

ESPACIALIZACIÓN DEL CALOR ANTROPOGÉNICO EN UNA CIUDAD ÁRIDA COMO COMPONENTE DE LA ISLA DE CALOR URBANA

Analia A. Alvarez¹, Alejandra Kurbán², Alberto Papparelli³, Mario Cúnsulo⁴
INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan
Santa Fe 198 (Oeste) 1° Piso, San Juan. Email: ana_alv023@hotmail.com

RESUMEN: Se exponen los resultados del estudio de algunas variables del calor antropogénico las que, junto con la masa térmica de la ciudad, colaboran en la Isla de Calor Urbana (ICU). El objetivo fue analizar las variables: Consumo de Energía Eléctrica y Gas, en viviendas para invierno y verano de 2008 correlacionando las mismas, con la Población e Índices Urbanísticos. Los resultados se espacializaron conforme a: Bandas Urbanas Características, orientaciones cardinales principales y el Gran San Juan (GSJ) como unidad. Se concluye que el consumo de gas y electricidad, está relacionado con el incremento del Factor de Ocupación del Suelo, la Densidad Volumétrica Edilicia y la ICU, no siendo así para el caso de la densidad poblacional. En el GSJ, el consumo de gas en invierno se incrementa un 400% con respecto al de verano y el consumo de electricidad en verano aumenta un 32% en relación al consumo de invierno.

Palabras clave: Calor Antropogénico, Índices Urbanísticos, Densidad Poblacional, Isla de Calor.

INTRODUCCIÓN

De todos los procesos de deterioro involucrados en la crisis ambiental global, el cambio climático es el más grave, ya que los efectos derivados del mismo afectan los diferentes aspectos de la ordenación del territorio y el medio ambiente construido, incluida la estructura del edificio externo, la integridad estructural, los ambientes internos, la infraestructura de servicios, los espacios abiertos así como la comodidad y la forma de utilizar el espacio interior y exterior. Cabe destacar que los cambios en el clima pueden reducirse. Por ello, buscar soluciones al cambio climático significa afrontar el papel que tienen las ciudades tanto en el problema como en la solución. Entre las responsabilidades de los diferentes actores de la sociedad está el concebir al proyecto arquitectónico como un potencial para la reducción de emisiones no sólo a través del cambio de hábitos cotidianos de uso sino también a través de la modificación del diseño arquitectónico y urbano.

El calor antropogénico se produce como subproducto de la calefacción en invierno, aire acondicionado en verano y de otras actividades. Actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la contaminación industrial a gran escala, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, entre otras, han llevado a la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera junto con una reducción de la capacidad de los océanos y de la vegetación de absorber estos gases. Esto ha reducido la habilidad natural de la Tierra para restablecer el equilibrio al ciclo del carbono, lo que está ocasionando los cambios globales actuales en las temperaturas medias (ONU Habitat-Informe Ejecutivo).

El fenómeno de Isla de Calor es uno de los aspectos más importantes del clima urbano, siendo la cantidad de población urbana y su distribución en el tejido urbano variables fundamentales en la generación de la misma. La edificación es un sector de enorme influencia en la evolución del consumo de energía y las emisiones de CO₂. En el conjunto de la Unión Europea, los edificios son responsables del 40% del consumo total de energía¹ y del 36% de las emisiones de dióxido de carbono (WWF - España 2010). De manera que, la modalidad de distribución espacial de la edificación también ejerce una importante influencia en la generación de la Isla de Calor a través de sus índices urbanísticos principales tales como: Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y Densidad Volumétrica edilicia (DV).

En base a esto puede afirmarse que las condiciones de Isla de Calor Urbana están relacionadas con la masa térmica urbana y el calor antropogénico (Papparelli, A.; Kurbán A.; Cúnsulo M.; et al, 2011), de manera que este trabajo constituye el comienzo del estudio de las variables intervinientes en la producción del calor antropogénico, como importantes factores incidentes en el aumento de la temperatura y disminución de la humedad relativa de la ciudad en relación a las zonas no urbanas o periféricas. El objetivo fue analizar en el Gran San Juan la distribución de los consumos de energía eléctrica y gas natural y envasado, a fin de relacionarlos con otras variables antrópicas tales como: Población, Factor de Ocupación del Suelo, Densidad Volumétrica Edilicia e Isla de Calor Urbana.

¹ Becaria Tipo 1 - CONICET en Formación Doctoral

² Directora de Beca. Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

³ Director Organizador INEAA; Prof. Titular FAUD-UNSJ; Prof. Ppal. CONICET

⁴ Prof. Ppal. CONICET

ELABORACIÓN DE PLANO GEOREFERENCIADO - GRAN SAN JUAN Y BUC

Se adoptó como área de estudio el límite urbano del Gran San Juan (Papparelli, A.; Kurbán A.; Cúnsulo M.; et al, 2011) y sus consiguientes Bandas Urbanas Características (BUC) las que se definen como: "Áreas homogéneas y continuas del ejido urbano, que se presentan como zonas circunvalares al centro, con índices urbanísticos de similar valor, comprendidas entre dos isolíneas representativas del Factor de Ocupación del Suelo, que identifican su límite territorial y su estado de situación espacial" (Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M., et al 2009). Las Bandas Urbanas Características son 4 y están definidas por: BUC Eminentemente Urbana (FOS>40%; DV >15.000m³/Ha), BUC Urbana (40% >FOS >20%; 15.000m³/Ha >DV > 8.000m³/Ha), BUC Suburbana (20% >FOS >5%; 8.000m³/Ha >DV >1.000m³/Ha); BUC No Urbana (5% >FOS; 1.000m³/Ha > DV). Cabe destacar que las BUC son distintas espacializaciones dentro del GSJ y las mismas surgen de la aplicación del "Método PCK" (Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M., et al 2009). En la Fig. 1 pueden observarse los límites correspondientes a las distintas BUC.

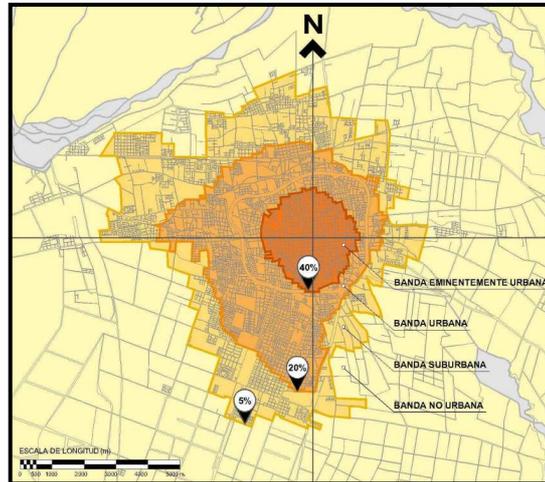


Fig. 1: Bandas Urbanas Características (BUC)

A la base digital del Gran San Juan, se les superpusieron los polígonos correspondientes a las distintas BUC así como también los radios censales provistos por el INDEC (Censo Nacional de Población y Vivienda 2001), generando una "plantilla" georeferenciada con los límites de la ciudad y las direcciones cardinales principales (Norte, Sur, Este y Oeste). Esta georeferenciación permitió espacializar la población, según diferentes criterios: por sector cardinal principal, por radio censal y por BUC. Integrando los resultados se obtuvo la distribución de la población en todo el Gran San Juan.

RELEVAMIENTO ENERGÉTICO Y ESPACIALIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS

El relevamiento del consumo energético tomó como áreas muestra 64 nodos urbanos (Fig. 2) distribuidos en todo el Gran San Juan (Papparelli, A., et al, 2011) en los que desde el año 1995 se ejecutan mediciones de temperatura y humedad relativa. Por cada Nodo Urbano se tomaron 2 muestras distintivas, seleccionando las viviendas a relevar en relación a su representatividad urbana (FOS - DV) con respecto a las características del Nodo en general. Para el caso de aquellos Nodos que se encontraban dentro del microcentro de la ciudad, debido a la preponderancia del uso comercial del área, una única muestra resulto representativa del sector. Se relevó: consumo de energía eléctrica (KWh) y gas natural y envasado (m³ - Kg). Se considero Julio como el mes más representativo del período de invierno y Diciembre para el verano solicitando en cada vivienda la factura correspondiente.

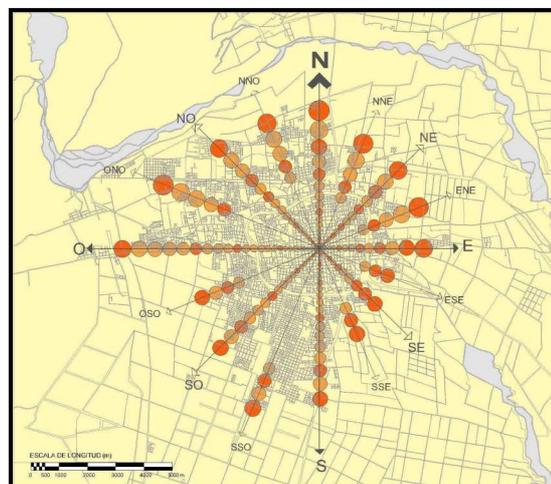


Fig. 2: Nodos Urbanos Muestra

Seguidamente se anexan las *Tablas N° 1, 2, 3 y 4*, que resumen los consumos de energía eléctrica y gas natural y envasado relevados discriminados por Nodo, período y orientación cardinal.

ORIENTACIÓN: NORTE					ORIENTACIÓN: SUR					ORIENTACIÓN: ESTE					ORIENTACIÓN: OESTE								
NODO	Nº de Pers.	GAS		ELECTRICIDAD		NODO	Nº de Pers.	GAS		ELECTRICIDAD		NODO	Nº de Pers.	GAS		ELECTRICIDAD		NODO	Nº de Pers.	GAS		ELECTRICIDAD	
		Período	m ³	Período	KWh			Período	m ³	Período	kwH			Período	m ³	Período	kwH			Período	m ³	Período	kwH
N2	2	INVIERNO	215	INVIERNO	127	S2	3	INVIERNO	300	INVIERNO	925	E2	4	INVIERNO	407	INVIERNO	160	O2	5	INVIERNO	315	INVIERNO	90
		VERANO	79	VERANO	243			VERANO	37	VERANO	470			VERANO	131	VERANO	343			VERANO	71	VERANO	254
N3	2	INVIERNO	202	INVIERNO	67	S5	4	INVIERNO	338	INVIERNO	178	E5	7	INVIERNO	278	INVIERNO	117	O5	4	INVIERNO	506	INVIERNO	482
		VERANO	117	VERANO	190			VERANO	94	VERANO	247			VERANO	99	VERANO	120			VERANO	221	VERANO	641
N8	3	INVIERNO	248	INVIERNO	176	S9	4	INVIERNO	331	INVIERNO	159	E8	3	INVIERNO	359	INVIERNO	153	O10	7	INVIERNO	452	INVIERNO	447
		VERANO	71	VERANO	220			VERANO	77	VERANO	277			VERANO	65	VERANO	210			VERANO	176	VERANO	434
N12	5	INVIERNO	295	INVIERNO	186	S14	5	INVIERNO	196	INVIERNO	135	E10	4	INVIERNO	592	INVIERNO	146	O16	4	INVIERNO	807	INVIERNO	338
		VERANO	62	VERANO	243			VERANO	50	VERANO	358			VERANO	94	VERANO	182			VERANO	105	VERANO	511
N14	5	INVIERNO	196	INVIERNO	159	S19	4	INVIERNO	202	INVIERNO	218	E12	7	INVIERNO	562	INVIERNO	246	O20	5	INVIERNO	184	INVIERNO	129
		VERANO	81	VERANO	195			VERANO	46	VERANO	437			VERANO	72	VERANO	397			VERANO	100	VERANO	176
N16	6	INVIERNO	402	INVIERNO	597	S21	3	INVIERNO	336	INVIERNO	220	E13	5	INVIERNO	280	INVIERNO	130	O25	4	INVIERNO	519	INVIERNO	192
		VERANO	57	VERANO	940			VERANO	41	VERANO	235			VERANO	69	VERANO	312			VERANO	74	VERANO	251

Tabla 1: Orientación Norte

Tabla 2: Orientación Sur

Tabla 3: Orientación Este

Tabla 4: Orientación Oeste

A los fines de realizar análisis direccionales de cada variable se espacializó la distribución de los consumos a partir de las coordenadas "x" e "y" de los 64 Nodos de Relevamiento Urbanos, y de la variable "z", cuyo valor fue obtenido de las muestras recogidas en la encuesta energética. La coordenada "z" correspondiente a datos relacionados al consumo se ajusta en relación a la variable energética en estudio (gas o electricidad) y a la estación climatológica considerada (invierno o verano). A dicha modelización se le realizaron cortes horizontales a equidistancias adecuadas a cada variable analizada, a fin de obtener isóneas de cada uno de ellos. El análisis direccional se hizo mediante la ejecución de cortes verticales al modelo tridimensional según las orientaciones cardinales principales, obteniéndose puntos de intersección entre estos planos de corte y las isóneas respectivas. A partir del uso de este método pudo conocerse cada variable energética en cualquier punto del GSJ. Cabe destacar que, en todos los casos se utilizó un modelo de interpolación espacial de datos y los planos de corte horizontales fueron realizados para el caso de gas a intervalos de corte de 25m³ para invierno y 5m³ para verano. En lo que respecta a electricidad los planos de corte considerados fueron tanto en invierno como en verano de 25KWh. A continuación se adjunta las *Fig. 3 y 4* en las cuales se muestran a modo de ejemplo, las isóneas de consumo de electricidad en invierno y verano y gas para invierno y verano para el Gran San Juan.

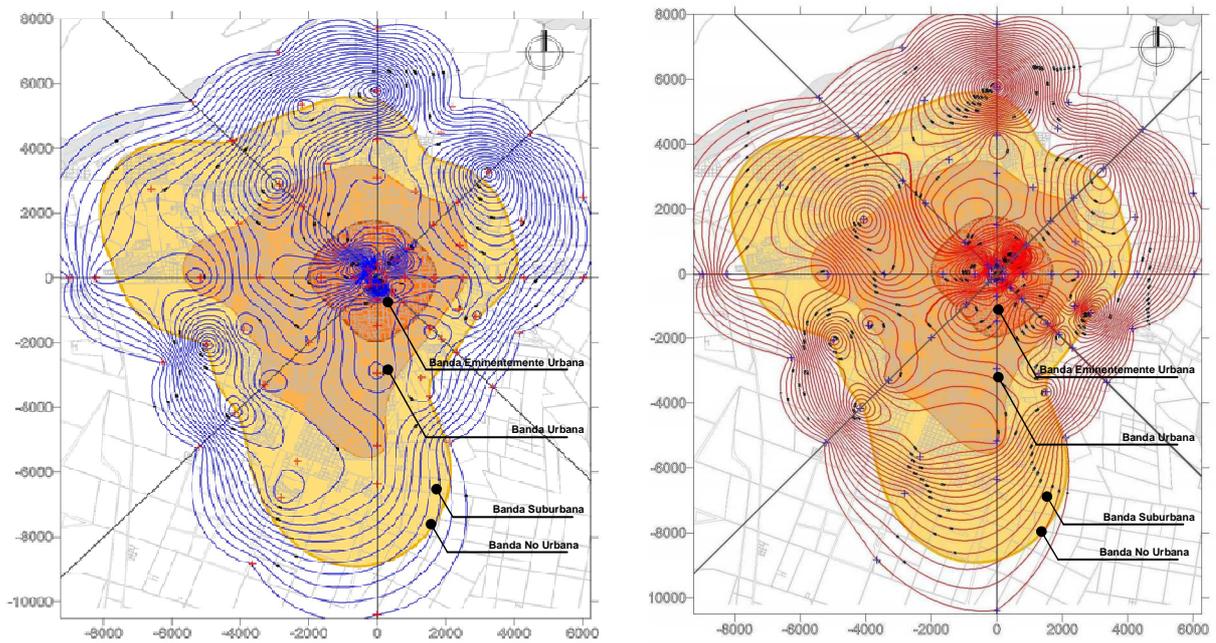


Fig. 3: Isóneas de Consumo de Electricidad en Invierno y Verano para el GSJ

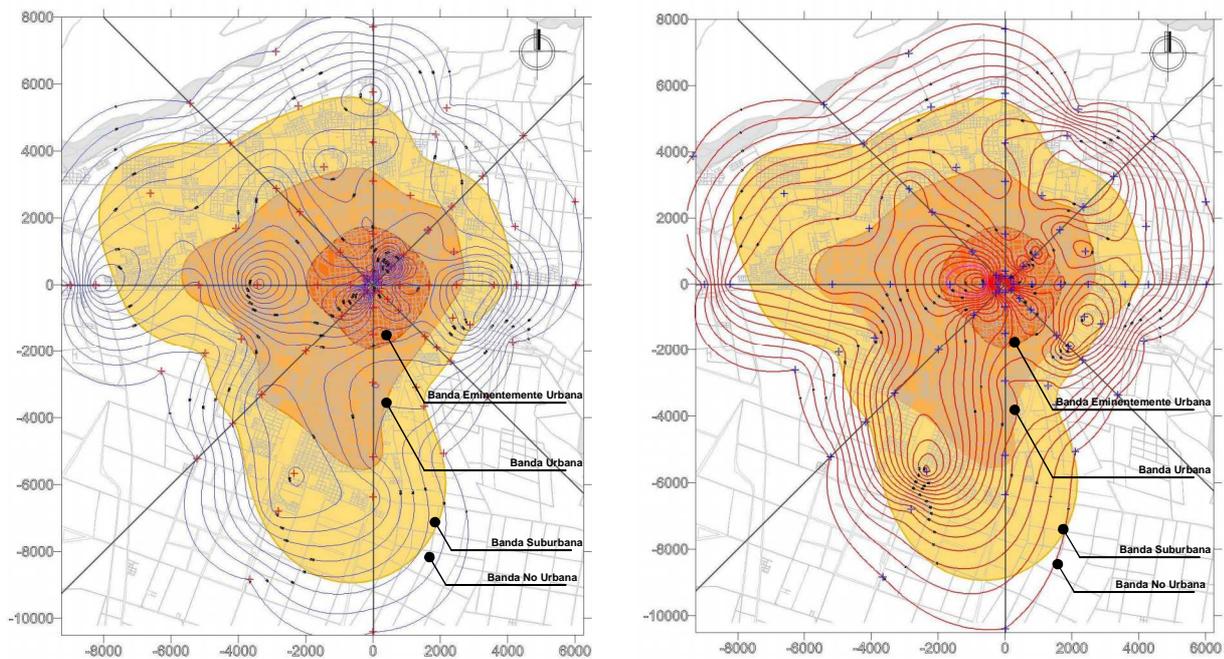


Fig. 4: Isolíneas de Consumo de Gas en Invierno y Verano para el GSJ

CORRELACIONES CONSUMO ENERGÉTICO – POBLACIÓN, VARIABLES URBANAS E ISLA DE CALOR

Se correlacionó espacialmente el consumo de energía eléctrica y de gas con variables de población (Densidad Poblacional), urbanísticas (Factor de Ocupación del Suelo y Densidad Volumétrica Edilicia) y microclimáticas (Isla de Calor Urbana). Se analizó de a pares (invierno y verano) y según direcciones cardinales (Norte-Sur-Este-Oeste), por BUC y luego tomando todo el Gran San Juan. En dichas gráficas se aplicó un ajuste lineal a fin de conocer la tendencia del consumo energético en función de las variables de estudio.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL GRAN SAN JUAN

En la *Tabla 5* pueden observarse, discriminados por estación climática, los resultados obtenidos para la correlación entre Densidad Poblacional y Consumo Energético de Gas y Electricidad.

DENSIDAD POBLACIONAL (hab/HA)	VARIABLES ENERGÉTICA			
	GAS INVIERNO (m3)	ELECTRICIDAD INVIERNO (KWh)	GAS VERANO (m3)	ELECTRICIDAD VERANO (KWh)
10	196	277	37	345
20	188	262	38	328
30	180	247	39	312
40	171	231	39	295
50	163	216	40	278
60	155	200	41	262

Tabla 5: Dens. Poblacional - Consumo Energético Estacional

A continuación se anexan las *Figs. 5, 6, 7 y 8* las cuales ilustran la correlación existente entre el Consumo de Gas y Electricidad en invierno y verano y la Densidad Poblacional para el GSJ.

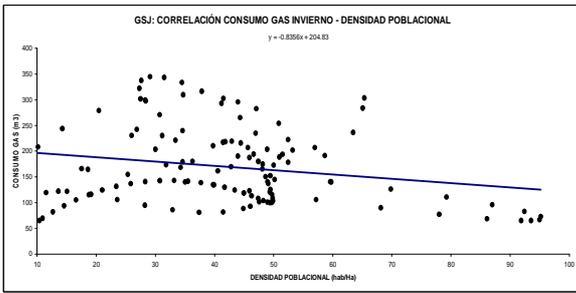


Fig. 5: Correlación Gas Invierno - Dens. Poblacional

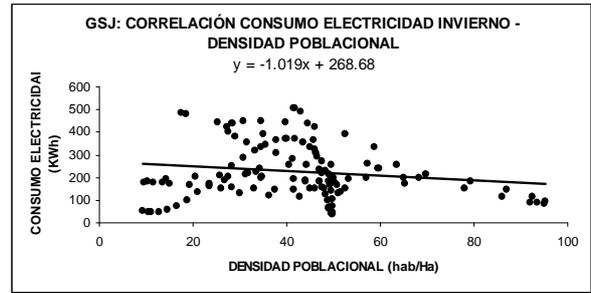


Fig. 6: Correlación Electricidad Inv. - Dens. Poblacional

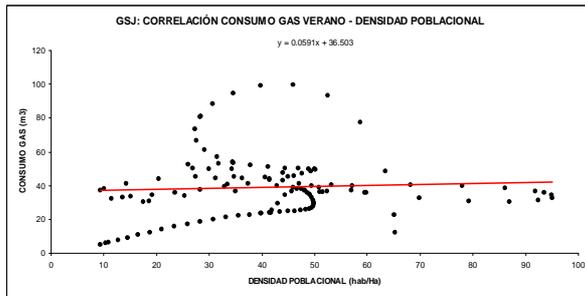


Fig. 7: Correlación Gas Verano - Dens. Poblacional

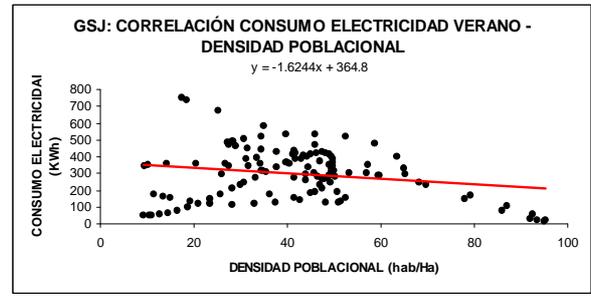


Fig. 8: Correlación Electric. Verano - Dens. Poblacional

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para la correlación entre el Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y Consumo Energético de Gas y Electricidad para invierno y verano.

FOS (%)	VARIABLES ENERGÉTICA			
	GAS INVIERNO (m3)	ELECTRICIDAD INVIERNO (KWh)	GAS VERANO (m3)	ELECTRICIDAD VERANO (KWh)
10	136	196	29	254
20	151	210	35	274
30	167	224	40	294
40	182	238	45	314
50	197	252	51	334
55	205	259	54	344

Tabla 6: FOS - Consumo Energético Estacional

A continuación se anexan las Figs. 9, 10, 11 y 12 las cuales muestran la correlación existente entre el Consumo de Gas y Electricidad en invierno y verano y el Factor de Ocupación del Suelo (FOS) para el GSJ.

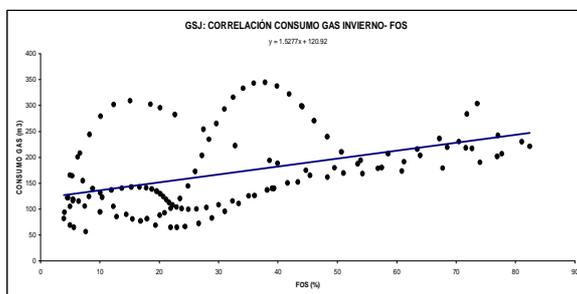


Fig. 9: Correlación Gas Invierno - FOS

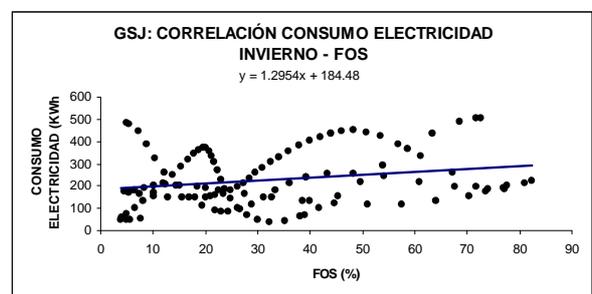


Fig. 10: Correlación Electricidad Invierno - FOS

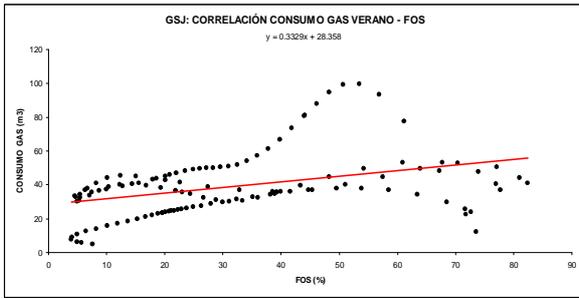


Fig. 11: Correlación Gas Verano - FOS

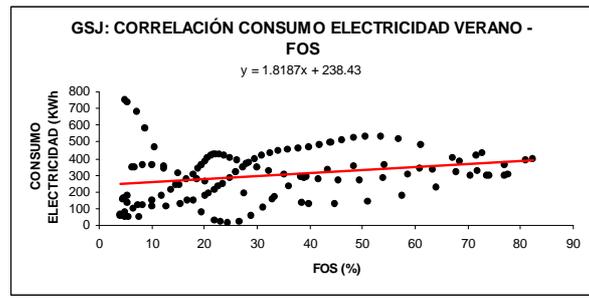


Fig. 12: Correlación Electricidad Verano - FOS

En la *Tabla 7* pueden observarse, discriminados por estación climática, los resultados obtenidos para la correlación entre Densidad Volumétrica Edilicia (DV) y Consumo Energético de Gas y Electricidad.

DENSIDAD VOLUMÉTRICA EDILICIA (m³/HA)	VARIABLES ENERGÉTICA			
	GAS INVIERNO (m³)	ELECTRICIDAD INVIERNO (KWh)	GAS VERANO (m³)	ELECTRICIDAD VERANO (KWh)
10000	165	218	38	279
20000	195	238	44	299
30000	225	258	51	319
40000	255	278	57	339
50000	285	298	64	359
60000	315	318	70	379

Tabla 7: DV - Consumo Energético Estacional

A continuación se anexan las *Figs. 13, 14, 15 y 16* las cuales expresan la correlación existente entre el Consumo de Gas y Electricidad en invierno y verano y la Densidad Volumétrica Edilicia (DV) para el GSJ.

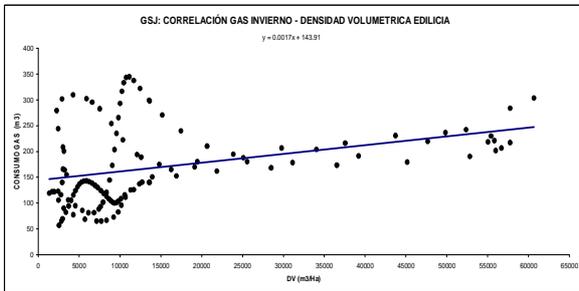


Fig. 13: Correlación Gas Invierno - DV

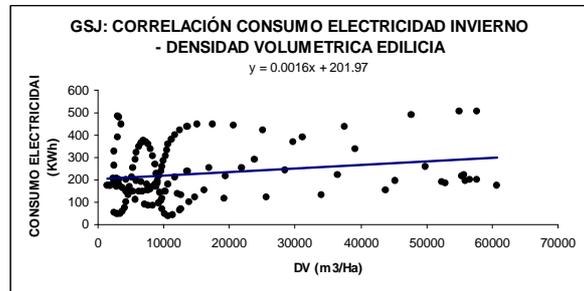


Fig. 14: Correlación Electricidad Invierno - DV

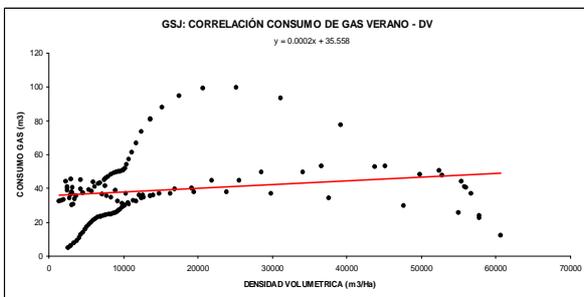


Fig. 15: Correlación Gas Verano - DV

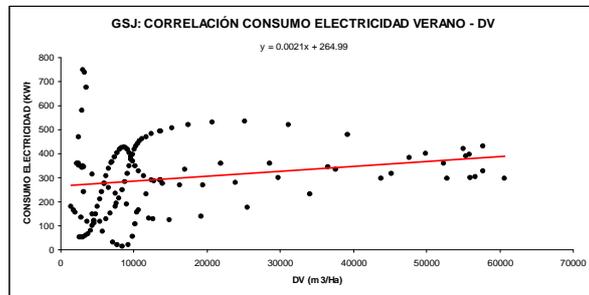


Fig. 16: Correlación Electricidad Verano - DV

La *Tabla 8* muestra los resultados obtenidos para la correlación entre el Isla de Calor Urbana (ICU) de invierno y Consumo Energético de Gas y Electricidad para invierno.

ICU - Invierno	VARIABLES ENERGÉTICA			
	GAS INVIERNO (m3)	ELECTRICIDAD INVIERNO (KWh)	GAS VERANO (m3)	ELECTRICIDAD VERANO (KWh)
0,5	161	215	/	/
1	193	230		
1,5	226	244		
2	258	258		
2,5	290	273		
3	322	287		

Tabla 8: ICU invierno - Consumo Energético Invierno

A continuación se anexan las Figs. 17 y 18 las cuales exponen la correlación existente entre el Consumo de Gas y Electricidad en invierno y la Isla de Calor - invierno (ICU) para el GSJ.

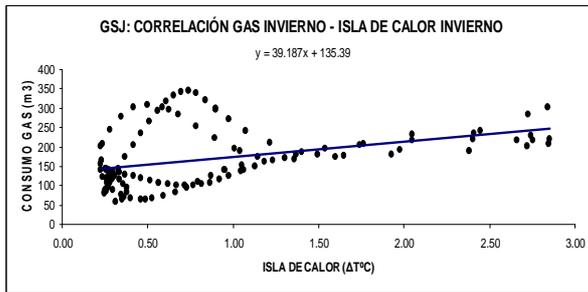


Fig. 17: Correlación Gas Invierno - ICU

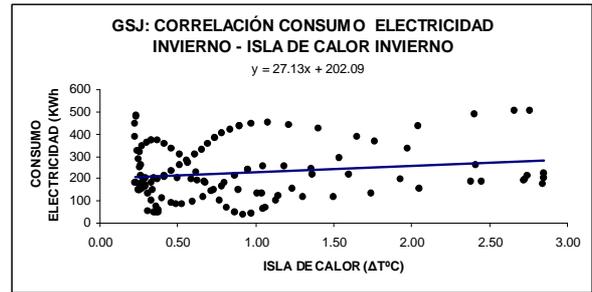


Fig. 18: Correlación Electricidad Invierno - ICU

La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos para la correlación entre el Isla de Calor Urbana (ICU) de verano y Consumo Energético de Gas y Electricidad para verano.

ICU (Verano)	VARIABLES ENERGÉTICA			
	GAS INVIERNO (m3)	ELECTRICIDAD INVIERNO (KWh)	GAS VERANO (m3)	ELECTRICIDAD VERANO (KWh)
0,5	/	/	35	270
1			39	290
1,5			44	310
2			48	331
2,5			52	351
3			57	371

Tabla 9: ICU verano - Consumo Energético Verano

A continuación se anexan las Figs. 19 y 20 las cuales exponen la correlación existente entre el Consumo de Gas y Electricidad en verano y la Isla de Calor - verano (ICU) para el GSJ.

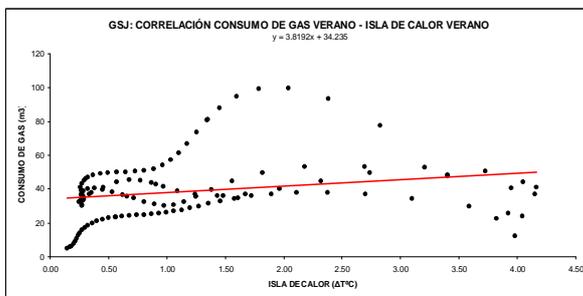


Fig. 19: Correlación Gas Verano - ICU

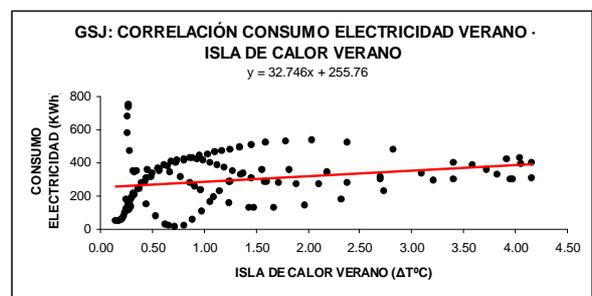


Fig. 20: Correlación Electricidad Verano - ICU

CONCLUSIONES

La ciudad de San Juan debido a la configuración morfológica de su trama urbana presenta un área central de marcadas características. En coincidencia con este centro urbano reconocible se encuentra la BUC Eminentemente Urbana, en la cual se observan valores máximos tanto de FOS, como de Densidad Volumétrica Edilicia y por tanto se obtienen los resultados más elevados de Isla de Calor tanto para invierno como para verano. De los valores promedios obtenidos para la variable densidad poblacional se desprende que para este sector del ejido urbano corresponden en general los valores más bajos de la misma. Cabe destacar que los valores máximos de densidad poblacional están en la BUC Urbana y descienden hacia el límite de la BUC Suburbana con la BUC No Urbana.

Para el GSJ se observa una clara correspondencia entre el consumo de energía (eléctrica y gas natural y envasado) y el FOS, la DV y la ICU no pudiendo identificarse una modalidad recíproca para el caso de la densidad poblacional. En otras palabras el centro de la ciudad de San Juan presenta los consumos más elevados de gas y electricidad tanto en invierno como en verano, al tiempo en que muestra también los valores más altos del factor de ocupación del suelo, la densidad volumétrica edilicia y la isla de calor. Es decir que el área céntrica es la más compacta en cuanto a su configuración y en consecuencia es el sector de la ciudad que más consume pero es la menos poblada por la predominancia de usos del suelo comercial e institucional. Dicha situación indica que las variables derivadas de la masa térmica construida influyen en el aumento de la isla de calor y el consumo energético. Cabe destacar que encontrar la razón de los picos de consumo en determinados lugares de la mancha urbana requiere un análisis más exhaustivo de variables tales como las tecnologías constructivas y los usos y costumbres.

Por último, para el GSJ el consumo promedio de gas en invierno presenta un incremento de aproximadamente el 400% con respecto al consumo de gas en verano. Por otra parte el consumo de energía eléctrica en verano se incrementa solo un 32% en relación al consumo de la misma en invierno. La razón de dicha diferencia podría radicar en el costo diferenciado de dichos servicios.

REFERENCIAS

- INDEC (2001). Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda. Instituto de Investigaciones Económicas y Estadísticas (2009) Radios Censales Provincia de San Juan. Población y Prognosis.
- Papparelli, A., Kurbán, A; Cúnsulo, M (2009). Planificación Sustentable del Espacio Urbano, ISBN 978-987-584-196-3. Editorial Klickzowski/NOBUKO.
- Papparelli, A., Kurbán, A; Cúnsulo, M (2011). Isla de calor y ocupación espacial urbana en San Juan, Argentina: análisis evolutivo - Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, Pags. 110-120, ISSN 2027-2103, Vol. 4, No. 7. Enero-Junio 2011. Bogota, Colombia.
- ONU Habitat-Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos (2011). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Primera Edición, Pag. 15, ISBN (Series): 978-92-1-131929-3, ISBN (Volume) 978-92-1-132330-6. <http://www.unhabitat.org/grhs/2011>.
- WWF España (2010). Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO2 del parque residencial existente en España en 2020, Pag. 6. [Http://www.wwf.es](http://www.wwf.es). Madrid, España.

ABSTRACT

We present the results of the study of anthropogenic heat variables which, together with the thermal mass of the city, working for the Urban Heat Island (UHI). The objective was to analyze the variables: consumption of electricity and gas in homes for winter and summer 2008 correlating them with the Population and urban indexes. The results are spatialized under: Urban Features Bands, major cardinal directions and the Great San Juan (GSJ) as a unit. We conclude that the consumption of gas and electricity, is related to the increase soil occupation factor, volumetric density of buildings and ICU, not so for the case of population density. In the GSJ, gas consumption in winter is increased by 400% over the summer and summer electricity consumption increased by 32% compared to winter consumption.

Keywords: anthropogenic heat, urban indexes, Population Density, Heat Island.