado	10.9	12.8	11.9	10.5	13.3	11.9	10.5	12.4	11.0
	Modelo ideal unilateral	11.1	11.8	11.5	9.6	11.5	10.5	9.6	11.5	10.2
	Modelo ideal doblemente orientado	10.0	11.8	10.9	9.7	11.4	10.5	9.5	10.9	9.5

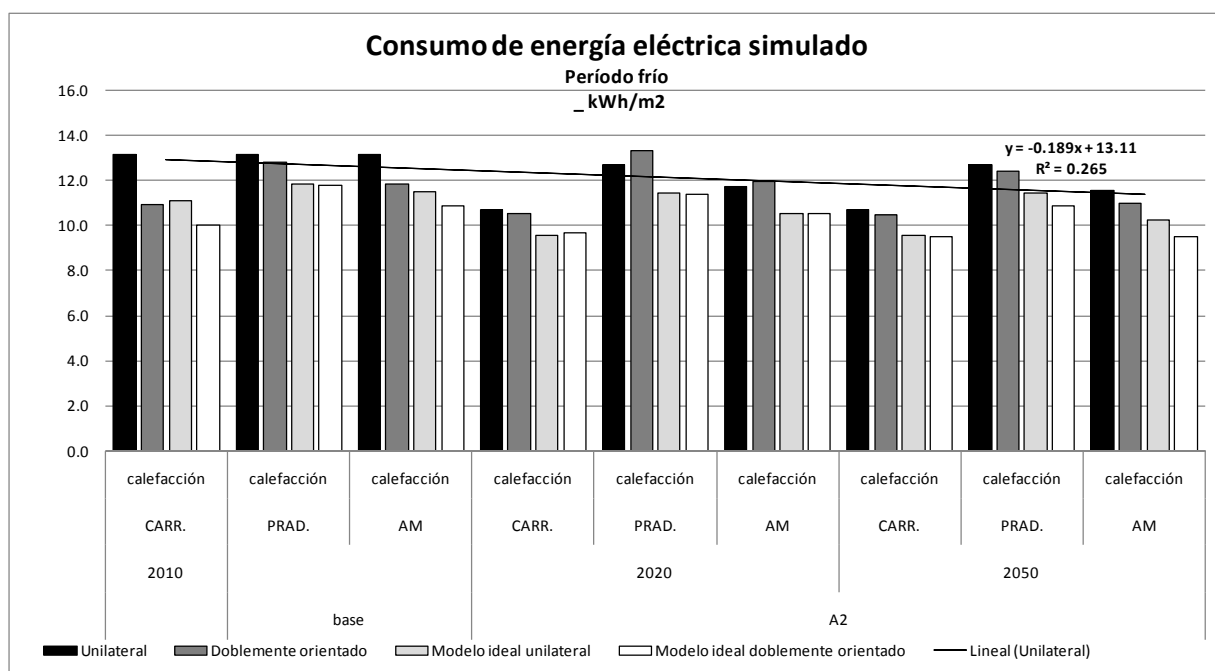
  

escenarios		base			B2					
		2010			2020			2050		
		CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM	CARR.	PRAD.	AM
		calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción	calefacción
Modelos de vivienda	Unilateral	13.1	13.1	13.1	10.9	13.7	12.3	10.7	12.7	11.7
	Doblemente orientado	10.9	12.8	11.9	10.7	13.3	12.0	10.5	12.4	11.5
	Modelo ideal unilateral	11.1	11.8	11.5	10.9	13.7	12.3	9.6	12.7	11.2
	Modelo ideal doblemente orientado	10.0	11.8	10.9	12.3	12.3	12.3	9.7	11.4	10.6

Fuente: Elaboración personal

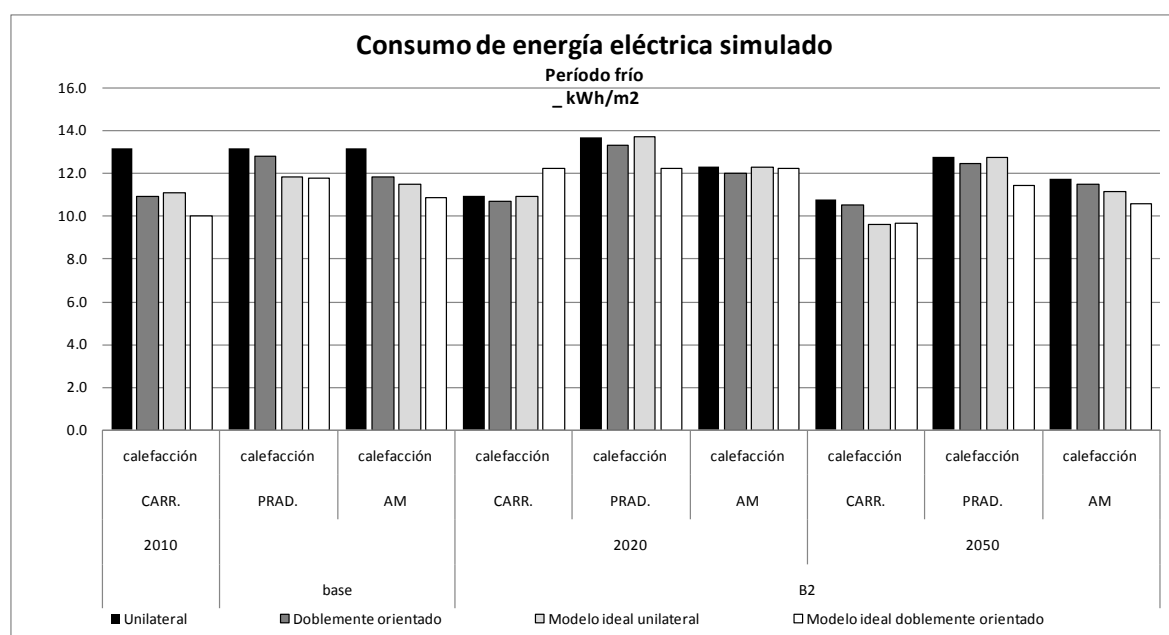
Cuando se analizan, la tabla 5 y las figuras 5 y 6, donde se presentan las simulaciones de consumo de energía eléctrica para calefacción, a partir del indicador de intensidad energética, se desprende que este consumo disminuye. Este decrecimiento se explica por el aumento de las temperaturas exteriores.

Figura 5. Consumo de energía en calefacción escenario A2



Fuente: Elaboración personal

Figura 6. Consumo de energía en calefacción escenario B2



Fuente: Elaboración personal

### 3.1 Cuantificación económica y social de las variantes de diseño

Los modelos ideales son los que permiten un ahorro mayor de energía (tabla 6). A partir de los cálculos realizados para Montevideo, por Picción y Millicua (2005), se cuantifican las estrategias de diseño como medidas de conservación de energía. Estas son: porcentaje de hueco, **Transmitancia térmica del cerramiento vidriado**: doble vidriado hermético  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.77 y **transmitancia térmica del cerramiento opacos**:  $U=0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Se decide, sustituir el factor de huecos de 40% con vidrios común simple ( $U=5.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.83) y optar por tener un vidrio hermético doble, y contar con 3 cm de aislante térmico en paredes exteriores. Se determinaron los costos de la inversión (tabla 6), incluidos mano de obra y aportes sociales:

Tabla 6. Matriz costos económicos de las modificaciones para el ahorro energético

	costo de la MCE c. vidriado	costo sin MCE ventana	diferencia	costo sin MCE muro	costo con MCE muro	TCC =INVERSION
Unilateral		21571		80114		
Doblemente orientado		21571		160228		
Modelo ideal unilateral	29820		8249		100329	108578
Modelo ideal doblemen	29820		8249		200658	208907

Nota : todo en pesos uruguayos

Fuente: Elaboración personal

Si se efectúan todos los costos en forma conjunta (tabla 6) y se analiza solo el ahorro en refrigeración, se determina que estas dos modificaciones al diseño generarían un incremento, en la inversión, de 2% a 5%, para los escenarios A2

y B2, respectivamente. Si se considera todo el año, el ahorro de energía pagaría la inversión y se estaría ahorrando dinero y aumentando las horas de confort térmico.

#### 4 CONCLUSIONES

En los llamados a licitación de este programa habitacional se pondera aspectos de diseño que no son cuantificables. Por este motivo, se simuló modelos de las viviendas con distintas alternativas de diseño, para los escenarios de emisiones A2 y B2.

Las simulaciones pueden dar pistas de los diseños más adecuados para el ahorro de energía y la menor emisión de GEI. Debido a las previsiones de aumento de temperatura de bulbo seco, las construcciones ambientalmente conscientes serán las que manejen estrategias de diseño, tanto del período caluroso (protecciones solares en cerramientos vidriados, sombreado y ventilación natural), como del frío (bajas transmitancia térmica de la envolvente y control de infiltraciones), siendo el manejo de los flujos de energía en el tiempo fundamental, debido al aumento de eventos extremos (disponer de masa térmica aislada). La adopción de estos diseños se convierte en una estrategia fundamental para la adaptabilidad al cambio climático. Es un primer intento de selección de diseños con criterios cuantificables. Las estrategias de diseño más ambientalmente sostenibles suponen una inversión inicial mayor, pero amortizable en cinco años.

#### REFERENCIAS

**BARRENECHEA, (2008) (EDITOR).** Estudio regional de economía del cambio climático – Sudamérica. Estudio Nacional del cambio climático.

**BELCHER, S., HACKER, J. AND POWELL, D. (2005)** Constructing design weather data for future climates. Building Services Engineering Research and Technology, 26(1):49–61.

**BIDEGAIN, M ET AL (2005).** Tendencias Climáticas, Hidrológica y Oceanográficas en el Río de la Plata y Costa Uruguaya. . Libro “El Cambio Climático en el Río de la Plata” Editores: Barros V, A Menéndez, GJ Nagy, III:14:1 7-14 , CIMA, Bs As, Argentina.

**BIDEGAIN, M (2010).** Estimación de variables climáticas para área metropolitana de Montevideo para escenarios A2 y B2.

**CARLO, J (2008).** Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais. Tesis de doctorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

**CAMILLONI I. Y BIDEGAIN M(2005);** Capítulo 4 “Escenarios Climáticos para el siglo XXI”. Libro “El Cambio Climático en el Río de la Plata”. Proyectos AIACC LA32/26.

**DE DEAR, R. (2002)** Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings, v.34, n.6, p 549-561, 2002.

**DNM (1996).** Normales climatológicas período 1961 - 1990, disponible en: <http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas>.

**IPCC (2001);** Cambio Climático: La base científica –Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer informe de evaluación. Cuarto informe de evaluación. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 116 pp

**JENTSCH, ET AL (2008),** Climate change future proofing of buildings--Generation and assessment of building simulation weather files, Energy and Buildings, Volume 40, Issue 12

**KÖPPEN, W. (1936):** Das geographische System der Klimate (Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C).

**MINISTERIO DE VIVIENDA ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE (MVOTMA)** (2010). Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático

**RUSTICUCCI. M. Y RENOM M (2008).** Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. International Journal of Climatology .Volume 28, Issue 8 1083 – 1095.

**PICCIÓN A. ET AL (2008);** Pautas de diseño bioclimático. Proyecto presentado al PDT y financiando entre 2006- 2008. Informe final

**PICCIÓN A. Y MILICUA S. (2005).** Tratamiento de datos climáticos de localidades de Uruguay para evaluación térmica y energética de proyectos y edificios. Informe final

**PICCIÓN A. ET AL (2010);** Estudio de campo sobre las condiciones de confort térmico y visual en edificios de enseñanza públicos en clima templado. Informe final