

LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

Energías renovables vs. energías de origen nuclear y fósil.

José M. Martínez-Duart

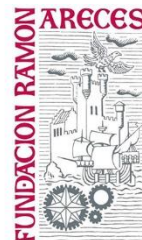
Presidente Grupo Especializado Energía (RSEF).
Ex-Presidente y Senador de la European Materials Research Society)

Jueves 6 de junio de 2019, 19.30 h.

Sede de la Fundación Ramón Areces, c. Vitruvio 5, 28006-Madrid

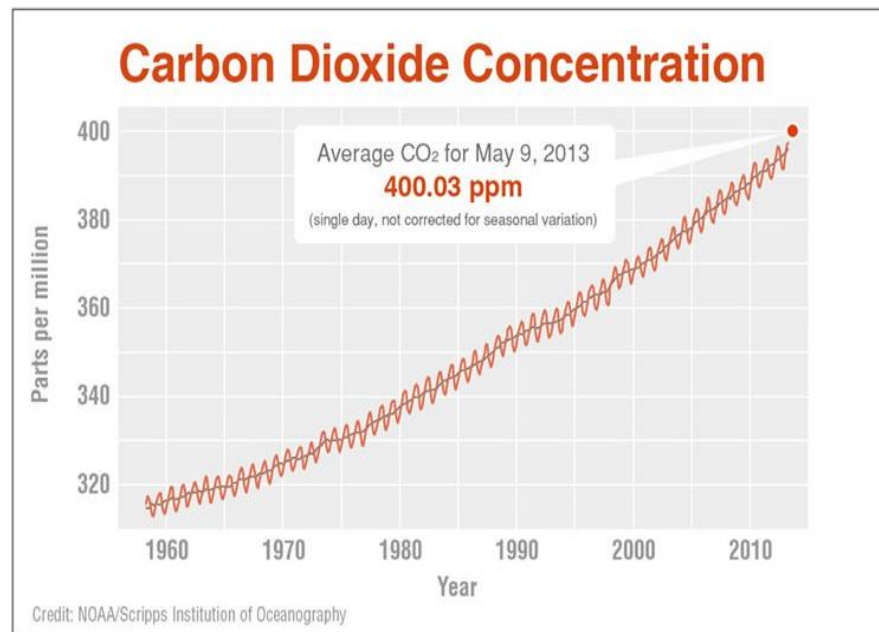


Real
Sociedad
Española de
Física

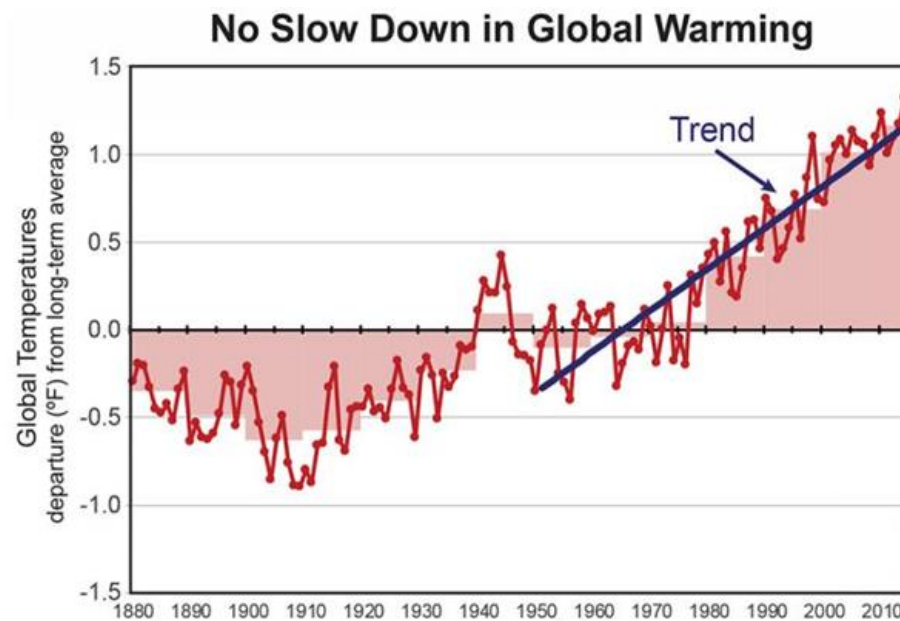


FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES

Increase of CO2 Concentration

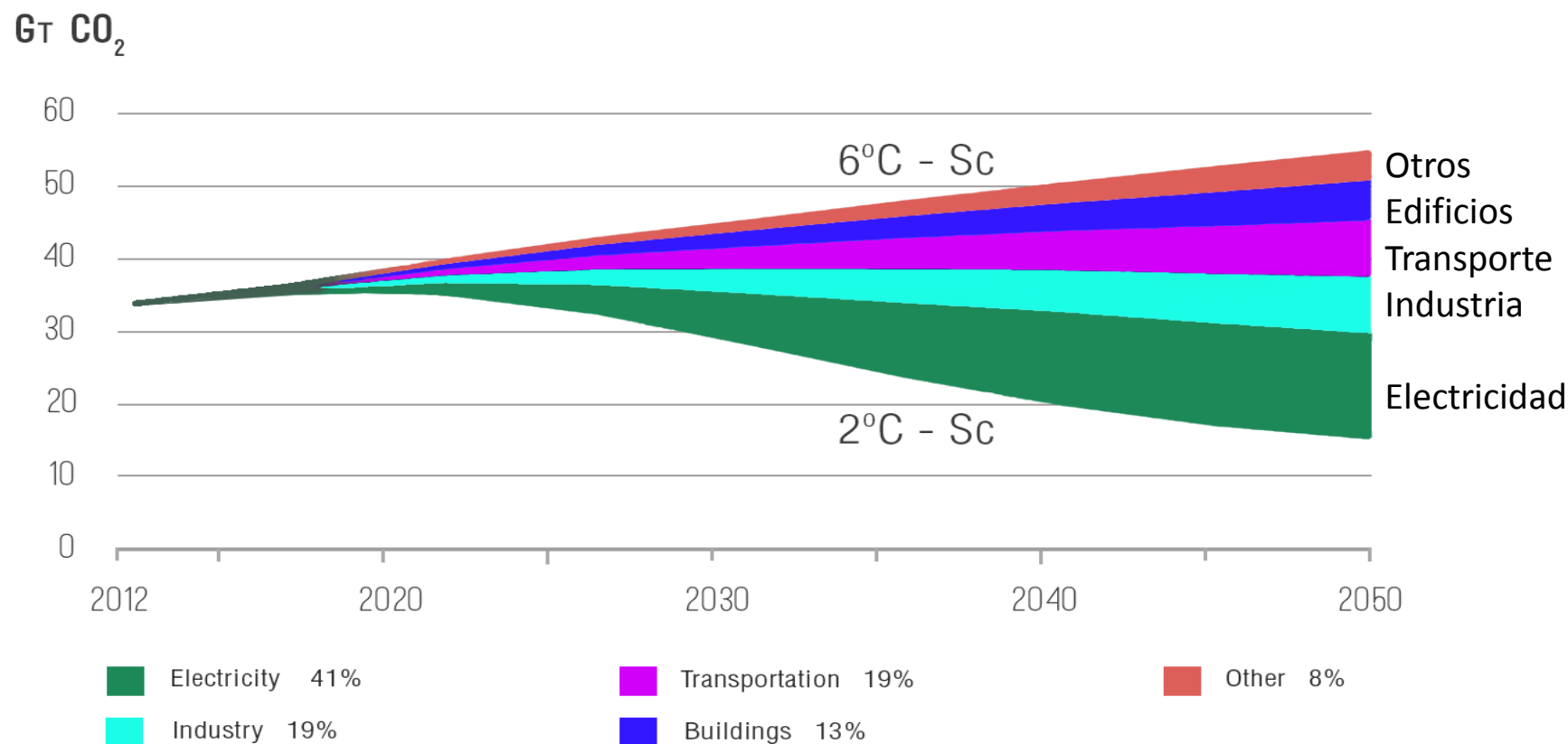


Increase of Temperature



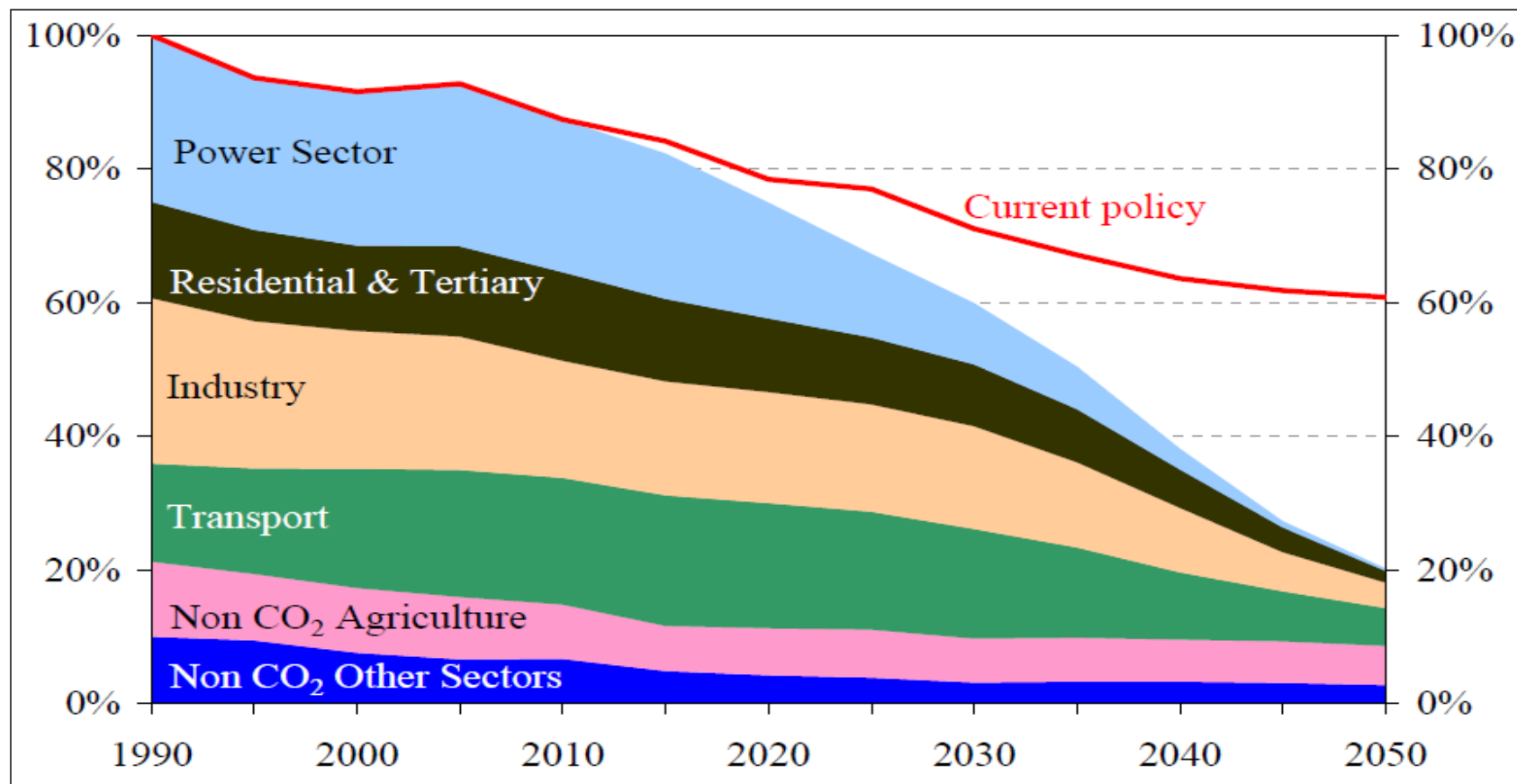
Source: NOAA Observatory, 2015

Escenarios AIE según evolución de emisiones CO₂ Esc 6°C y Esc 2°C



Source: International Energy Agency, Energy Technology Perspectives, Paris 2014

Escenarios Emisiones 2050 según Escenario Europeo



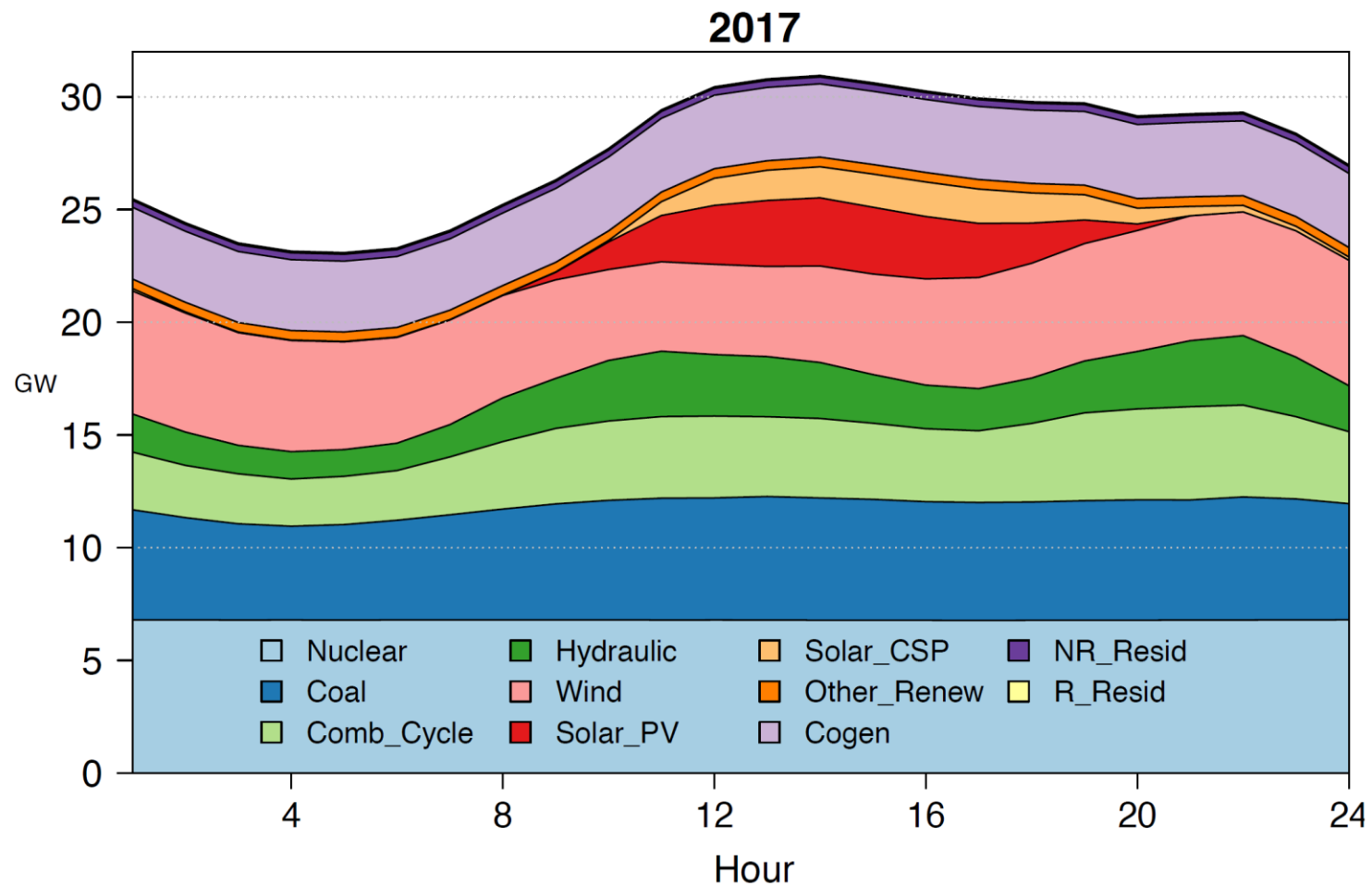
Electricidad Generada y Potencia en España en 2017

Table 1. Electricity generation by source in Spain for 2017. Source: Reference [11].

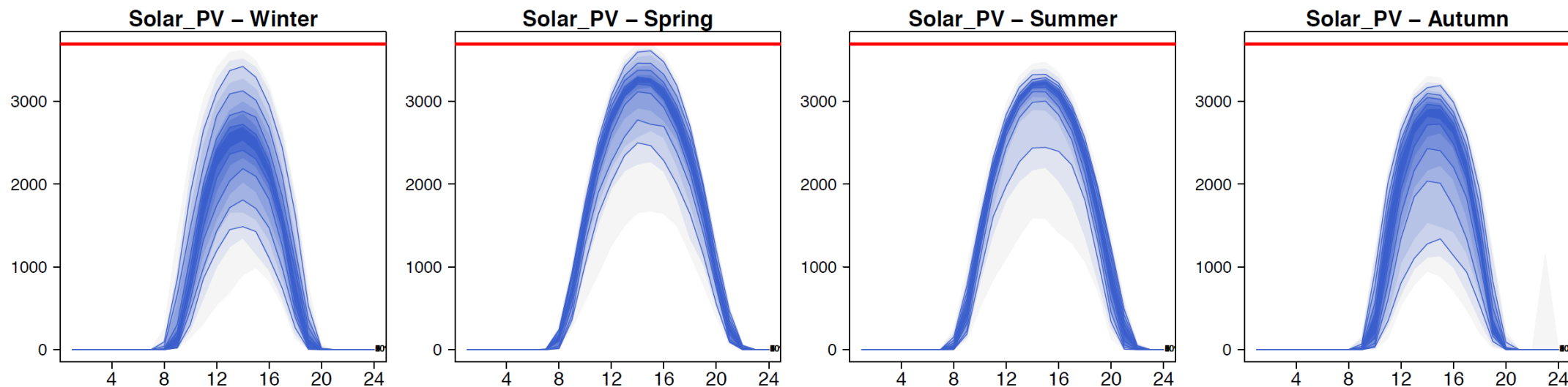
	Annual Energy (GWh)	Hourly Minimum (MWh)	Hourly Median b	Hourly Maximum (MWh)	Share (%)	Installed Capacity (MW)	Capacity Factor (%)
Hydroelectricity	20,638.8	327.9	2046.8	8334.2	8.34%	17,030	13.83%
Nuclear	55,333.2	3746.6	6792.7	7139.3	22.37%	7,117	88.75%
Coal	42,245.8	690.0	5047.0	8657.2	17.08%	9,536	50.57%
Comb. Cycle	33,576.3	453.7	2953.9	16,948.5	13.57%	24,948	15.36%
Wind	47,427.2	347.5	4868.6	15,570.1	19.17%	22,922	23.62%
Solar PV	7972.4	0.0	39.7	3690.0	3.22%	4,439	20.50%
Solar CSP	5343.1	0.0	272.1	2200.2	2.16%	2,304	26.47%
Other. Renew.	3586.8	246.6	423.7	495.0	1.45%	852	48.06%
Cogeneration	28,106.5	2181.2	3225.2	3767.8	11.36%	5,818	55.15%
Non-renew. Waste	2573.5	143.2	304.6	361.6	1.04%	459	64.00%
Renewable Waste	603.5	16.8	73.6	83.7	0.24%	123	56.01%
Total Generation	247,401.9						

Patrón horario Generación Electricidad según fuente.

(Media de todos los días del año)



Generación Horaria Fotovoltaica según estaciones del año



Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

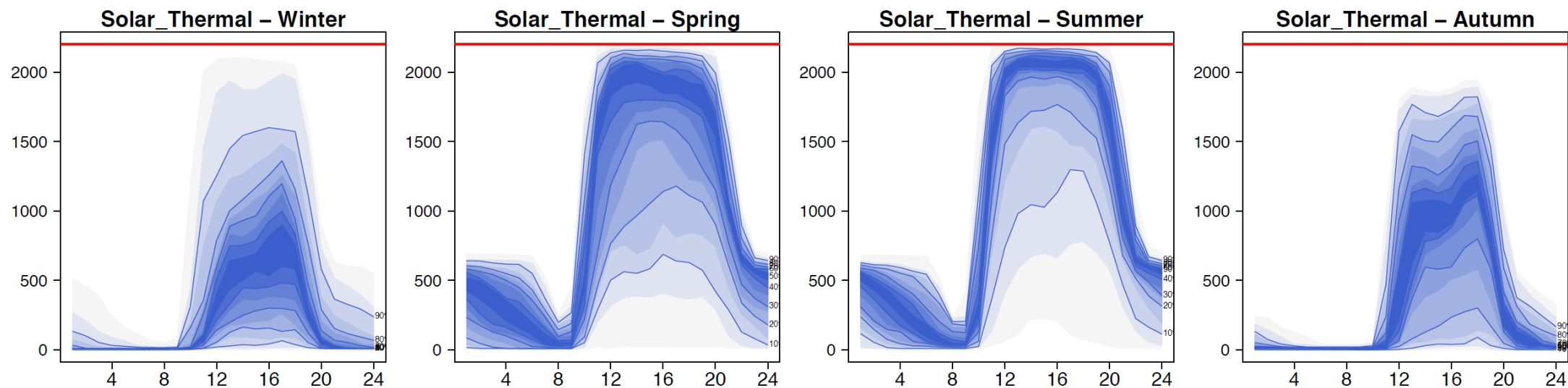
Electricidad Termo-Solar de Concentración



Plataforma Solar de Torre (CSP) de Abengoa

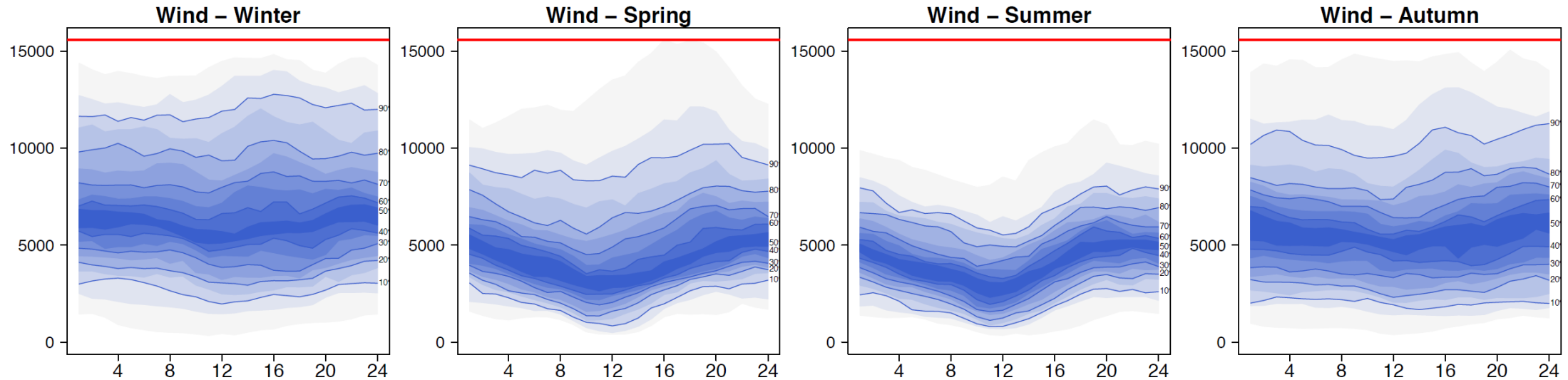
Source: Revista Española de Física, Vol. 27, Núm. 2, 2013
dedicado a “Física y Energía”,
Editores: J. M. Martínez-Duart, I. Mártel y J. F. Frenández

Generación Horaria Termo-Solar de Concentración (CSP) según estaciones.



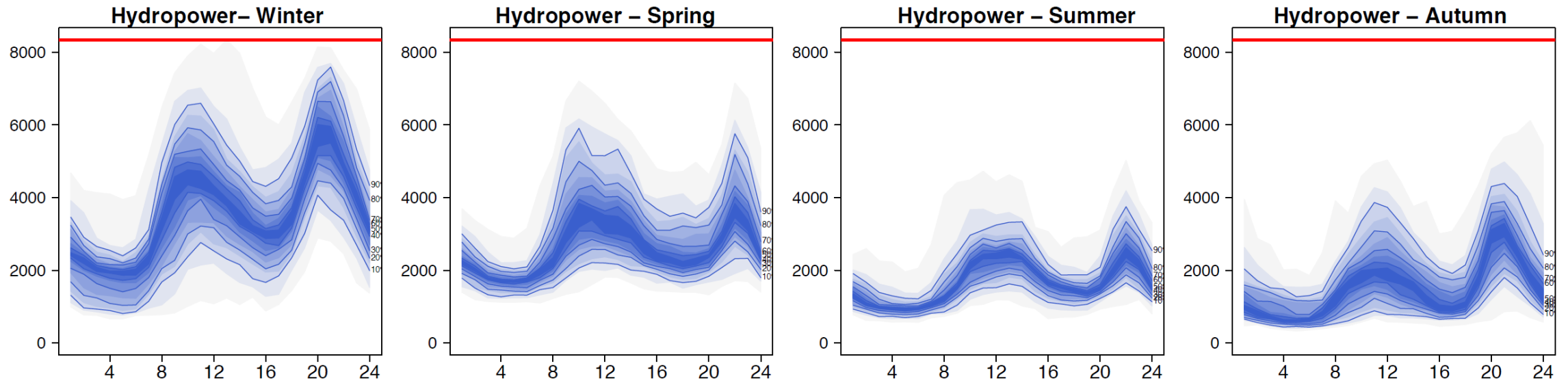
Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

Generación Horaria Eólica según estaciones



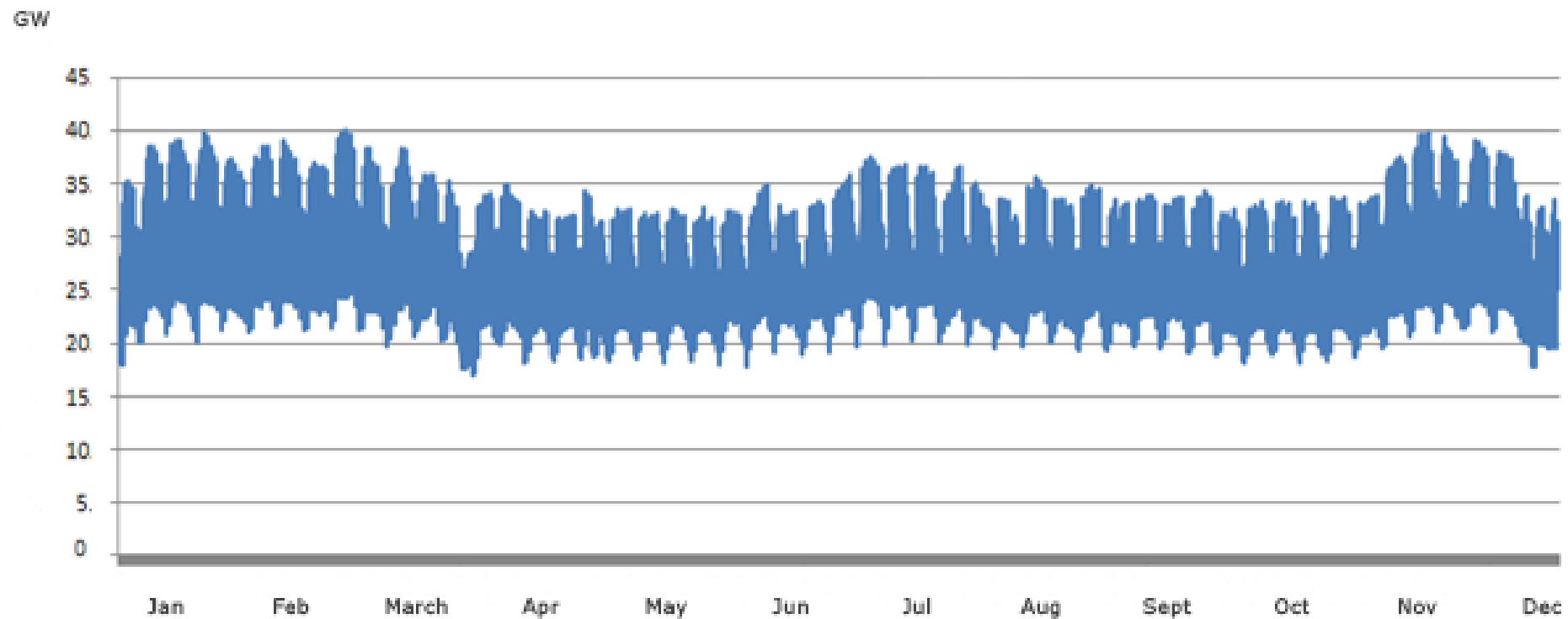
Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

Generación Horaria Hidráulica según estaciones

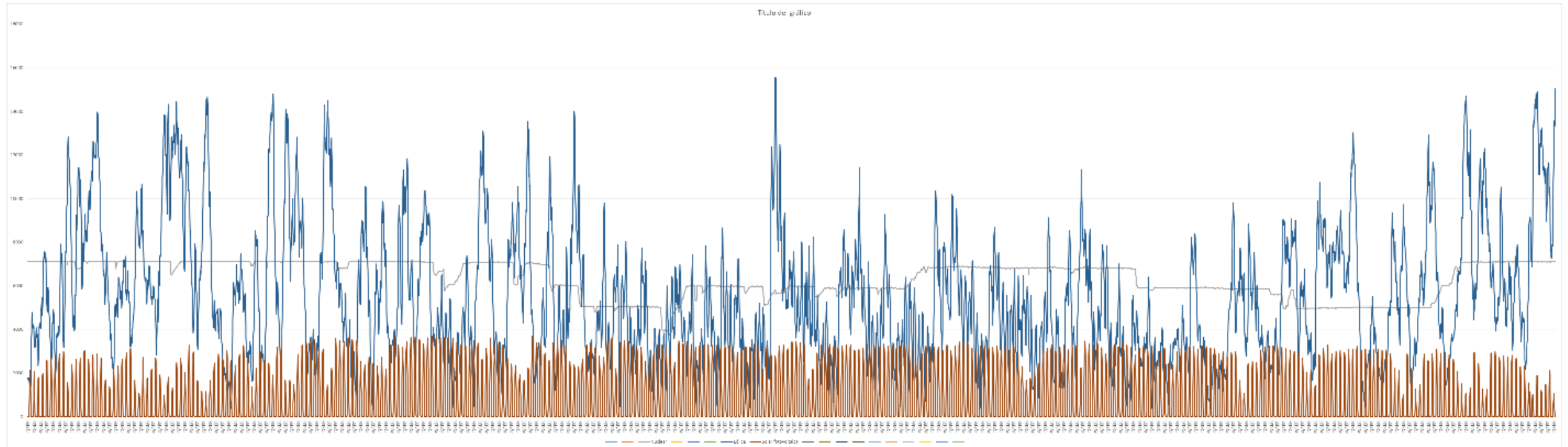


Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

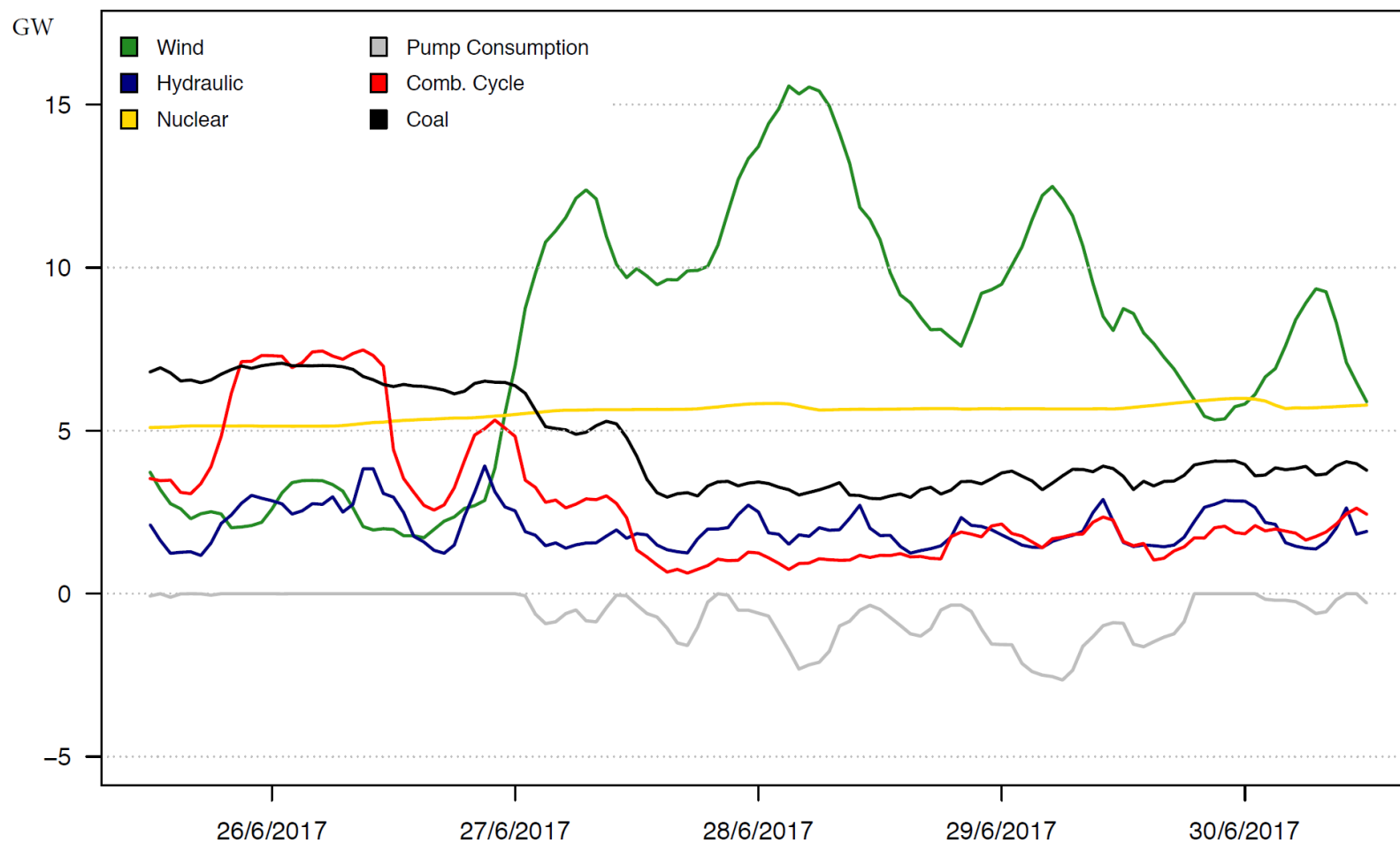
Demanda Anual



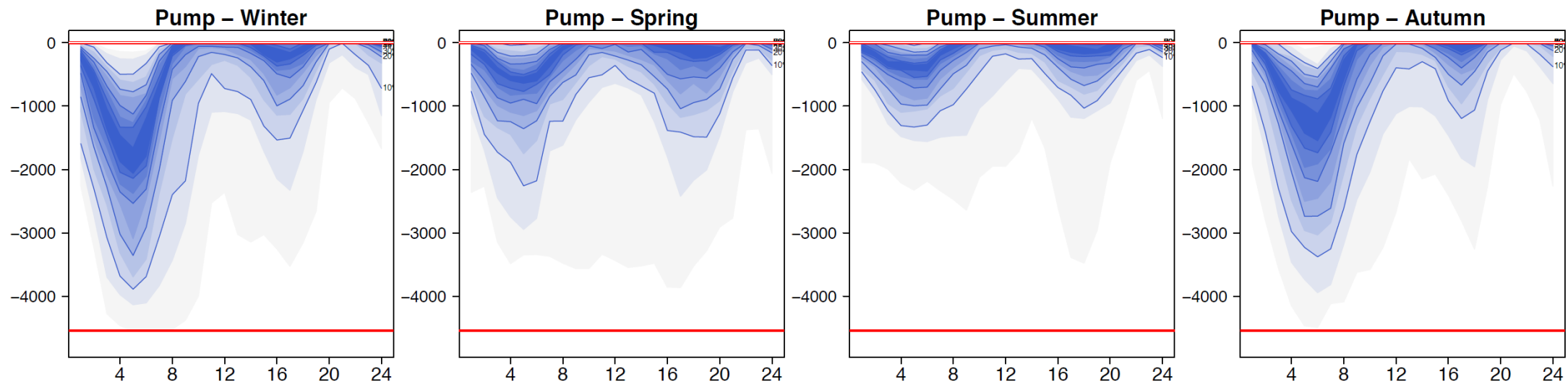
Renovables No Gestionables: Eólica y Fotovoltaica (Año 2017)



Grandes Variaciones de Eólica (5 días de junio de 2017)

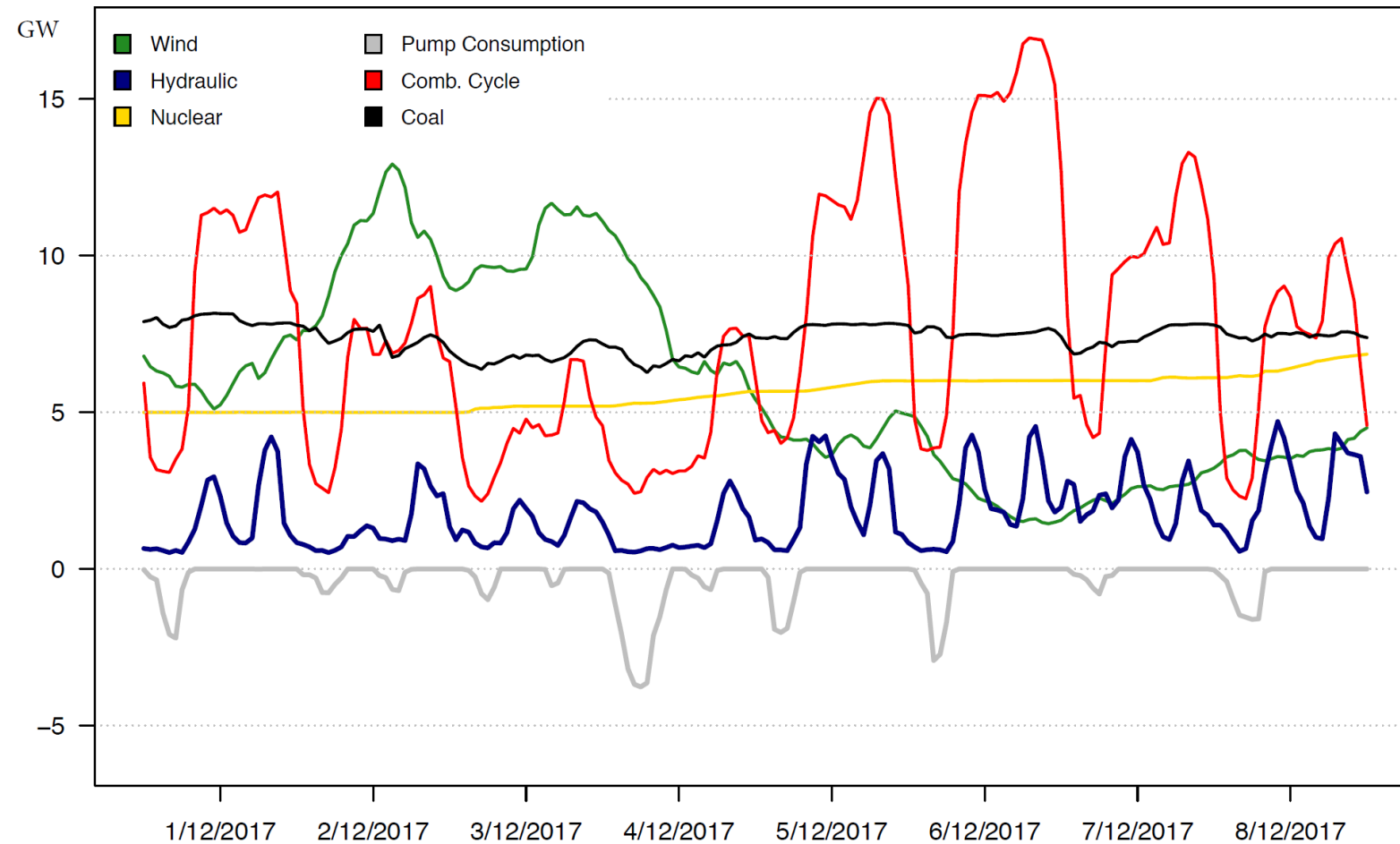


Almacenamiento por Bombeo Hidráulico según estaciones

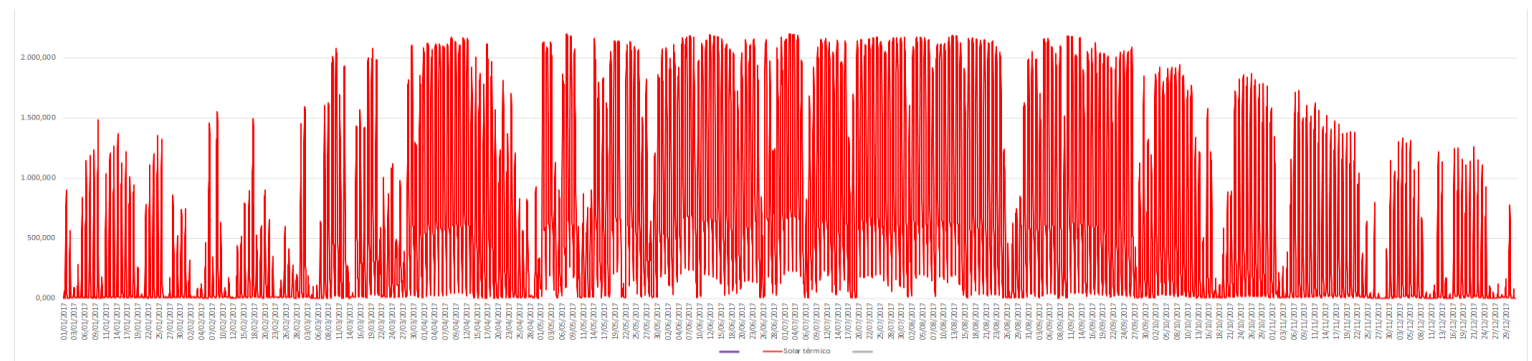
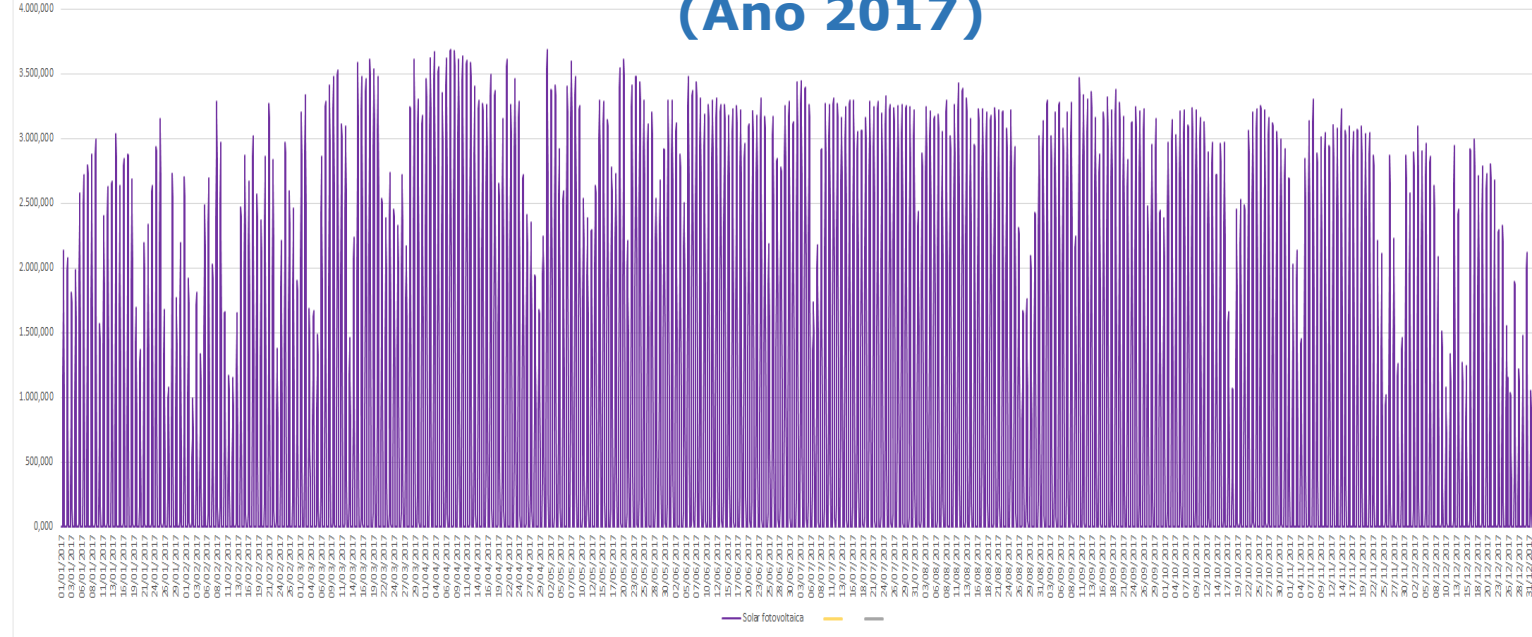


Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

Vientos débiles: Gran respaldo de los Ciclos Combinados de Gas (Semana de febrero 2017)



Renovables No Gestionables: Eólica y Fotovoltaica (Año 2017)



LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA
Energías renovables vs. energías de origen nuclear y fósil.

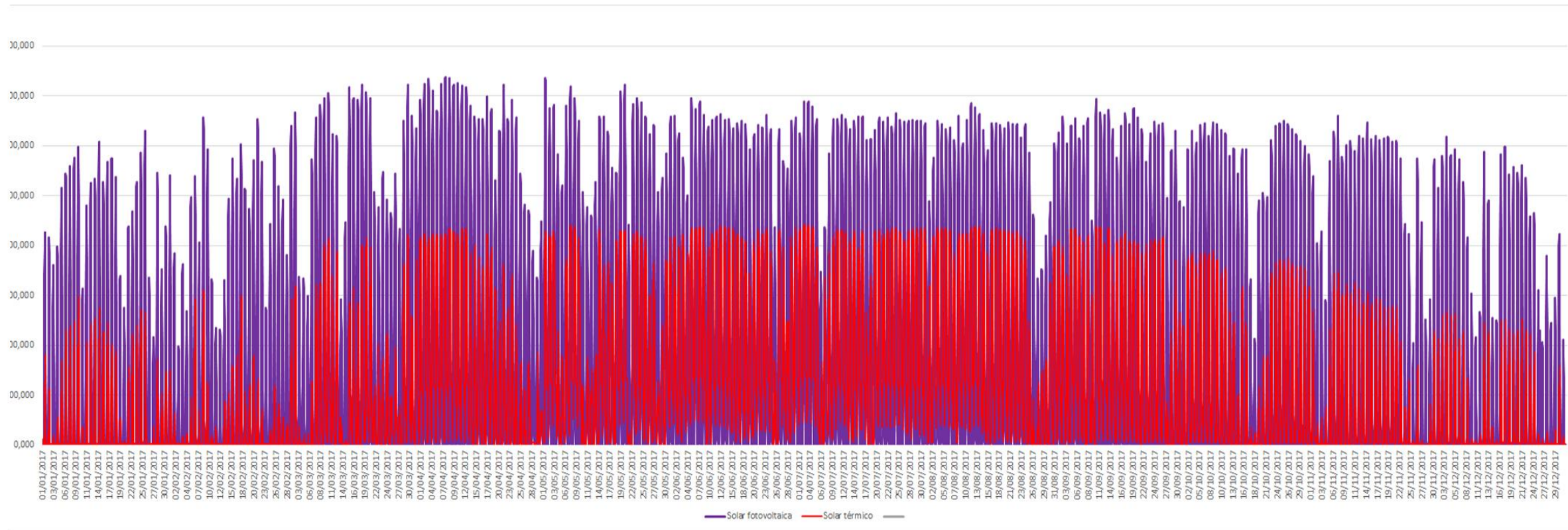


Real
Sociedad
Española de
Física



FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES

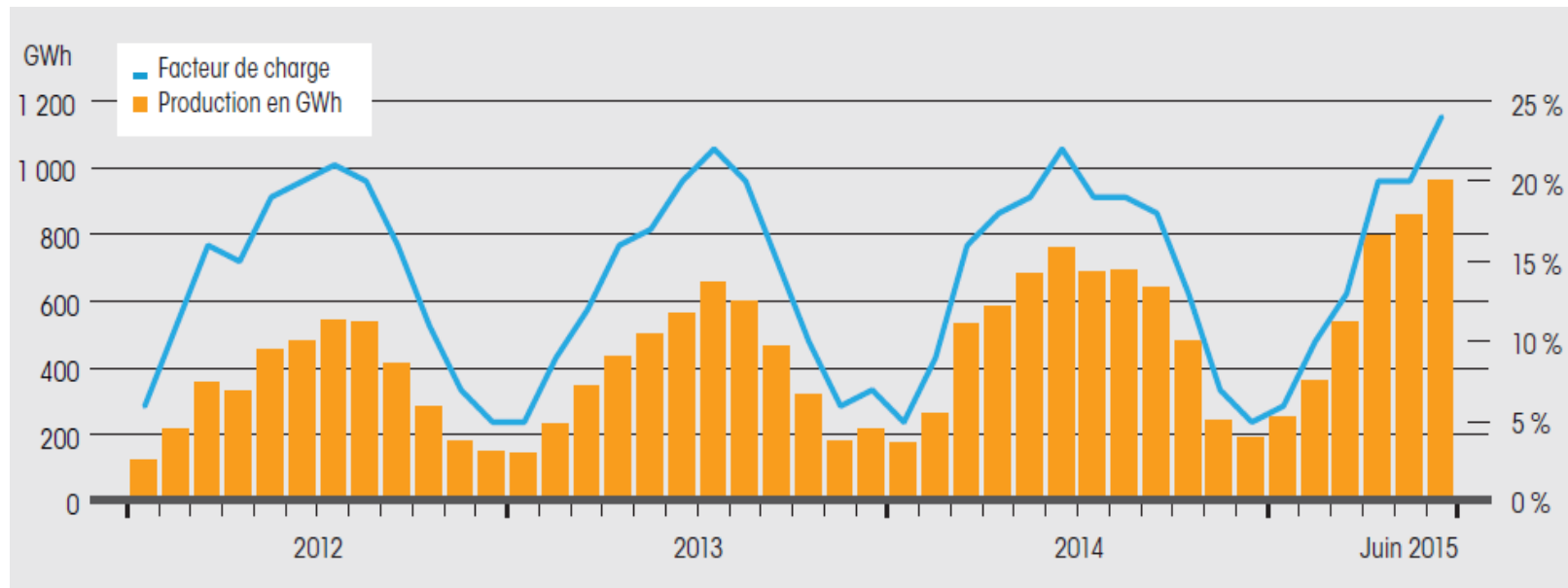
Renovables No Gestionables: Eólica y Fotovoltaica (Año 2017)



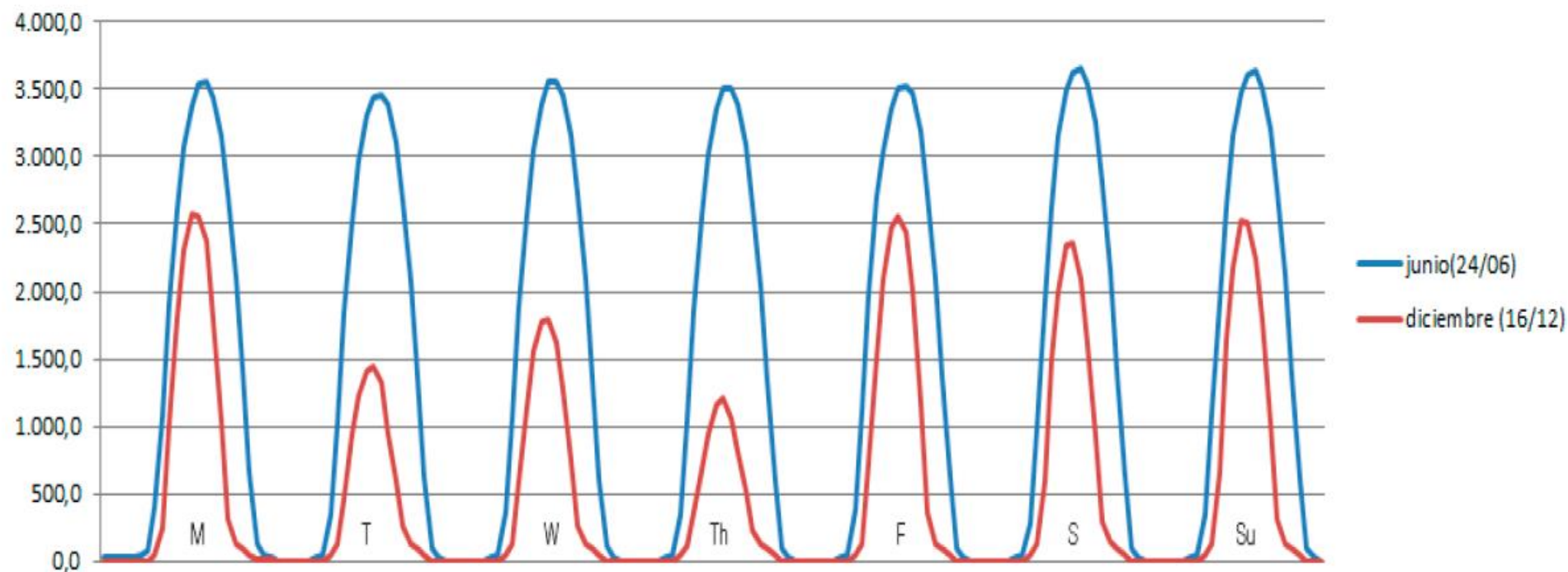
Monthly PV generation (GWh) and Capacity Factor (%) in France (Jan. 2012-June 2015)

(Observe a ratio Jul/Jan of a factor of about 4)

Source: Réseau Transport Electricité 2015, France



Potencia Generada por la FV en España. Semana de junio y diciembre



Power (MW) generated by PV solar plants in Spain for the week of June 24 to 30, 2013 compared to the week from December 16 to 22, 2013 [REE 2013]

Representación horaria de la Demanda de las VRES 2018

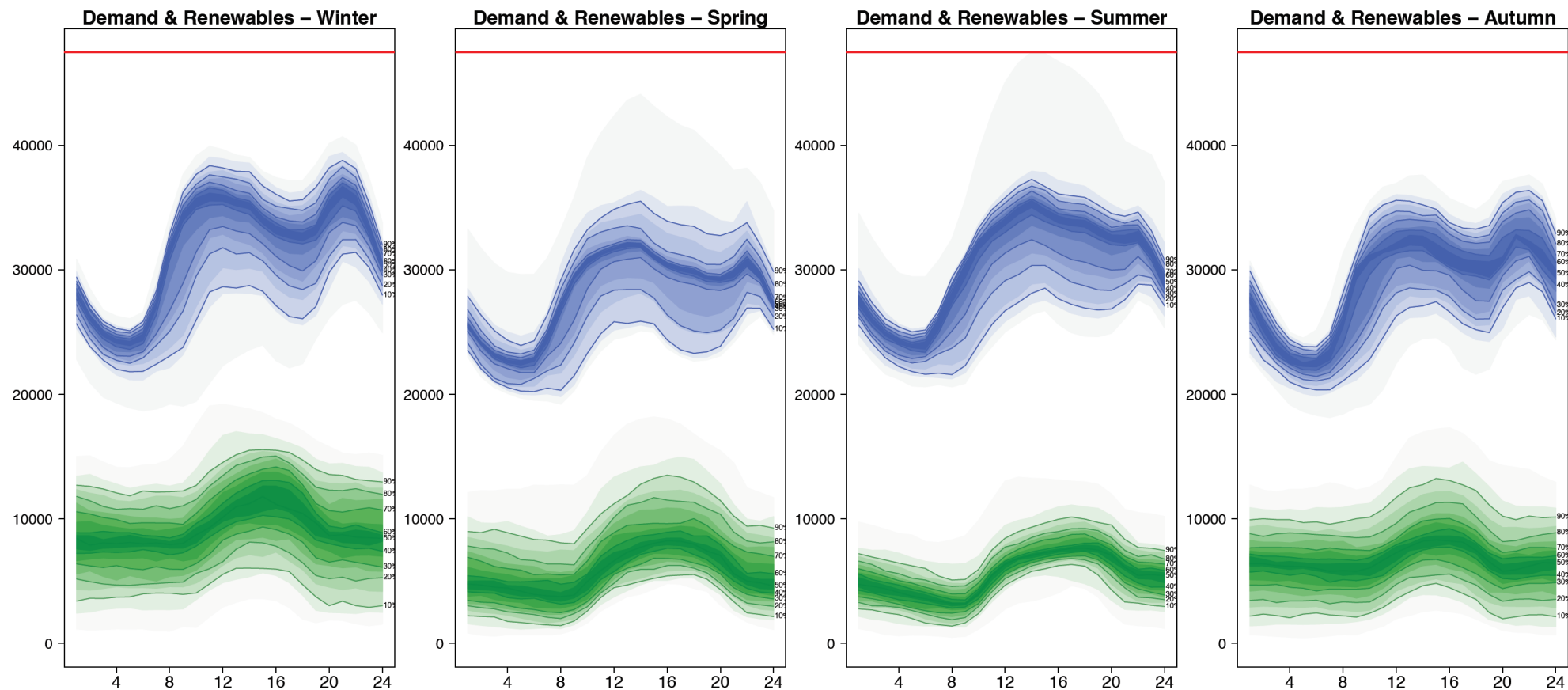
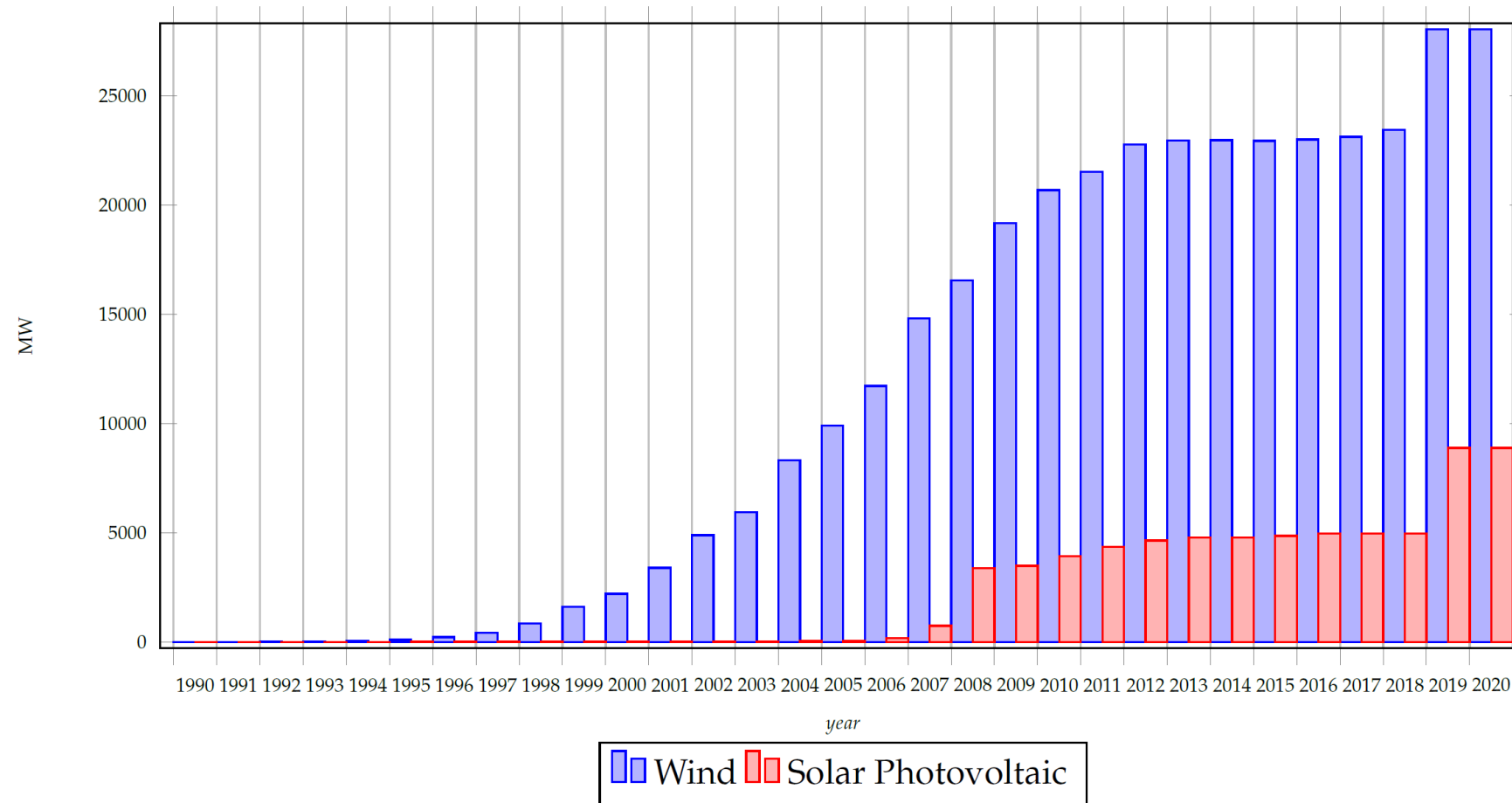


Figure 4. Fan chart of seasonal observed hourly demand (blue) and hourly VRES generation (green) in 2018.

Evolución de la Capacidad Instalada Eólica y Solar FV hasta 2020



Descarbonización Total y Desnuclearización Parcial (2030)

I. Descarbonización

Se asume una descarbonización total (Phase-Out) en 2025.

II. Desnuclearización

El programa de desnuclearización, de acuerdo con el PNIEC, es el siguiente:

CENTRAL NUCLEAR	CALENDARIO
Almaraz I	1 Noviembre 2027
Almaraz II	1 Octubre 2028
Ascó I	1 Octubre 2030
Cofrentes	1 Noviembre 2030
Ascó II	1 Septiembre 2032
Vandellós II	1 Febrero 2035
Trillo	1 Mayo 2035



Combinación Óptima de VRES para la Descarbonización Total

Minimización de los Surpluses y déficits por optimización lineal.

$$\begin{aligned} \beta^* = \min_{\lambda, s, d} & \left(\sum_{i=1}^{8760} s_i + \sum_{i=1}^{8760} d_i \right) \\ \text{subject to} & \quad x_i \cdot \lambda_1 + y_i \cdot \lambda_2 + z_i \cdot \lambda_3 - s_i + d_i = \text{Demand}_i - \text{Hydroelectric}_i - \text{Nuclear}_i - \\ & \quad \text{CCGT}_i - \text{Cogeneration}_i \\ & \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 8760) \\ & \quad \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, s_i, d_i \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Where x_i , y_i and z_i are the observed generations from Wind, PV and CSP, respectively, in the hour “i” and λ_1 , λ_2 and λ_3 are, respectively, the optimal multipliers for Wind, PV and CSP that we are searching. Also, see that the right-hand side of the constraint in Model (1) represents the often-called reduced demand. This program has 17,523 variables (8760 2 slacks + 3 / multipliers) and 26,283 constraints (8760 hourly constraints + non-negativity constraints of all variables).

Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

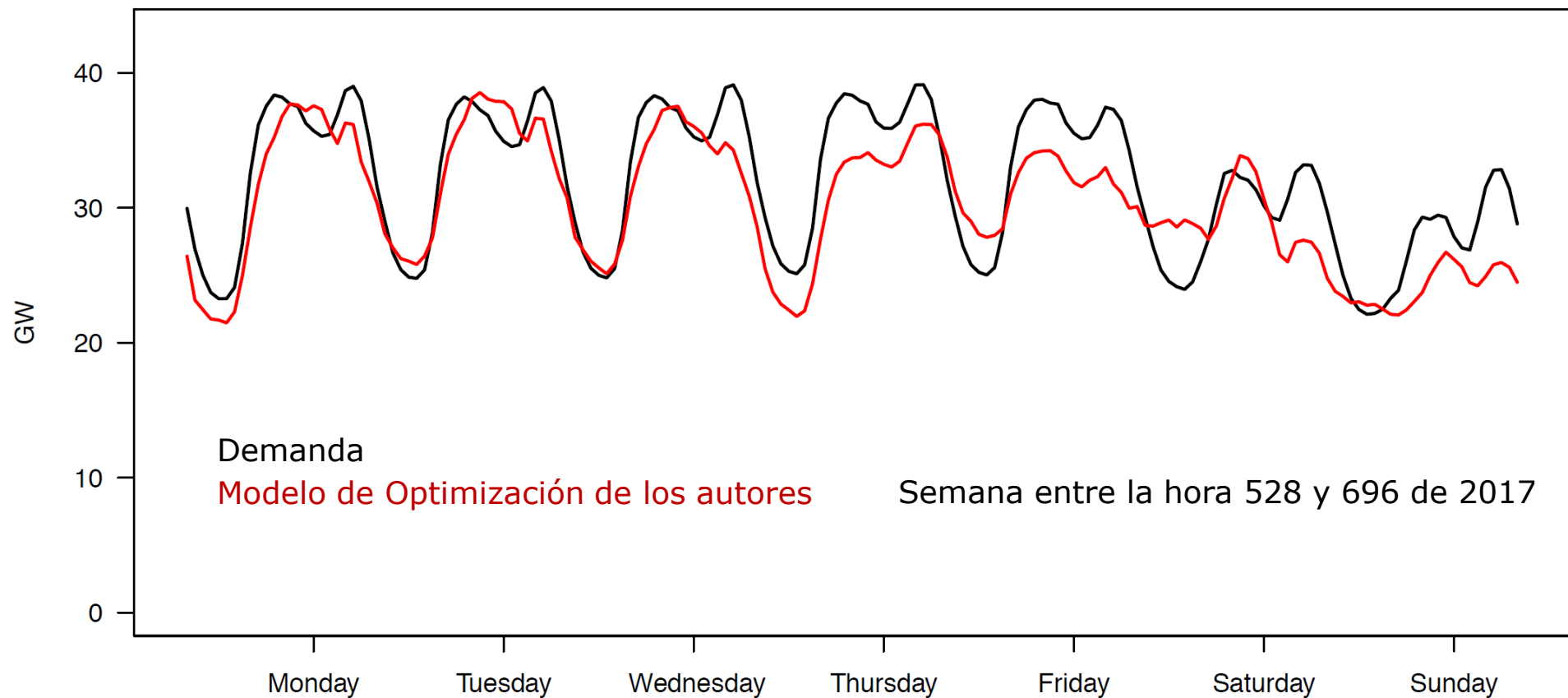
Factores Multiplicativos para cada Renovable y Capacidad Instalada de las VRES (2030 vs 2017)

Table 2. First row: The multiplicative factors for each renewable. Following rows: The comparative yearly generation and installed capacity of VRES. Source: Authors. Data: The results from the optimization analysis in Model (1).

	Wind	Solar PV	Solar CSP	All VRES
Multiplicative VRES factor	2.01 (λ_1)	1.85 (λ_2)	4.05 (λ_3)	
Produced in 2017 (GWh)	47,427.3	7972.4	5343.1	60,742.8
Proposed 2030 generation (GWh)	95,328.8	14,748.9	21,639.5	131,717.2
Differences (GWh)	47,901.5	6776.5	16,296.4	70,974.4
Installed capacity in 2017 (GW)	22,922	4439	2304	29,665
Proposed installed capacity in 2030 (GW)	46,073	8212	9331	63,616
Proposed increase as percentage (%)	100.1%	85%	305%	114.45%

Referencia: R. Gómez-Calvet y J.M. Martínez-Duart. Renewable Energy 135 (2019) 1108-1120

Representaciones de las curvas de Demanda y Modelo de Optimización de los autores



Escenario horizonte 2025 (Coal phase-out)

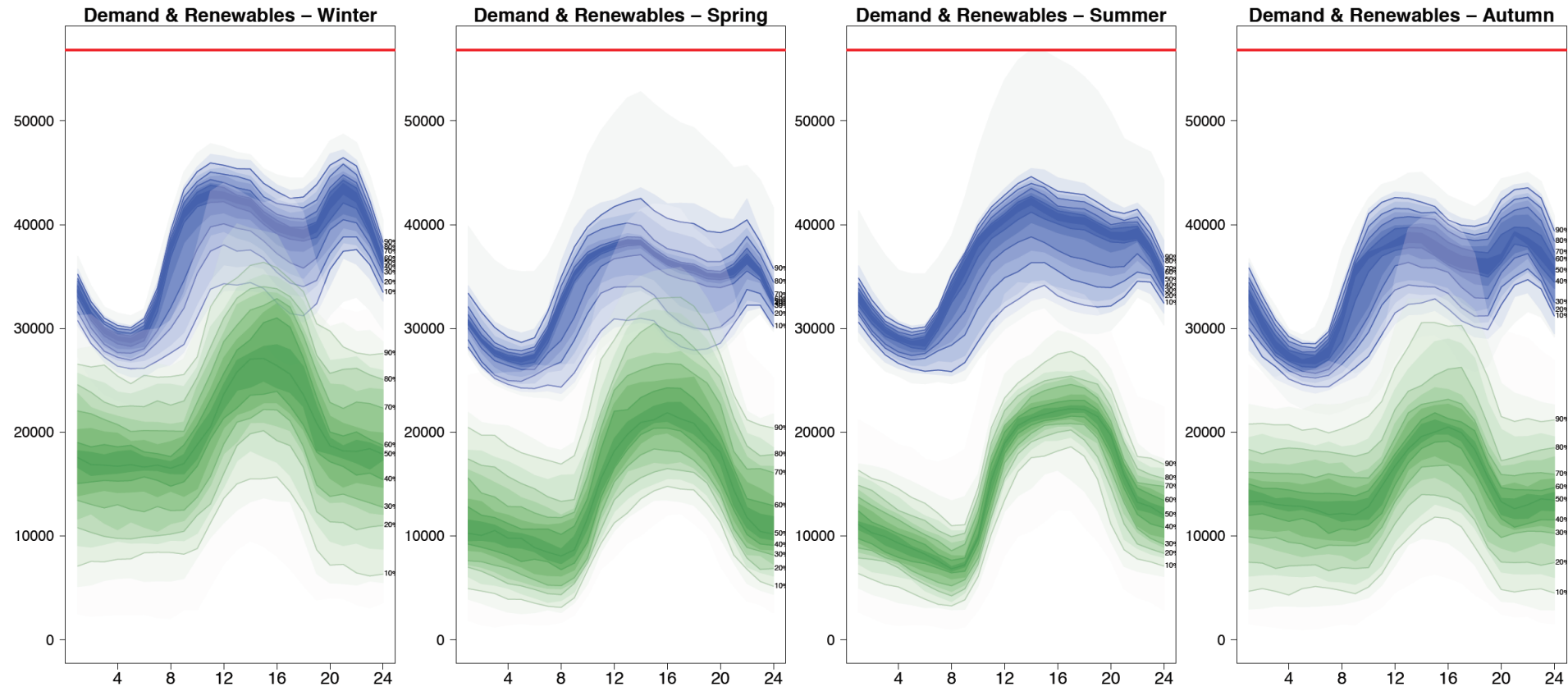


Figure 6. Fan chart of forecast hourly demand and hourly VRES generation in 2025. VRES have been scaled according to author's optimization model.

Representación horaria de la Demanda de las VRES 2030 Descarbonización Total + Cierre de 4 Nucleares

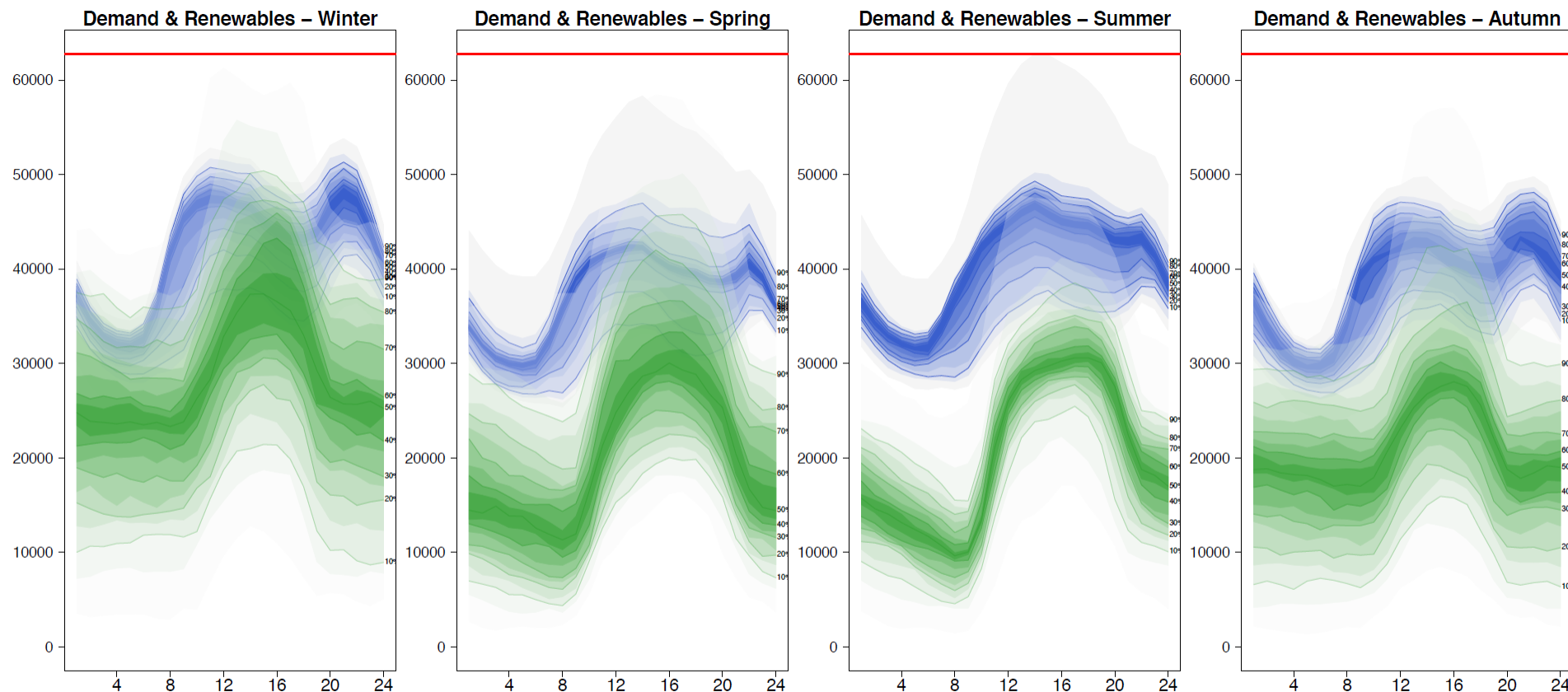


Figure 9. Fan chart of forecast hourly demand and hourly VRES generation in 2030. VRES have been scaled according to the optimization model.

Función Densidad de Distribución de la Generación de los Ciclos Combinados

Escala Horizontal en MW ajustada a la capacidad total instalada.

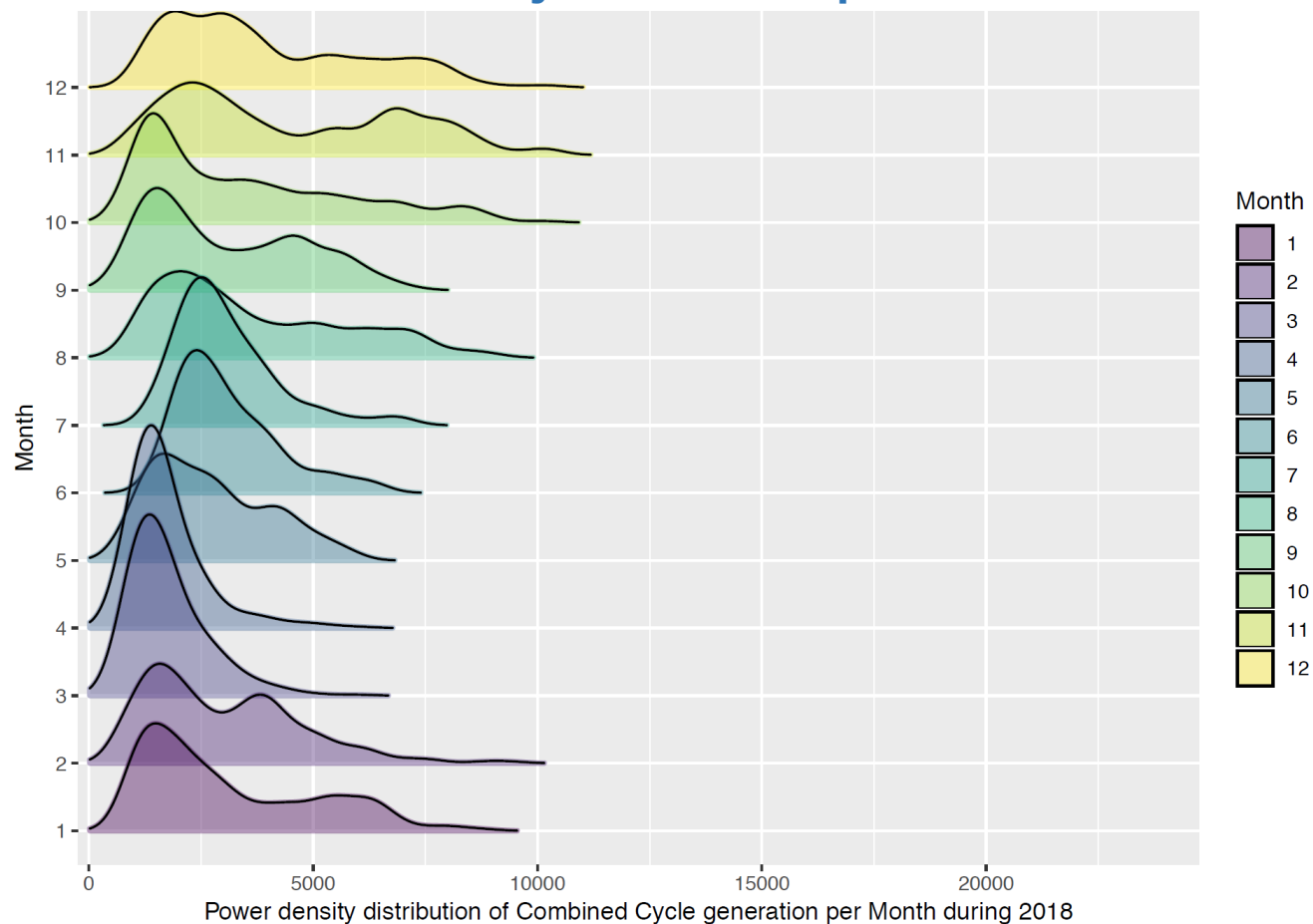


Figure 13. Combined Cycle power density distribution generation per month during 2018. Horizontal scale in MW and adjusted to total installed capacity.

CONCLUSIONES

- Aumento del Almacenaje, preferiblemente Hidrobombeo.
- Digitalización de la red, Smart-Grids.
- Planificación de la Demanda.
- Generación Distribuida (esp. Solar).
- Posponer cierre de las nucleares (No emiten CO2) si es necesario.
- Reservar los Ciclos Combinados de Gas.

Gracias por su atención.

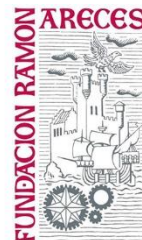
José M. Martínez-Duart

Presidente Grupo Especializado Energía (RSEF).
Ex-Presidente y Senador de la European Materials Research Society)

martinez.duart2@gmail.com



Real
Sociedad
Española de
Física



FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES

Tabla A.20. Generación eléctrica bruta del Escenario Objetivo

Generación eléctrica bruta del Escenario Objetivo* (GWh)				
Año	2015	2020	2025	2030
Eólica	49.325	60.521	92.053	116.110
Solar fotovoltaica	13.860	15.132	42.118	66.373
Solar termoeléctrica		4.968	13.953	22.578
Hidráulica	28.140	28.282	28.663	29.045
Bombeo	3.228	4.690	5.610	8.369
Biogás	982	447	482	897
Geotermia		0	94	188
Energías del mar		0	59	74
Carbón	122.415	47.195	15.094	0
Ciclo combinado		32.800	15.304	34.922
Cogeneración carbón		76	0	0
Cogeneración gas		24.054	20.603	15.566
Cogeneración productos petrolíferos		2.065	1.425	697
Fuel/Gas	5.766	5.372	4.700	4.029
Cogeneración renovable		862	1.192	1.556
Biomasa		3.991	5.605	10.714
Cogeneración con residuos		96	93	84
Residuos sólidos urbanos		605	783	1.447
Nuclear	57.305	57.686	57.686	24.800
Total	281.021	288.843	305.518	337.448

* La generación de las tecnologías Hidráulica, Bombeo puro y Bombeo mixto se engloba en generación Hidráulica y Bombeo

Tabla 2: Evolución de la potencia instalada de energía eléctrica (MW)

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Año	2015	2020	2025	2030
Eólica	22.925	27.968	40.258	50.258
Solar fotovoltaica	4.854	8.409	23.404	36.882
Solar termoeléctrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	235	235	235
Geotérmica	0	0	15	30
Energías del mar	0	0	25	50
Biomasa	677	877	1.077	1.677
Carbón	11.311	10.524	4.532	0-1.300
Ciclo combinado	27.531	27.146	27.146	27.146
Cogeneración carbón	44	44	0	0
Cogeneración gas	4.055	4.001	3.373	3.000
Cogeneración productos petrolíferos	585	570	400	230
Fuel/Gas	2.790	2.790	2.441	2.093
Cogeneración renovable	535	491	491	491
Cogeneración con residuos	30	28	28	24
Residuos sólidos urbanos	234	234	234	234
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Total	105.621	113.151	137.117	156.965

Tabla 1. Emisiones CO₂ equivalente por sector. Histórico y proyección a 2030 (kt)

Años	1990	2005	2015	2020*	2025*	2030*
Transporte	59.199	102.310	83.197	85.722	74.638	57.695
Generación de energía eléctrica	65.864	112.623	74.051	63.518	27.203	19.650
Sector industrial (procesos de combustión)	45.099	68.598	40.462	40.499	37.246	33.530
Sector industrial (emisiones de procesos)	28.559	31.992	21.036	21.509	22.026	22.429
Sectores residencial, comercial e institucional	17.571	31.124	28.135	26.558	23.300	19.432
Ganadería	21.885	25.726	22.854	23.247	21.216	19.184
Cultivos	12.275	10.868	11.679	11.382	11.086	10.791
Residuos	9.825	13.389	14.375	13.657	11.898	9.650
Industria del refino	10.878	13.078	11.560	12.247	11.607	10.968
Otras industrias energéticas	2.161	1.020	782	721	568	543
Otros sectores	9.082	11.729	11.991	14.169	13.701	13.259
Emisiones fugitivas	3.837	3.386	4.455	4.715	4.419	4.254
Uso de productos	1.358	1.762	1.146	1.231	1.283	1.316
Gases fluorados	64	11.465	10.086	8.267	6.152	4.037
Total	287.656	439.070	335.809	327.443	266.343	226.737