



ANÁLISIS ECONÓMICO-ENERGÉTICO DE ENVOLVENTES AISLADAS CON SIMULACIÓN EN CASAFAD EN DOS CIUDADES DE ARGENTINA

Halimi Sulaiman (1); Ma. Pía Mazzocco (2); Celina Filippín (3)

(1) PhD, Arquitecta, Inv. Asistente CONICET, Centro Experimental de Vivienda Económica, Igualdad 3535, Córdoba Capital, CP 5000, Tel.: (54) 9-264-5461041, halimi.sulaiman@gmail.com (2) Arquitecta, piamazzocco@gmail.com (3) PhD, Arquitecta, Inv. Principal CONICET, cfilippin@cpenet.com.ar

RESUMEN

Los nuevos costos energéticos sumados a la alta inflación en Argentina requieren de respuestas inmediatas en tecnologías constructivas eficientes energéticamente con sobre costo por ganancia solar y conservación amortizable en un periodo aceptable. El 83,1% de la población del país vive en viviendas unifamiliares aisladas. Por ello, es fundamental dar respuestas de fácil instrumentación orientada a la aplicación masiva de las propuestas de mejoramiento en este campo de la arquitectura. El presente proyecto tiene como objetivo demostrar la aplicabilidad de diseño bioclimático y proponer y evaluar envolventes eficientes energéticamente en un proyecto real con restricciones económicas y de crédito hipotecario, tanto de costo inicial como de ahorro y disponibilidad energética futura considerando la vida útil en dos localizaciones diferentes. La CASAFAD es un proyecto bioclimático que permite ampliaciones en planta baja y alta y futuras divisiones en unidades rentables independientes. Se adapta el proyecto a una situación real: San Juan (31°S, 68°O-SNM621m), necesidades de una familia tipo con restricciones de crédito hipotecario social y su futura ampliación a 105,5 m². Se responden condicionantes como la aridez y el sismo. Y una situación hipotética: Córdoba (lat. 31°O, long. 64°S - SNM474m) misma zona bioambiental, se calculan los coeficientes transmitancia, admitancia y retardo, global de pérdidas G y carga de climatización Q de 4 diferentes alternativas de envolvente vertical. Luego se simula la vivienda con ECOTECT, obteniendo las necesidades mensuales y anuales de refrigeración (AC) y calefacción (H) para cada opción de envolvente en ambas localizaciones. Se calcula el sobre costo respecto a la construcción convencional y el período de recupero (PP) en dos situaciones de confort térmico interior: a) 18 a 26°C y b) 20 a 28°C. Los costos corresponden a marzo de 2017. El trabajo demuestra que la CASAFAD® en Córdoba con Muro M4® logra ahorrar un 62,7% de energía respecto a la opción convencional. Su sobre costo resulta en el escenario b), un 13,4% y el PP en 1,7 años utilizando gas y electricidad para H y AC respectivamente. M3 ahorra un 68,7 % con un PP de 2,2 años. Resulta necesario entonces, diseñar bioclimáticamente las viviendas, como es la CASAFAD® y la importancia de proponer, evaluar y aplicar envolventes aisladas con materiales y mano de obra estándares, al igual que analizar el impacto de las políticas energéticas, de financiamiento e inflación.

Palabras clave: eficiencia energética, vivienda, análisis económico, envolventes aisladas, simulación computacional.

ABSTRACT

New energy costs coupled with high inflation in Argentina require immediate responses in energy-efficient construction technologies with solar gain and conservation cost overruns amortizable in an acceptable period. 83.1% of the country's population lives in isolated single-family homes. For this reason, it is fundamental to provide easy-to-implement responses aimed at the massive application of improvement proposals in this field of architecture. The present project aims to demonstrate the applicability of bioclimatic design and to propose and evaluate energetic efficient envelopes in a real project with economic and mortgage credit restrictions, of initial cost as well as saving and future energy availability considering the useful life in two different locations. CASAFAD is a bioclimatic project that allows for expansions in the ground floor and high and future divisions in independent profitable units. The project is adapted to a real situation: San Juan (31 ° S, 68 ° O-SNM621m), needs of a typical family with restrictions of the social mortgage loan and its future extension to 105.5 m². Conditions such as aridity and earthquake are met. In the same bioenvironmental zone, the transmittance, admittance, delay and global losses G coefficients, and air-

conditioning load Q are calculated from 4 different vertical envelope alternatives. Then the housing is simulated with ECOTECT, obtaining the monthly and annual needs of cooling (AC) and heating (H) auxiliary for each option of envelope in both locations. The over cost is calculated with respect to the conventional construction and the recovery period (PP) in two situations of indoor thermal comfort: a) 18 to 26°C and b) 20 to 28°C. The costs correspond to March 2017. The work shows that CASAFAD in Cordoba with M4 wall manages to save 62.7% of energy compared to the conventional option. It's over cost results in scenario b), 13.4% and PP in 1.7 years using gas and electricity for H and AC respectively. M3 saves 68.7% with a 2.2-year PP. It demonstrates the need to bioclimatic homes design, such as CASAFAD® and the importance of proposing, evaluating and applying isolated envelopes with standard materials and manpower, as well as analyzing the impact of energy, financing and inflation policies.

Key words: energy efficiency, housing, economic analysis, isolated envelopes, computer simulation.

1. INTRODUCCIÓN

Los nuevos costos energéticos sumados a la alta inflación en Argentina requieren de respuestas inmediatas en tecnologías constructivas eficientes energéticamente con sobrecosto por ganancia solar y conservación amortizable en un periodo aceptable. Según el último censo (CENSO, 2010), el 83,1% de la población del país vive en viviendas unifamiliares aisladas y esta tipología representa el 73,4% del total. Por ello, es fundamental dar respuestas de fácil instrumentación orientada a la aplicación masiva de las propuestas de mejoramiento en este campo de la arquitectura.

La importancia de dar soluciones a la tipología vivienda unifamiliar aislada, ya que se detecta un déficit habitacional del 27% si consideramos los ítems “inquilino”, “préstamo” y “otra situación”. De todos modos, las soluciones que se proponen en el presente artículo están pensadas para las viviendas construidas y futuras, ya que las construidas, en un altísimo porcentaje, no son eficientes energéticamente. Esto se debe principalmente a la falta de regulación obligatoria por parte del estado argentino. A nivel mundial, los edificios representan aproximadamente el 40% de consumo energético y un tercio de emisiones globales de gas de efecto invernadero (GEI) (Nejat et al. 2015). Una significativa proporción de la utilización de la energía se debe calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) en respuesta a la creciente demanda de un mejor confort térmico dentro del entorno construido (Yang et al. 2014).

El diseño de edificios pasivos (DEP) y el desarrollo de tecnologías de envolvente de edificios de bajo consumo energético han estado recibiendo gran atención en los últimos años por parte de las productoras de materiales de construcción, investigadores, arquitectos, ingenieros en climatización y organismos de normalización. El DEP ha sido ampliamente identificado como una de las estrategias más eficaces para disminuir la demanda de energía en la construcción (Tejavathu et al., 2010; Lam et al., 2006; Badescu, 2011; Sadineni et al. 2011). Un edificio pasivo se define como “un edificio construido para lograr un clima interior confortable sin un dispositivo de calentamiento activo” (Jochem, 2009). Los edificios pasivos son capaces de utilizar menos energía convencional mediante el equilibrio entre las pérdidas y las ganancias de calor con respecto a las condiciones climáticas particulares de la ubicación de los edificios (Jochem, 2009). Una aplicación adecuada del diseño pasivo implica varios aspectos del diseño del edificio (Aksoy et al., 2006; James Pab et al., 2005). Omrany y Marsono (2016) determinan y analizan el impacto en el ahorro energético de 8 variables del diseño bioclimático: aislamiento, masa térmica, vidriado, ventana, tamaño, forma y posición, color del exterior, superficies, dispositivos de protección exterior, orientación y forma de construcción. Los autores demuestran que, el uso de estrategias pasivas en el sector de la construcción mejora la sostenibilidad principalmente mediante la mitigación de los impactos ambientales negativos de los edificios optimizando su rendimiento energético.

Existen numerosos sistemas constructivos nuevos y materiales más sofisticados que dan soluciones específicas a problemas como resistencia mecánica, impermeabilidad, aislación térmica, fácil colocación, mono componentes con varias funciones simultáneas, etc. El diseño de nuevos materiales es un campo de alto crecimiento donde incluso la creatividad intenta reciclar, re usar y reutilizar materiales de desecho. Teniendo los objetivos definidos (energía, bajo impacto ambiental, costos competitivos) es posible desarrollar propuestas de sistemas constructivos sumados al DEP que alcancen el 50% de ahorro energético con sobre costo amortizable en poco tiempo.

Finalmente, para aumentar aún más la aplicación del DEP en la industria de la construcción, es necesario un cambio en la mentalidad arquitectónica. Se deberían integrar meticulosamente al diseño y construcción, especialistas en cuestiones de energía e impacto ambiental. Además, el concepto de edificio pasivo requiere ser apoyado por las regulaciones de construcción a través de diferentes programas de incentivos, regímenes obligatorios y alentar a los profesionales de la construcción a utilizarlo.

2. OBJETIVO

Demostrar la aplicabilidad del DEP y proponer y evaluar envolventes eficientes energéticamente en un proyecto real con restricciones de crédito hipotecario, y económicas, tanto de costo inicial, como de ahorro y disponibilidad energética futura considerando la vida útil en dos localizaciones diferentes.

3. MÉTODO

Este trabajo evalúa, tanto a través de cálculos estacionarios como simulaciones dinámicas, la aplicabilidad del proyecto demostrativo bioclimático CASAFAD en dos localizaciones geográficas de Argentina para evaluar diferentes alternativas de envolventes aisladas determinando su economía con el fin de obtener soluciones competitivas en el mercado de la construcción.

Esta evaluación se realiza en 4 etapas: 3.1) diseño adaptado de la vivienda a la situación real; 3.2) cálculos estacionarios según normativas; 3.3) simulación dinámica anual horaria con ECOTECT de varias alternativas de 4 envolventes verticales para su comparación para ambas localizaciones, 3.4) determinación de los costos energéticos y de construcción y cálculo de periodo de recupero de la inversión. Se detalla cada etapa a continuación.

3.1. Diseño adaptado de CASAFAD a la situación real.

3.1.1 Localización Geográfica y condiciones climáticas

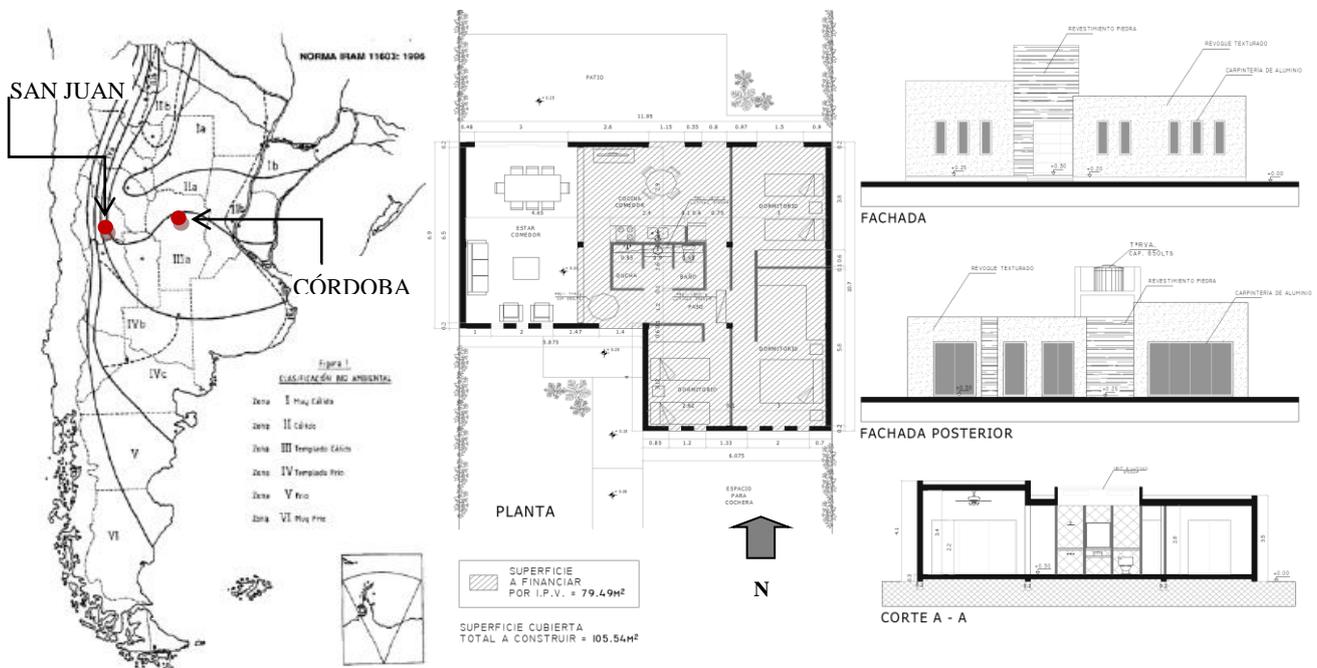


Fig. 1 Mapa Bioambiental de Argentina y Planta, fachadas, corte a-a y detalle constructivo de Muro exterior M3.

La figura 1 muestra el mapa bioambiental de Argentina donde se nombran las ciudades estudiadas, al igual que los planos de la CASAFAD adaptada. La tabla 1 presenta las características de localización, variables de clima y grados días de ambas localidades para el diseño de edificios según Czajkowski y Gómez (1994). Se destaca que si bien ambas localidades pertenecen a la misma zona bioclimática en algunas variables existen diferencias considerables especialmente visibles en la simulación. En general la diferencia en los grados días (GD) superan los 100, mientras que entre las temperaturas de diseño poco más de 1°C. A su vez, en figura 1 se observa el sector sombreado correspondiente al sector financiando con el crédito hipotecario social y la ampliación del estar. Cabe destacar que la vivienda puede funcionar perfectamente en su primera etapa. A continuación se presentan los planos de la vivienda donde se destaca una estructura de pórticos de hormigón armado (hºaº) con divisiones interiores livianas de placas de yeso aisladas que permiten futuras adaptaciones a nuevos posibles usos, dos sectores funcionales definidos (social y privado) corredor corto central donde se concentran las instalaciones con baño compartimentado y ampliable. Corredor y baño con luz y ventilación sur cenital. Posibilidad de segundo baño privado con vestidor para dormitorio principal. Un detalle funcional importante es la posibilidad de acceder al lavadero depósito desde el corredor central lo que agiliza el flujo de ropa y ropa blanca donde se utiliza y evita el paso por el estar-comedor cocina (visitas, olores). Y el

lavadero depósito tiene salida a patio de servicio para tender la ropa al sol. El estar comedor tiene salida a la pérgola y el sector norte tiene aleros de 0,60 m protegiendo las aberturas en verano.

En cuanto al diseño bioclimático se destaca la orientación Norte –Sur (eje levemente rotado hacia el oeste debido a la orientación del terreno), ventilación cruzada y selectiva. Ventanas acotadas en fachada Sur, puertas ventanas para ganancia solar directa en invierno y protección en verano. La vivienda no posee aberturas en los lados este y oeste donde se aparea a los vecinos, aunque se ha realizado el cálculo y simulación sin considerar como muros adiabáticos dichos muros dado que la zona no posee edificaciones por el momento. Es decir que en un futuro cercano la vivienda tendría un mejor comportamiento térmico aún. Respecto a las envolventes el techo es aislado. Adicionalmente la losa del techo se compone de viguetas y capa de compresión de h° a° según requerimiento de resistencia al sismo del Código de Edificación vigente en ambas ciudades evaluadas. Se reemplaza el ladrillo cerámico por uno de poliestireno expandido rígido.

Tabla 1. Características principales de las localizaciones evaluadas según la NORMA IRAM 11603:12.

Características climáticas			U.	SAN JUAN (AERO)	CÓRDOBA (AERO)
Latitud			°	-31,6	-31,3
Longitud			°	-68,4	-64,2
Altura sobre el nivel del mar			m	598,0	474,0
Valores anuales	Temperatura	media	°C	8,3	12,0
		media máxima		18,0	19,1
		media mínima		0,3	5,0
	Humeda relativa		%	58,0	61,0
	Velocidad media del viento		Km/h	9,2	11,5
Grados día anuales en base 20°C				1275,0	1118,0
Invierno	Temperatura de diseño		°C	-5,6	-4,3
	Amplitud termica			24,2	19,5
	Radiación solar media sobre superficie horizontal		kW/m ²	3,0	2,5
	Grados días de calfaccion TB= 20°C			286,8	232,5
Verano	Temperatura de diseño		°C	41,4	36,6
	Amplitud termica			14,4	9,6
	Radiación solar media sobre superficie horizontal		kW/m ²	6,0	6,0
	Grados días de refrigeración TB= 27°C			117,0	63,6

Por su parte, la tabla 2 muestra las características de los diferentes sistemas constructivos que se evaluaron donde M corresponde a “muro”, P a piso y T “techo/cubierta”. Las variaciones se realizan en la envolvente M, donde radican importantes diferencias en cuanto al ahorro energético. T1 es suficientemente aislado aunque la normativa de construcción local no lo exija, en concordancia con el diseño bioclimático y demás componentes eficientes como ventanas de doble vidrio hermético (DVH) puertas de triple contacto, etc. M1 y M2 son las tecnologías tradicionales y M3 y M4 las propuestas. Sulaiman (2011) describe en su Tesis Doctoral el diseño original de un proyecto demostrativo (CASAFAD). Presenta las opciones de crecimiento del módulo base, tanto en planta baja (hacia el frente o fondo del terreno), como en planta alta y luego considerando las posibles dinámicas familiares durante 50 años de la vivienda, las diferentes alternativas de división en unidades independientes factibles de alquilar o bien evitar el hacinamiento de las familias extendidas. Todas estas opciones se prevén sin demoler muros. Otra ventaja es la identidad que cada vivienda puede adquirir ya que las alternativas son múltiples. El proyecto aquí presentado corresponde a una aplicación adaptada a una necesidad real de una familia de cinco integrantes que se financiará en su primera etapa con un crédito hipotecario social, el cual tiene restricciones. La tabla 3 ejemplifica los datos para diferentes cálculos para San Juan M1.

En cuanto a los muros M1 posee una Transmitancia térmica 6,6 veces mayor que M4. No obstante, los retardos son similares, las condiciones térmicas interiores y los consumos energéticos difieren considerablemente. Un detalle no menor es el espesor total ya que podría reemplazar a M1 y M2 sin modificar sustancialmente la estructura portante standard. El Coeficiente Global de pérdidas G se calculó (Gcal) en base 20°C por el rango de confort establecido escenario b. Gadm es el valor admisible según la zona bioclimática, grados días y el volumen a calefaccionar. Este indicador que da una primera aproximación de la performance de las tecnologías considerando el clima de cada lugar, demuestra cuán alejadas de cumplirla están las tecnologías tradicionales M1 y M2. En cuanto a las tecnologías aisladas, la única que lo cumple es M4, mientras que M3 se encuentra apenas por encima del valor requerido. Es probable que disminuyendo la altura interior de la vivienda 2,80 m (privado y servicio) y 3,40 m (estar), disminuyendo así el volumen a calefaccionar, el G de M3 cumpla con la norma.

Tabla 2. Características de las envolventes evaluadas Tabla 3. Ejemplo (M1) de ingreso de datos generales para cálculo y simulación.

	Material	Espesor [mm]	Densidad [Kg/m³]	Calor específico [J/Kg/K]	Conductividad [W/m² K]	Datos Generales del edificio		
M1	revoque interior	20	1900	1000	0,93	Zona Bioambiental =	IIIa	
	ladrillón (de sogá)	170	1650	920	0,81	Localidad=	San Juan	
	revoque exterior	20	1900	1000	1,16	GD calefaccion 18°C =	1118	°C
M2	revoque interior	20	1900	1000	0,93	Renovaciones de Aire=	1,5	r/h
	ladrillo cerámico	180	1150	800	0,41	Superficie calefaccionada=	101,25	m2
	revoque exterior	20	1900	1000	1,16	Volumen calefaccionado=	230,4	m3
M3	base coat	20	600	1000	0,13	Perímetro en contacto con el exterior=	45,35	ml
	ladrillón (de sogá)	170	1650	920	0,81	Sup. Muro exterior	124,9	m2
	base coat	5	600	1000	0,13	Sup. Techo	105,54	
	poliestireno expandido (EPS)	40	30	1700	0,032	Sup. Ventanas y puertas ventanas=	11,73	
	base coat	20	600	1000	0,13	Sup. puertas	4,76	
base coat	20	600	1000	0,13	k muro (calculado)	2,39		
M4	base coat	20	600	1000	0,13	K techo (calculado)	0,58	W/m2K
	ladrillón (de canto)	70	1650	920	0,81	Kcarpinterías (simple c/ ruptor DVH 6-12-6)=	2,16	
	base coat	5	600	1000	0,13	K(piso(aislamiento perimetral)=	0,26	
	EPS	70	30	1700	0,032	K puertas	3	
P1	base coat	20	600	1000	0,13	Perdidas por piso	1,3	W/m
	cerámico	5	1900	920	0,70			
	carpeta	20	1950	1000	0,92			
	contrapiso	100	2000	1000	1,16			
T1	terreno natural	1000	1600	850	0,28			
	cieloraso base coat	15	600	1000	0,13			
	EPS 78%+ viguetas 12%	120	227	1446	0,148			
	capa de compr. H°A°	100	1800	1000	0,97			
	pomez	100	600	800	0,22			
	membrana d/aluminio	3	1000	1400	0,11			

3.2. Cálculos estacionarios según normativas

Los cálculos estacionarios calculados corresponden a diferentes Normas IRAM (11604 y 11659-1). Para el cálculo se utilizó: en primer lugar las características de materiales, como conductividad, densidad aparente y capacidad térmica, se extrajeron de la Norma IRAM 11601 vigente. Las características térmicas de las envolventes se obtuvieron por medio del programa Dynamic-Thermal-Properties-Calculator-(ver-1-0) herramienta libre y gratuita (The Concrete Centre y ARUP, 2017). Tanto el coeficiente global de pérdidas G y la carga térmica Q se calculó con una planilla Excel sistematizada (Kodols, 2015) al cual se le agregó la sistematización necesaria para realizar las tablas resúmenes y el análisis de sensibilidad. La radiación sobre superficie vertical fue calculada con el software Geosol (Hernandez, 2003). Cabe destacar que el cálculo de Q de calefacción según la norma vigente, no contempla las cargas por solarización, aspecto que si se considera en la simulación. El período de calefacción considerado fue de 14 hs diarias. La eficiencia del calefactor en particular se definió según establece el valor mínimo que se requiere la Argentina: (0,7) (Juanicó, 2007). Por su parte, para el Q de refrigeración se consideró para San Juan, clima más riguroso según los grados días, 85 días/año 24 hs de encendido y en Córdoba 5 hs 20 días/año.

3.3. Simulación dinámica anual horaria con ECOTECT de varias alternativas de envolventes

Una vez determinadas las características térmicas de los materiales y componentes propuestos y el cálculo de los índices K, retardo, amortiguación y admitancia, se incorporan en la simulación con ECOTECT. Este programa utiliza el método de admitancias, la vivienda se simula con múltiples zonas, donde se crea cada capa de envolvente aislada. La simulación anual horaria se basa en 3 series (máxima, mínima y media) de datos climáticos mensuales de las estaciones meteorológicas oficiales. ECOTECT transforma en una única serie anual horaria. Como se observa en la tabla 4, las temperaturas que considera ECOTECT son medias máximas, media y media mínima mensual, donde se destaca que no se alcanzan las temperaturas de diseño de la Norma IRAM 11603:2012. De todos modos la consideración de la solarización (Fig. 4) y los perfiles de uso (pág. 7) para cada zona isohigrotérmica conllevan a resultados más definidos que los cálculos estacionarios.

Tabla 4 – Temperaturas para la simulación

CÓRDOBA AERO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máx	32,7	31,6	30,4	30,8	24,2	26,9	25,4	28,8	32,9	34,7	34,7	32,8
Med	23	21,9	20,6	16,4	14,2	11,4	10,4	12,4	14,5	18,2	20,4	22,7
Mín	13,6	13,8	12	6	0,9	2,9	-4,4	1,2	2,2	5,8	7,7	11,3
SAN JUAN AERO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máx	43,6	38,3	36,5	31,2	28,4	20,5	26,5	33,6	33	35,3	36,5	37,8
Med	27,3	26,1	23,8	16,8	12,5	8,3	8,3	10,8	15,8	20,4	24	26,1
Mín	17	17,8	14,2	7,8	2,6	-1,2	-2,9	-3,3	1	3,8	10,3	10,6

3.4 Determinación de los costos energéticos y de construcción y cálculo de amortización

Los costos corresponden a los mercados de San Juan y Córdoba respectivamente a marzo de 2017. Se observa una diferencia en los costos unitarios energéticos entre ambas localidades dado que Córdoba es una de las provincias de mayor costo de la energía del país (EPEC, Energía San Juan, Enargas, Ecogas, tarifas vigentes 2017). Cabe aclarar que el valor considerado por unidad de energía es el real que paga el usuario residencial con IVA (impuesto al valor agregado) incluido, donde existen leyes, resoluciones, cargos fijos, etc. que superan el 70% del costo del Kwh o m³ de gas. Se consideró este valor dado que es lo que paga el usuario residencial. La variación de este valor unitario tiene un impacto muy significativo en la amortización de los sobrecostos por mejoramiento de envolvente. Se considera el consumo energético de climatización obtenido por simulación. El calculado se toma como referencia comparativa. De la misma surgen interesantes reflexiones sobre las limitaciones de estos últimos y los criterios a tener en cuenta para su uso correcto que se expresan en la sección 4. La diferencia en el consumo entre envolventes se refleja sensiblemente en los periodos de recupero de la inversión (PP) para cuyo cálculo se considera, según Yildiz A. (2008):

$$r = g - i / 1 + i \quad (1)$$

$$PW = (1 + r) N - 1 / r (1 + r) N \quad (2)$$

$$Ct = CA * PW + (Cl * x + Cpmi) \quad (3)$$

$$(PP) = C_{ins} / A_s \quad (4)$$

Donde:

i es la tasa de interés;

g la inflación;

r para el cálculo del *PW*;

PW factor de valor presente;

N es la vida útil de la aislación con su respectiva protección mecánica;

Ct es el costo total de aislación;

CA el costo anual de energía utilizada para climatizar;

Cl el costo del material aislante en \$/m³;

x el espesor de la aislación;

Cpmi el costo de la protección mecánica de la aislación;

C_{ins} es el costo de aislación;

A_s la cantidad del ahorro anual obtenido por aislación

Todos los cálculos están sistematizados en Excel. Por un lado el ingreso de datos como costos unitarios de materiales mano de obra, donde cada tarea ya tiene asignada una cantidad de horas de oficial y ayudante según Chandias, (2005) y por capa para detectar la incidencia de cada una, el valor unitario de la energía (kWh de electricidad y m³ de gas natural) y fácil modificación de diseño de capas para modificar las propuestas. Por otro lado es modificable la zona bioclimática de aplicación y los G admisibles el cálculo de Q y la tabla resumen que compara los resultados de cálculo y simulación. A su vez, la valoración económica extrae los resultados de consumo de simulación y modifica los kWh de calefacción a m³ de gas natural los cuales son el insumo para el cálculo del periodo de recupero. Por último, la tabla síntesis reúne los resultados 2 o más zonas de confort interior consideradas en la simulación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. De los cálculos de propiedades térmicas de las envolventes

Tabla 5 Resumen de las propiedades térmicas de las envolventes evaluadas. Tabla 6 Coeficientes globales de pérdidas (G) para cada propuesta identificada con la modificación de muros

	K [W/m ² K]	Espesor [m]	Peso del muro [Kg]	Admitancia	Retardo [hs]	Amortiguamiento [-]		Gadm San Juan	Gadm Cordoba	G cal
M1	2,39	0,21	356,50	4,72	6,12	0,54	M1	1,53	1,62	2,69
M2	1,54	0,22	283,00	4,09	6,40	0,58				2,23
M3	0,51	0,25	308,50	2,93	8,36	0,17				1,67
M4	0,36	0,19	144,25	3,10	5,91	0,39				1,59
P1	0,26	1,12	1848,00	5,21	6,07	0,00	M4			
T1	0,58	0,34	200,00	1,51	10,24	0,15				

La propuesta de T1 que no es la tradicional arroja resultados contundentes: 10,24 hs de retardo mejora sustancialmente las condiciones térmicas de la vivienda. Merecería una evaluación comparativa como en el caso de los muros con las cubiertas tradicionales y livianas. Más adelante en la evaluación económica se resaltara su excelente relación precio calidad.

4.2. De la simulación

Los perfiles de uso se definieron de acuerdo a la familia tipo de 5 integrantes y las dos zonas de confort que se optaron evaluar (estar diario y zona dormitorios). El criterio del presente artículo contempla dos situaciones, escenarios a) de 18 a 26°C y b) de 20 a 28°C (IRAM 11659-1:2004, pg.11, tabla 2) De considerar un usuario “malo” como es el caso de más del 35% del total en el país, los resultados serían considerablemente diferentes, validando más aún el mejoramiento de la calidad térmica de las envolventes. La correcta solarización invernal se observa en la Figura 4, donde las ganancias de radiación solar directa se realizan en el período de abril a septiembre. La figura 5 muestra el rango de sombras sobre la vivienda en verano e invierno de 9:00hs a 17:00hs, en donde puede observarse la óptima orientación para la fachada según la condición climática en ambas ciudades.

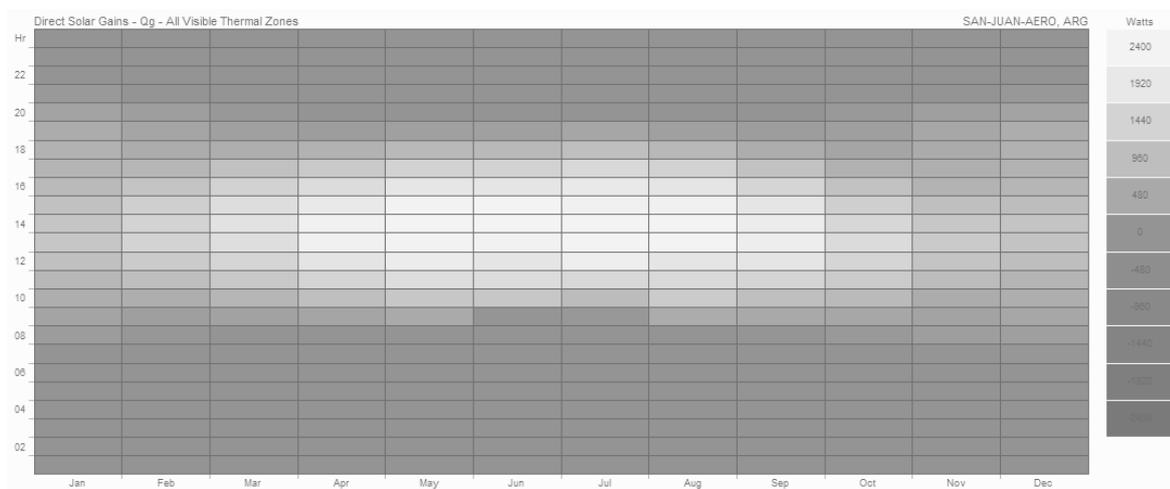


Fig. 4– Ganancia solar directa interior de la vivienda para San Juan

Comparativamente, las figuras presentadas en 6 muestran las necesidades de calefacción (H) y refrigeración (AC) simuladas de ambas localizaciones para los rangos de confort a y b. A simple vista, en ambas figuras se observa la disminución del consumo energético por parte de M3 y M4 respecto de M1 y M2. En la figura 6 es clara la diferencia de consumo entre ambas localizaciones donde San Juan consume más que Córdoba, especialmente en verano. No obstante esta diferencia de H se reduce en el escenario de confort b, no así en cuanto a las necesidades de refrigeración. A continuación se analizan en detalle los consumos energéticos.

4.3. De los consumos energéticos

Para una mejor comparación los resultados se presentan en una tabla resumen (tabla 7) coloreando los resultados del cálculo respecto de los simulados en blanco. Se repiten valores obtenidos de G para observar la correlación con dichos consumos. Los resultados, tanto de los cálculos, como de la simulación reflejan la mala performance de las tecnologías tradicionales, las cuales son hipotecas energéticas para sus usuarios durante más de 80 años (Figura 6). Cuantitativamente en el escenario b de confort, M3 presenta el mayor ahorro energético con un total de 68,7%, seguido por M4 con un 62,7%, valores más que competitivos.

Merece una reflexión, las diferencias entre los resultados de simulación y los cálculos estacionarios que recomiendan las normas citadas. Estos últimos, en el caso de cálculo de carga de calefacción no contemplan la ganancia solar de las viviendas bioclimáticas, estrategia que permite importantes ahorros energéticos de gas natural. Si consideráramos que durante todos los Grados día la calefacción estuviera prendida las 24 horas, el consumo resultante sería mucho mayor, sobre dimensionando la capacidad instalada de los equipos. Por ello, los cálculos han sido criteriosamente establecidos según las horas requeridas para cada localización en base a estimaciones que consideran la experiencia histórica de consumo en cada ciudad. Resulta necesario realizar una revisión del cálculo en cuanto a periodos de encendido. Se podría desarrollar un coeficiente de corrección basado en estadísticas de uso de climatización que pueda incorporarse al cálculo. Este podría ser un valor obtenido de un gran número de simulaciones numéricas.

Tabla 7. Resultados de consumos calculados y simulados para cada tecnología en cada localización.

	Gamb San Juan	Gadm Cord oba	G cal	SAN JUAN		CORDOBA		SAN JUAN (GD B20=1275; Verano: 27°C)			CORDOBA (GD B20=1118; Verano: 27°C)		
				(kWh/mensual)				(Kwh/año)					
				HEAT	AC	HEAT	AC	HEAT	AC	TOTAL	HEAT	AC	TOTAL
M1	1,53	1,62	2,69	2488	580	2017	20	11059	1657	12716	9698	73	9771
				1916	614	1621	11	7440	1686	9127	7164	40	7204
M2			2,23	2061	534	1671	19	9164	1527	10691	8036	69	8105
				1582	575	1330	20	6136	1650	7785	5878	59	5938
M3			1,67	1545	479	1252	18	6868	1369	8238	6022	64	6086
				965	453	799	27	3786	1357	5143	3552	74	3626
M4			1,59	1470	471	1191	18	6534	1346	7880	5729	63	5792
				1011	472	837	29	3974	1415	5389	3726	77	3804

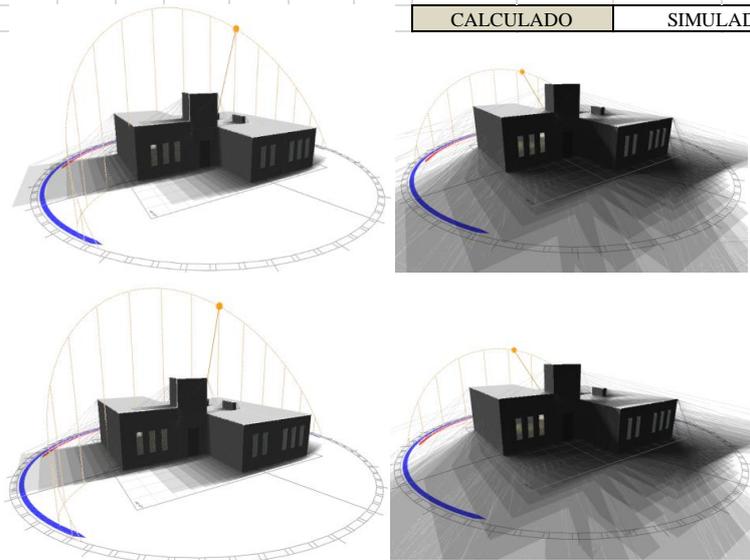


Fig. 5 – Rango de sombras verano e invierno en San Juan (superior) y Córdoba (inferior).

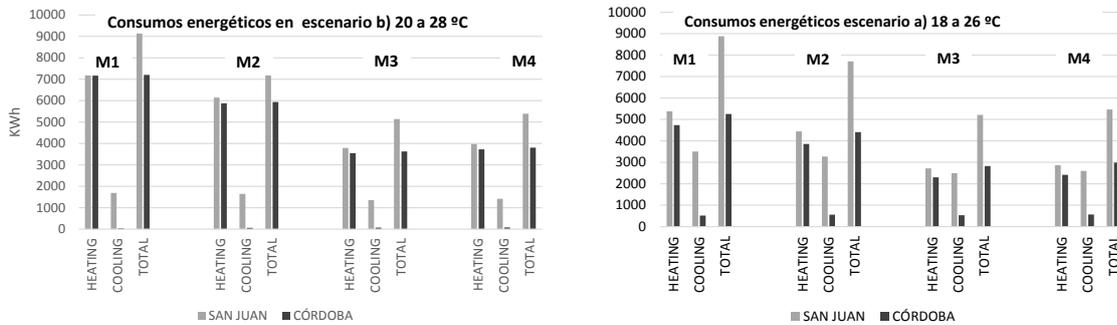


Fig.6: Necesidades de H y AC. Comparación San Juan y Córdoba. Rango de confort a) 18a26°C (superior) y b-20a28°C (inferior)

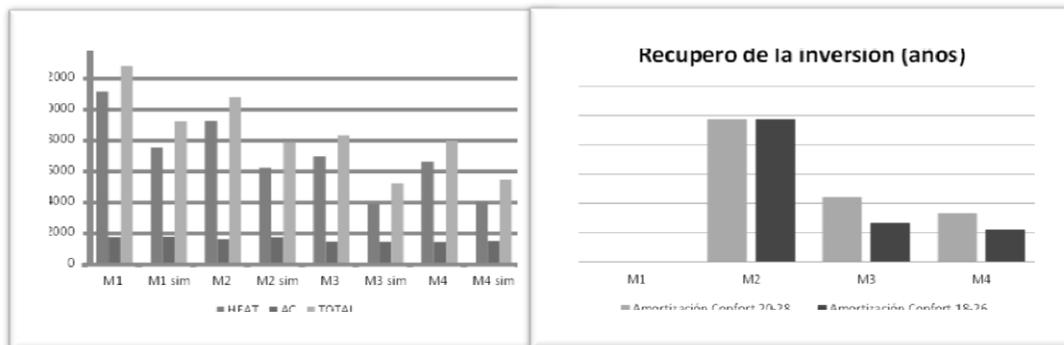


Fig.7 Consumos en kWh de cada tecnología calculado y simulado. Fig. 8 % de ahorro energético de las tecnologías respecto a M1.

4.4. De los periodos de recupero de la inversión de sobrecosto (Córdoba)

Por razones de espacio se presentan los resultados de económicos de Córdoba. La tabla 8 y la figura 9 son significativas para lograr el objetivo principal, ya que muestra las diferencias en consumos energéticos parciales y totales, los sobrecostos por aislación y el tiempo requerido para recuperar la inversión de dicho sobrecosto. M3 y M4 logran periodos de recupero altamente competitivos que motivan la aplicación de las mismas en un futuro inmediato. Si consideramos el usuario consiente del rango de confort 18-26°C, M4 recupera la inversión en poco más de un año casi igual que M3, la cual genera un 6% mayor que M4. Es interesante destacar la situación de M2: si bien presenta un ahorro de 19,7% respecto a M1, su período de amortización es de casi 5 años en ambos escenarios de confort. Es decir, que es una tecnología que fue una buena solución en un contexto económico energético pasado y actualmente se requieren variantes más eficientes energética y económicamente. Comparativamente, M3 genera un sobrecosto de sólo 1,2% más que M2, pero logra un 49% más de ahorro energético.

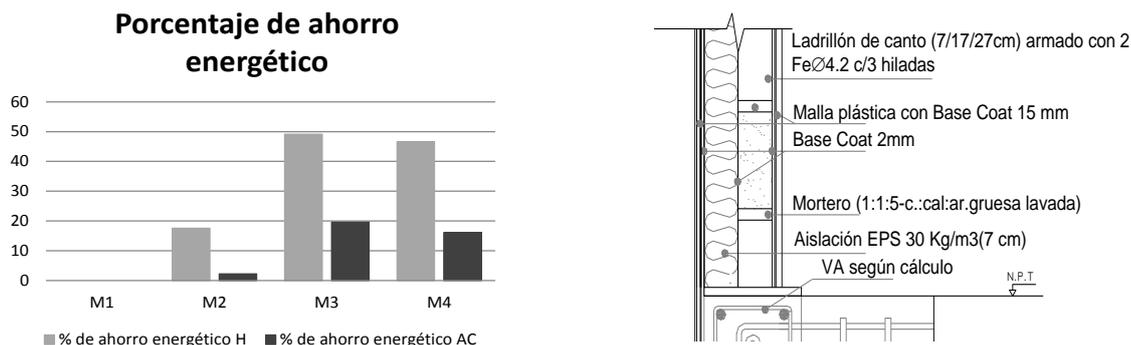


Fig. 9 Periodos de recupero de la inversión de cada tecnología (años) y detalle constructivo de M3.

Tabla 8 – Resumen de requerimientos energéticos, porcentajes de ahorros energéticos, sobrecostos y periodos de recupero.

Casos simulados	Requerimientos energéticos simulados (kWh)		% de ahorro energético			Sobre costo (%)	Amortización Confort 20-28	Amortización Confort 18-26
	H	AC	H	AC	Total			
M1	7440	1686	0	0	0	0	-	-
M2	6136	1650	17,5	2,2	19,7	17,2	4,9	4,9
M3	3786	1357	49,1	19,6	68,7	18,0	2,2	1,3
M4	3974	1415	46,6	16,1	62,7	13,4	1,7	1,1

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo permitió cumplir con los objetivos específicos planteados. Los resultados del presente trabajo ratifican la necesidad de diseñar y estudiar la tecnología para cada localización geográfica considerando en la primera etapa de diseño las Normas IRAM pertinentes. Ante el déficit habitacional existente en Argentina expresado en la introducción de este trabajo, los organismos de gestión deberían introducir en sus programas y planificaciones el diseño de edificios de bajo consumo de energía ya que no existen barreras tecnológicas para su implementación.

El análisis comparativo entre las diferentes opciones tecnológicas de viviendas propuestas demuestra la eficacia de aplicar criterios bioclimáticos en el proyecto de arquitectura. Es posible mediante la simulación energética evaluar el comportamiento térmico y mejorar y reformular el diseño de acuerdo a los resultados que se van obteniendo con el cálculo, sin que esto implique grandes modificaciones en la impronta del edificio. Al momento del presente trabajo y ante las nuevas tarifas de la energía, el período de recuperación del sobre costo de inversión en una envolvente vertical energéticamente eficiente tiene además de un beneficio ambiental, un beneficio económico y social. Una reducción del consumo de energía para mantener la situación de confort en el ambiente interior de la vivienda permitiría paliar la pobreza energética propia de las regiones desprovistas de red de energía y/o en la población de menores recursos.

Los resultados energéticos y económicos obtenidos en la vivienda analizada y diseñada de acuerdo a estrategias bioclimáticas, son auspiciosos. Las evaluaciones permiten visualizar fácilmente el impacto del ahorro con sólo modificar el muro exterior. Las propuesta M3 y M4 cumplen con las normas de recomendación para Argentina, alcanzando ahorros energéticos de casi un 50% con un periodo de recupero muy bajo. Estos dos análisis, sumados a que ambas propuestas han sido diseñadas con materiales locales y de acceso cotidiano en todo el país y que la mano de obra no es diferente a la tradicional podemos decir con fundamentos, que es altamente factible su aplicación inmediata en ambas ciudades evaluadas. Incluso para todas aquellas viviendas ya construidas con M1 (incluso con M2) en ambas ciudades y todas aquellas que se

encuentran en la zona bioclimática IIIa, aplicar las modificaciones de M4 representaría una mejora cualitativa importante en cuanto al confort de sus habitantes y el ahorro energético masivo. Especialmente si consideramos que los usuarios recuperan el sobre costo de inversión en menos de 2 años. Aún más, el periodo podría ser mucho menor si consideramos la descongestión del sistema energético argentino que se lograría, evitando importación de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NEJAT P, JOMEHZADEH F, TAHERI MM, GOHARI M, MAJID Mza. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2015;43:843-862.
- TEJAVATHU RU, RAVI P, SHUKLA K. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *EnergyBuild* 2010;42(10):1592-600.
- LAM JC, YANG L, LIU J. Development of passive design zones in China using bioclimatic approach. *Energy Convers Manage*. 2006;47(04):746-62.
- BADESCU V, LAASER N, CRUTESCU R, CRUTESCU M, DOBROVICESCU A, TSATSARONIS G. Modeling, validation and time-dependent simulation of the first large passive building in Romania. *Renew Energy*. 2011;36(01):142-57.
- SADINENI SB, MADALA S, BOEHM RF. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(08):3617-31.
- OMRANY, Hossein; MARSONO, Abdul Kadir. Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies. *British Journal of Applied Science & Technology* 13(6): 1-16, 2016.
- KODOLS, Ingrid (2016). Informe: Análisis térmico y energético mediante simulación con SIMEDIF. Especialización en Arquitectura y Hábitat Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo., UNLP. Argentina.
- IRAM 11549 Norm, Aislamiento termico de edificios. Revision of IRAM 11549:1993, Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion, Buenos Aires, 2002.
- IRAM-11603 Norm, Clasificacion bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion, Buenos Aires, 1996.
- IRAM Norm 11604, Aislamiento termico de edificios. Verificacion de sus condiciones higrotermicas. Ahorro de energía en calefaccion. Coeficiente volumetrico G de pérdidas de calor. Calculo y valores límites, Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion, 2001.
- IRAM Norm 11605, Acondicionamiento termico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores maximos de transmitancia termica en cerramientos opacos, Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion, Buenos Aires, Argentina, 1996, Mod. 2002.
- IRAM Norm 11659-1:2004, Aislamiento termico de edificios. Verificacion de sus condiciones higrotermicas. Ahorro de energía en refrigeracion, Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion, 2004.
- RIGHINI R., GROSSI H. GALLEGOS, C. RAICHIJK, **Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina**. *Renew. Energy* 30 (2005)1241–1255.
- Índice CIRCOT. 2017. Modelo 1 (vivienda) periodo 03/17. Centro de Investigación para la Racionalización de la Construcción Tradicional. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.
- SULAIMAN, Halimi 2011. **Confiabilidad y economía en la optimización de las estrategias bioclimáticas**. Tesis doctoral (S). Programa de Doctorado de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de Mendoza.
- INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSO). 2011. Censo nacional 2010. Available at: <<http://www.indec.mecon.ar/>> Planillas V1, V2, V7.
- CZAJKOWSKI J.D. and Gómez A.F. (1994). Diseño bioclimático y economía energética edilicia. Fundamentos y métodos. Editorial U.N.L.P.
- HERNÁNDEZ, Alejandro (2003). **Geosol: Una Herramienta Computacional para el Cálculo de Coordenadas Solares y la Estimación de Irradiación Solar Horaria**, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 2, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184, pp 11.19-11.2
- ECOTECT, <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-62481/ecotect-software-de-diseno-de-construccion-sustentable>.
- JUANICO, Luis, 2007. Eficiencia de Calefactores a Gas de Tiro Balanceado: Medición e Impacto en Usuarios Residenciales. *Interciencia*. ISSN 0378-1844.
- FILIPPIN, C., FLORES LARSEN, S. and LOPEZ GAY, E. (2008). Energy improvement of a conventional housing in Argentina through thermal simulation. *Renewable Energy* 33: 2246–2257.
- FLORES LARSEN, S., FILIPPÍN, C., FLORES L. (2008). Analysis and Improvement of the Thermal Behavior of Social Houses in Northern Argentina. Through Transient Thermal Simulation. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2: 217-223. Bentham Open