

Caso de aplicación:  
construcción de  
línea de base para  
el consumo  
energético de un  
hospital en Uruguay

---

Marcos Trinidad

Curso Eficiencia energética 2024

Facultad de ingeniería UDELAR

# ¿Por qué resulta de interés?

- Caso de aplicación de los conceptos del curso en un ámbito real con datos reales de una institución en Uy. En particular abordar el concepto de línea base que resulta fundamental para evaluar las MEF.
- Los procesos del hospital son muy diversos en fuentes y consumos energéticos: HVAC (condiciones de T, HR y particulado controladas), esterilización, cocción, calefacción, ACS, iluminación, fuerza motriz, equipos médicos, etc...
- No es un caso donde se puedan identificar fácilmente las variables predictoras.

# Repaso

## Línea de Base Energética

Definición según norma ISO 50001 (numeral 3.6)

**Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.**

Nota 1: Una línea de base energética refleja un período especificado

Nota 2: Una línea de base puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso y/o al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etc.

# Objetivos

Cuantificar la demanda energética del hospital para un periodo dado.

Caracterizar la demanda según fuentes energéticas y usos de la energía. Comparar con referencias académicas.

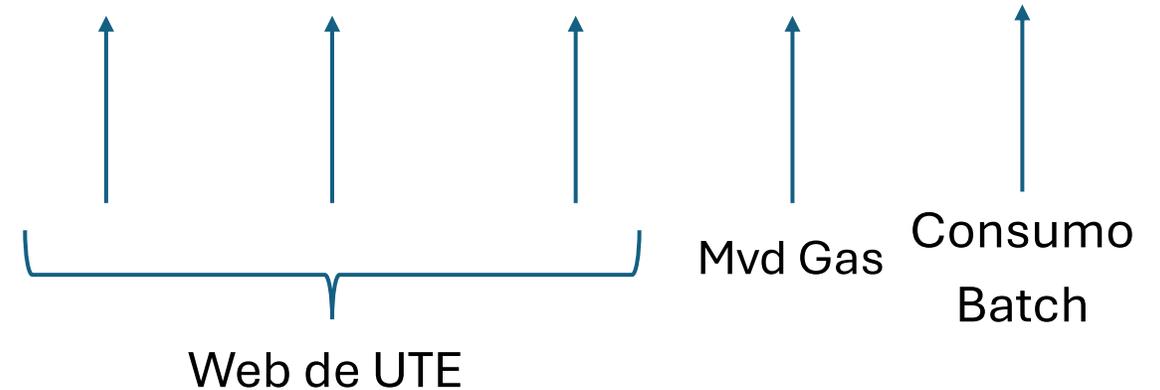
Investigar cuáles son los posibles predictores de la demanda (papers e hipótesis derivadas de los datos y la experiencia).

Establecer una línea de base para la demanda energética con un coeficiente de correlación mayor a 0,9.

# Periodo de tiempo y contabilidad energética

- Se toman datos de agosto de 2023 a Julio de 2024.
- Se considerarán los consumos correspondientes a cada mes.

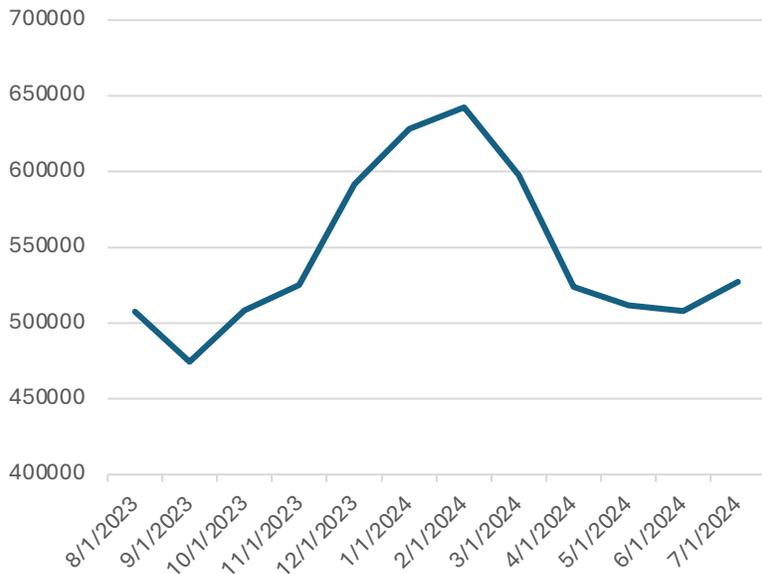
	UTE PUNTA (kWh)	UTE LLANO (kWh)	UTE VALLE (kWh)	MVD GAS (M3)	FUEL OIL (L)
31/7/2024	90.636.000.000	305.652.000.000	130.860.000.000	44.592	13050
30/6/2024	87.984.000.000	293.757.600.000	126.206.400.000	54.954	8.500
31/5/2024	88.730.400.000	296.731.200.000	126.108.000.000	45.110	7.500
30/4/2024	91.276.800.000	305.608.800.000	127.094.400.000	33.699	0
31/3/2024	104.342.400.000	348.177.600.000	145.156.800.000	17.919	7150
29/2/2024	110.510.400.000	380.304.000.000	151.548.000.000	19.224	6000
31/1/2024	109.663.200.000	370.749.600.000	147.945.600.000	23.714	6300
31/12/2023	103.298.400.000	345.436.800.000	142.836.000.000	23.902	0
30/11/2023	92.817.600.000	308.424.000.000	123.758.400.000	35.582	6000
31/10/2023	88.264.800.000	295.327.200.000	124.670.400.000	38.538	5000
30/9/2023	81.734.400.000	275.450.400.000	117.232.800.000	39.354	4400
30/8/2023	87.631.200.000	295.207.200.000	124.608.000.000	43.484	9000



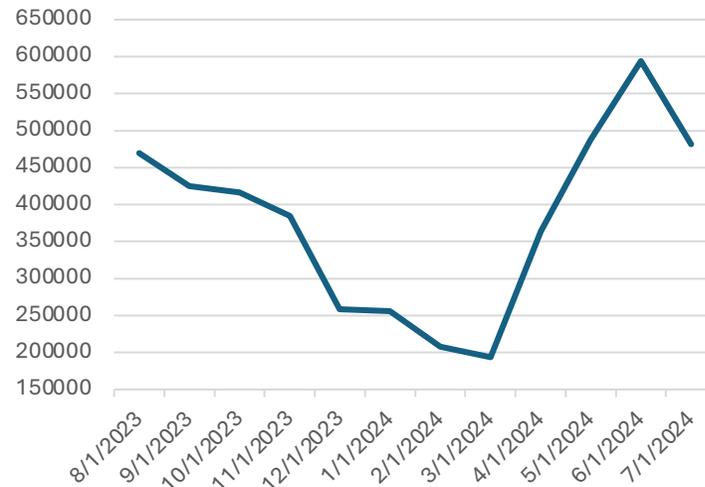
# Periodo de tiempo y datos de consumo

	Eléctrica	GN	Fuel oil	Total MWh
31/7/2024	527148	481979	148636	1158
30/6/2024	507948	593978	96813	1199
31/5/2024	511569,6	487578	85423	1085
30/4/2024	523980	364241	0	888
31/3/2024	597676,8	193680	81437	873
29/2/2024	642362,4	207785	68339	918
31/1/2024	628358,4	256316	71755	956
31/12/2023	591571,2	258348	0	850
30/11/2023	525000	384593	68339	978
31/10/2023	508262,4	416544	56949	982
30/9/2023	474417,6	425363	50115	950
30/8/2023	507446,4	470003	102508	1080

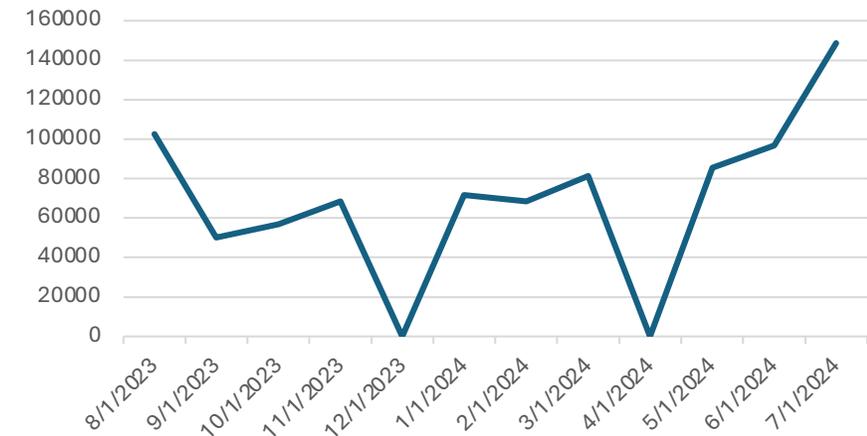
Consumo eléctrica



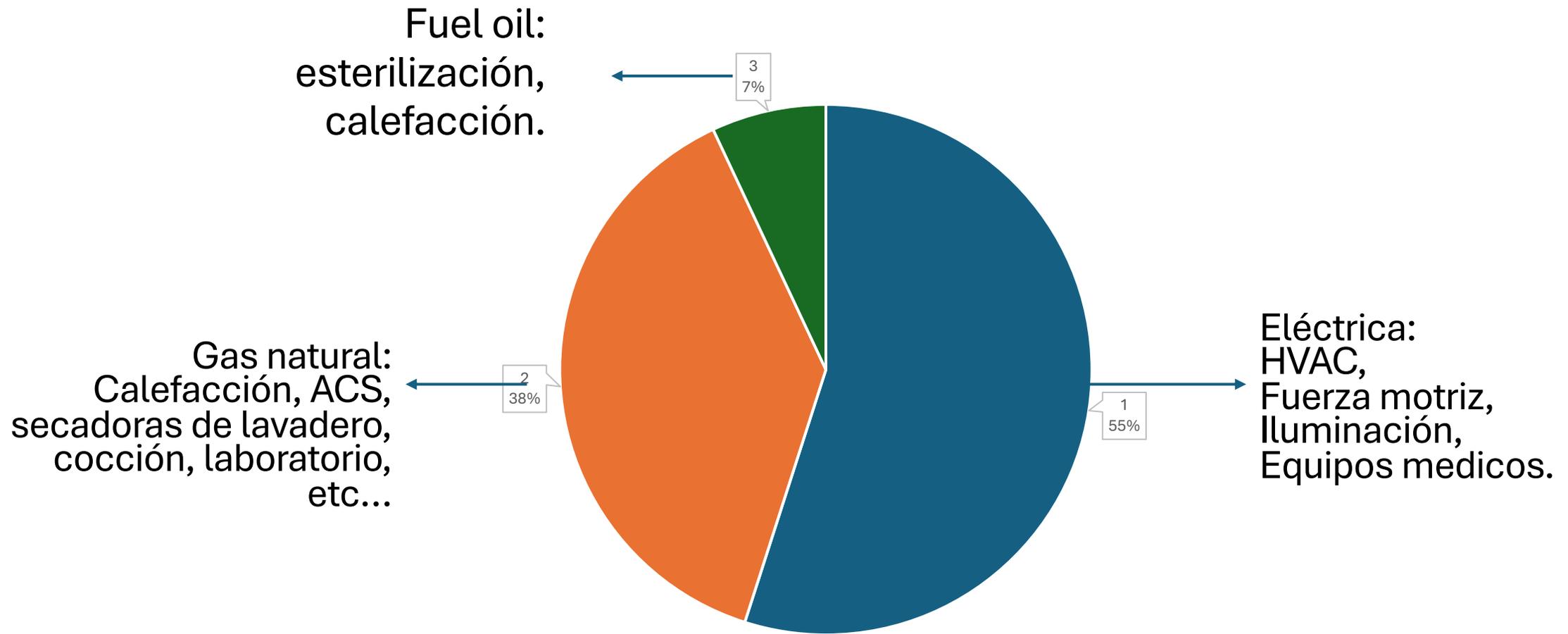
Consumo GN



Consumo FO



# Datos de consumo



# Caracterización del consumo en estudio US

Article

## Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States

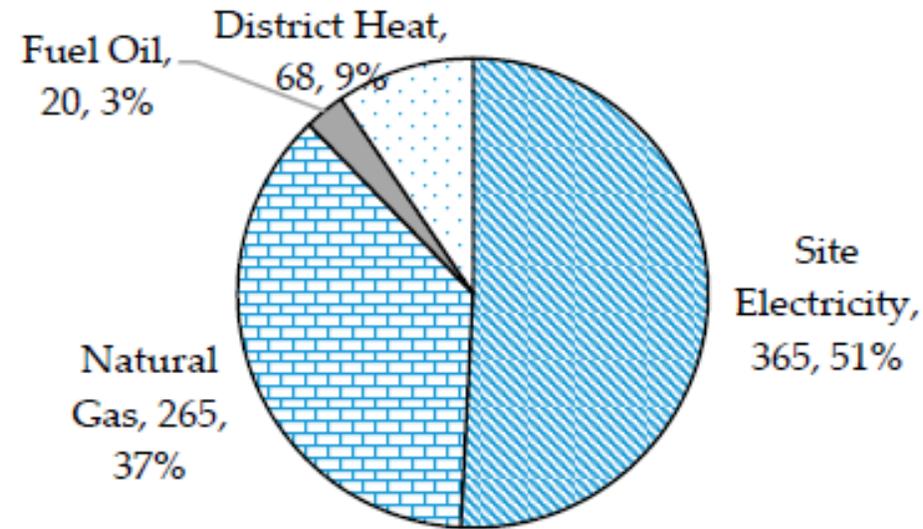


Figure 1. U.S. 2012 energy consumption in the percentage of the total energy consumed in healthcare buildings by energy source.

Utiliza fuentes de energía de manera similar → Es razonable pensar que los usos asociados a Cada energético también son similares.

# Identificación de las variables Predictoras

¿Qué correlaciones existen?

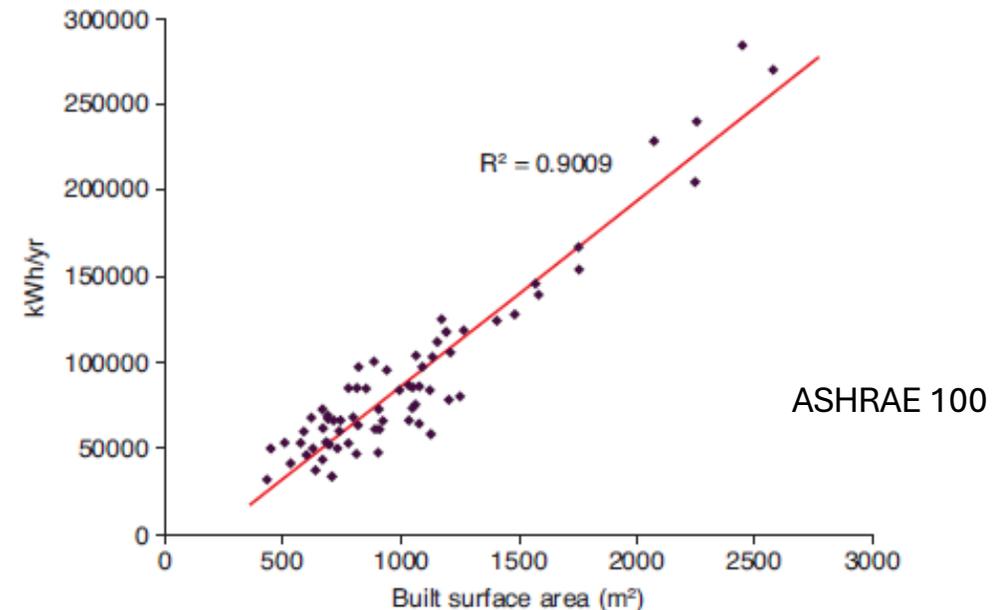
## A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain

Alfonso González González <sup>a</sup>, Justo García-Sanz-Calcedo <sup>b</sup> , David Rodríguez Salgado <sup>c</sup>

### Abstract

The accurate identification of the final energy consumption in hospitals is a key task to determine potential savings and therefore to set appropriate design criteria. However, correlations between consumption and functional indicators for Spanish hospitals have not been yet accounted for in detail. A total of 80 Eco-Management and Audit Schemes (EMAS) from 20 hospitals were analysed in the period 2005–2014 in order to seek correlations between energy consumption and climate conditions, gross domestic product (GDP), built surface area, number of available beds and number of staff.

### Analysis on Energy Efficiency in Healthcare Buildings



2. Relationship between the annual energy consumed and the built surface area in a healthcare centre.

# Variables Predictoras propuestas

- Producto bruto interno, superficie construida y cantidad de trabajadores staff: los considero constantes o con poca variación dentro del periodo analizado.
- Condiciones climáticas: considero tanto los HDD como los CDD.

# Variables “De producción”

- Ocupación de camas (variable de producción):  
 $\text{Días} * \text{cama\_ocupada} = \sum^{mes} \text{promedio diario de ocupación}$



Afecta:  
HVAC  
ACS  
CALEFACCIÓN  
ILUMINACIÓN  
COCCIÓN  
LAVADERO  
EQUIPOS MÉDICOS

# Variables “De producción”

-Cantidad de cirugías (variable de producción):  
Cirugías= $\sum^{mes}$  *cant diaria de cirugías*



Afecta:  
HVAC  
ESTERILIZACIÓN  
ILUMINACIÓN  
EQUIPOS MÉDICOS

# Variables “De producción”

-Cantidad de consultas en policlínica (variable de producción):  
Policlínicas =  $\sum^{mes}$  *cant diaria de consultas en poli*



Afecta:  
HVAC  
ILUMINACIÓN  
PC, ETC...

Pueden considerarse  
otras: estudios de  
imagenología, análisis de  
laboratorio, etc...

# Tabla de datos

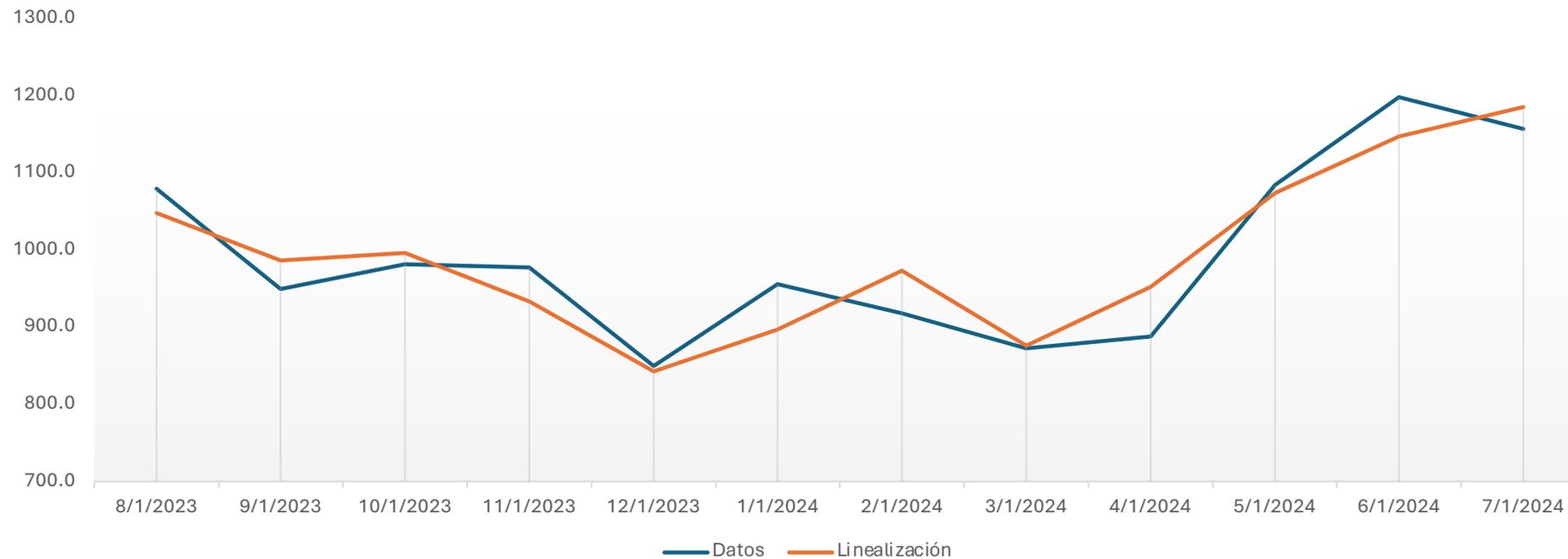
Fecha	Energía consumida	Días*cama ocupada	Policlínicas	Cirugías	HDD	CDD
31/7/2024	1157,8	3905	38795	864	442,1	0,1
30/6/2024	1198,7	4431	44456	732	299,3	0,7
31/5/2024	1084,6	4133	48911	933	330,2	0
30/4/2024	888,2	3957	41703	844	164,5	2,6
31/3/2024	872,8	3587	39311	648	80,8	12,4
29/2/2024	918,5	3277	35997	668	31,1	43,4
31/1/2024	956,4	3000	27942	534	49	29,9
31/12/2023	849,9	3171	39407	740	91,2	20,8
30/11/2023	977,9	3654	42471	963	145,7	14,2
31/10/2023	981,8	3799	39674	713	235,4	2,9
30/9/2023	949,9	3595	38898	711	284	0,9
30/8/2023	1080,0	3753	43001	903	331,9	3,1

Registro en SCADA de datos de admisión

degreedays.net -> Estación Carrasco

# Análisis de datos

Correlación de datos



## Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,930896619
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,866568515
R <sup>2</sup> ajustado	0,755375611
Error típico	55,88226169

5%

# Análisis de datos: ¡problema!

	<i>Coefficientes</i>
Intercepción	196,2799157
Días*cama ocupada	0,218945712
Policlínicas	-0,00610291
Cirugías	-0,017760034
HDD	0,87351923
CDD	6,079600462

$$\frac{\partial \text{Consumo}}{\partial \text{Policlínicas}} > 0$$

$$\frac{\partial \text{Consumo}}{\partial \text{Cirugías}} > 0$$

- Coeficientes sin sentido.

# Nueva matriz

Fecha	Energía consumida	Días* cama ocupada	HDD CAL	HDD Ref
31/7/2024	1157,8	3905	442,1	0,1
30/6/2024	1198,7	4431	299,3	0,7
31/5/2024	1084,6	4133	330,2	0
30/4/2024	888,2	3957	164,5	2,6
31/3/2024	872,8	3587	80,8	12,4
29/2/2024	918,5	3277	31,1	43,4
31/1/2024	956,4	3000	49	29,9
31/12/2023	849,9	3171	91,2	20,8
30/11/2023	977,9	3654	145,7	14,2
31/10/2023	981,8	3799	235,4	2,9
30/9/2023	949,9	3595	284	0,9
30/8/2023	1080,0	3753	331,9	3,1

# Análisis de datos

## Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,913923861
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,835256823
R <sup>2</sup> ajustado	0,773478132
Error típico	53,77484471

5% !

## Coefficientes

Intercepción	146,8937541
Días*cama ocupada	0,160022616
HDD CAL	0,896078601
HDD Ref	6,441725814

Correlación de datos



# Conclusiones

- El hospital tiene un perfil de consumo similar al de otras instituciones del mismo tipo analizadas en otras partes del mundo
- Se identificaron 3 predictores (día\*cama\_ocupada, HDD y CDD) para generar una línea de base de consumo energético global para un hospital en Uy, con coeficiente de correlación múltiple de 0,91.
- La variable de producción válida para predecir el consumo de energía es la ocupación de camas y se descartan las consultas a policlínico y las cirugías (que no son independientes de la ocupación).
- El análisis podría mejorar cambiando la forma de medir el consumo de FO.

# Referencias

## Healthcare Sector Energy Baseline and Key Performance Indicators

Technical Report - April 2020  
DOI: 10.1146/annurev.ee.11.2019.2000

CITATIONS  
4

4 authors:

 Wendy Fay Miller  
Queensland University of Technology  
92 PUBLICATIONS 1,028 CITATIONS  
[SEE PROFILE](#)

 Glenn Crompton  
Queensland University of Technology  
6 PUBLICATIONS 83 CITATIONS  
[SEE PROFILE](#)

READS  
1,059

 Aaron Liu  
Queensland University of Technology  
75 PUBLICATIONS 504 CITATIONS  
[SEE PROFILE](#)

 Yunlong Ma  
Queensland University of Technology  
16 PUBLICATIONS 151 CITATIONS  
[SEE PROFILE](#)

## Analysis on Energy Efficiency in Healthcare Buildings

Justo García-Sanz-Calcedo  
Department of Mechanical and Energetic Engineering, Extremadura University,  
Badajoz, Spain

Submitted November 2013. Accepted for publication May 2014.

### Article

## Energy Consumption Analysis and Characterization of Healthcare Facilities in the United States

Khaled Bawaneh<sup>1</sup>, Farnaz Ghazi Nezami<sup>2,\*</sup> , Md. Rasheduzzaman<sup>1</sup>  and Brad Deken<sup>1</sup>