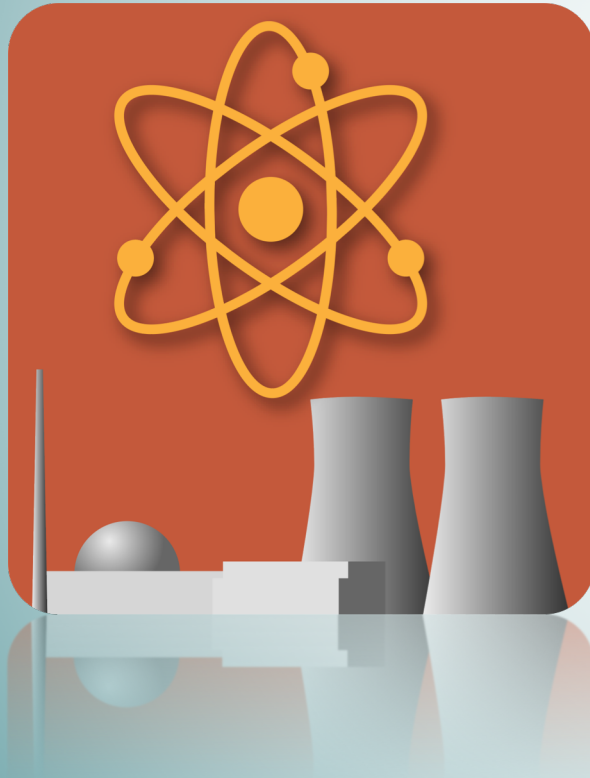


# Ingeniería Nuclear

## BLOQUE I. FÍSICA NUCLEAR

### Lección 1. La Energía Nuclear en España y en el Mundo



**Fernando Delgado San Román**

**Raquel Martínez Torre**

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

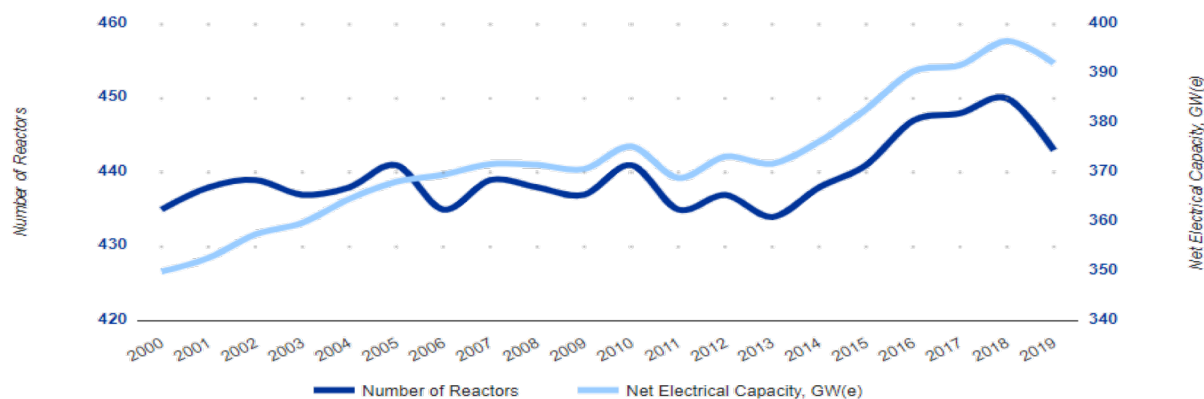
[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



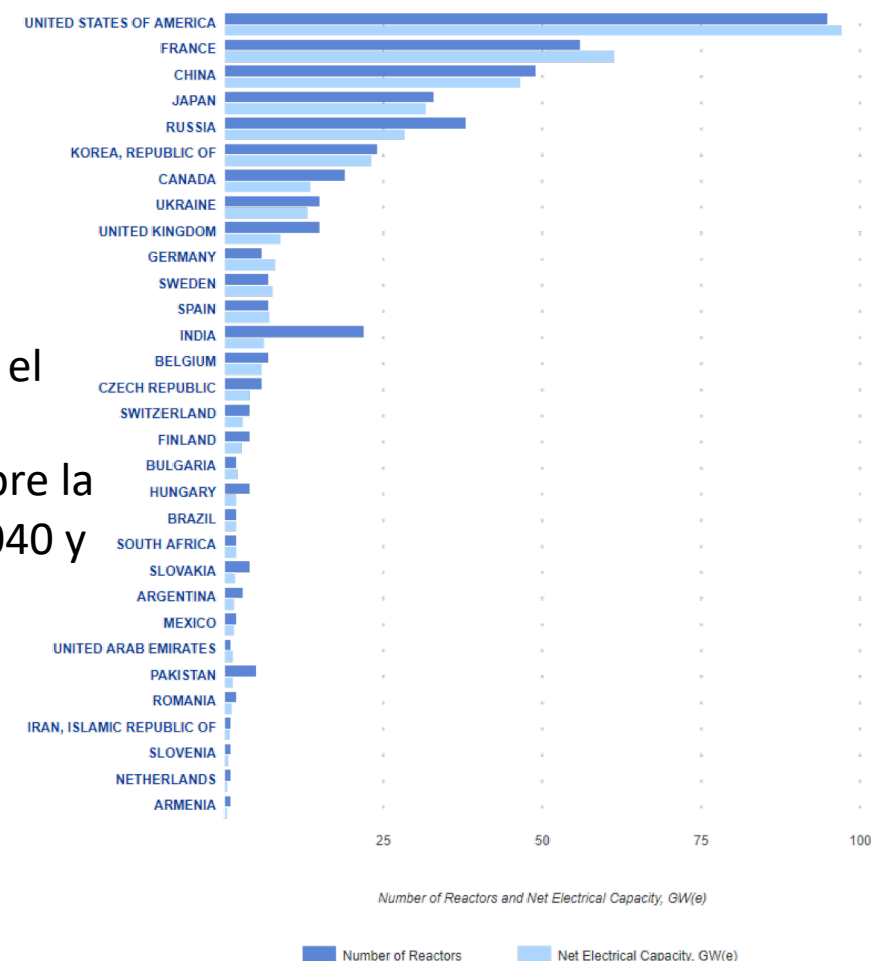
# ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ **24/09/2020:** 32 países con reactores nucleares
  - ✓ 442 reactores nucleares en operación (**392 GW<sub>e</sub>**).
  - ✓ 53 reactores nucleares en construcción (**56 GW<sub>e</sub>**) → 19 % China
  - ✓ 0 reactores en LTS.
- ❑ La potencia instalada a aumentado alrededor de un 4.5 % respecto a 2010. En el último año ha descendido un 1 %.
- ❑ Las proyecciones del Organismo Internacional de Energía Atómica en 2017 sobre la capacidad mundial instalada aumentaron un 42 % para 2030, del 83 % para 2040 y del 123 % para 2050, en la hipótesis alta, respecto a las de 2016.



Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)

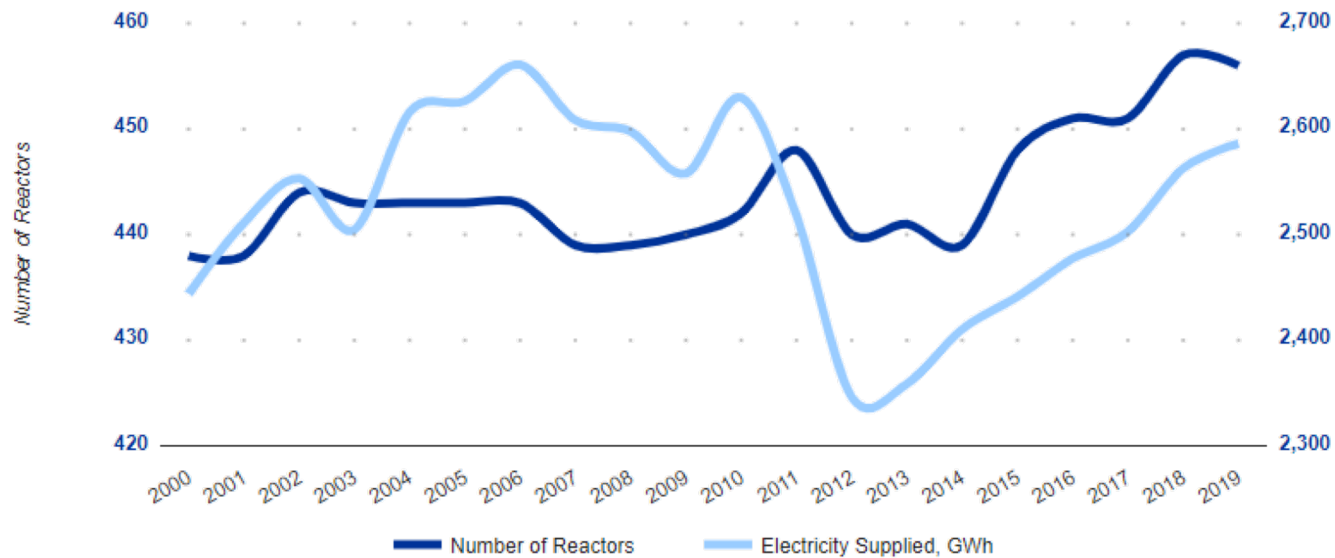


Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)

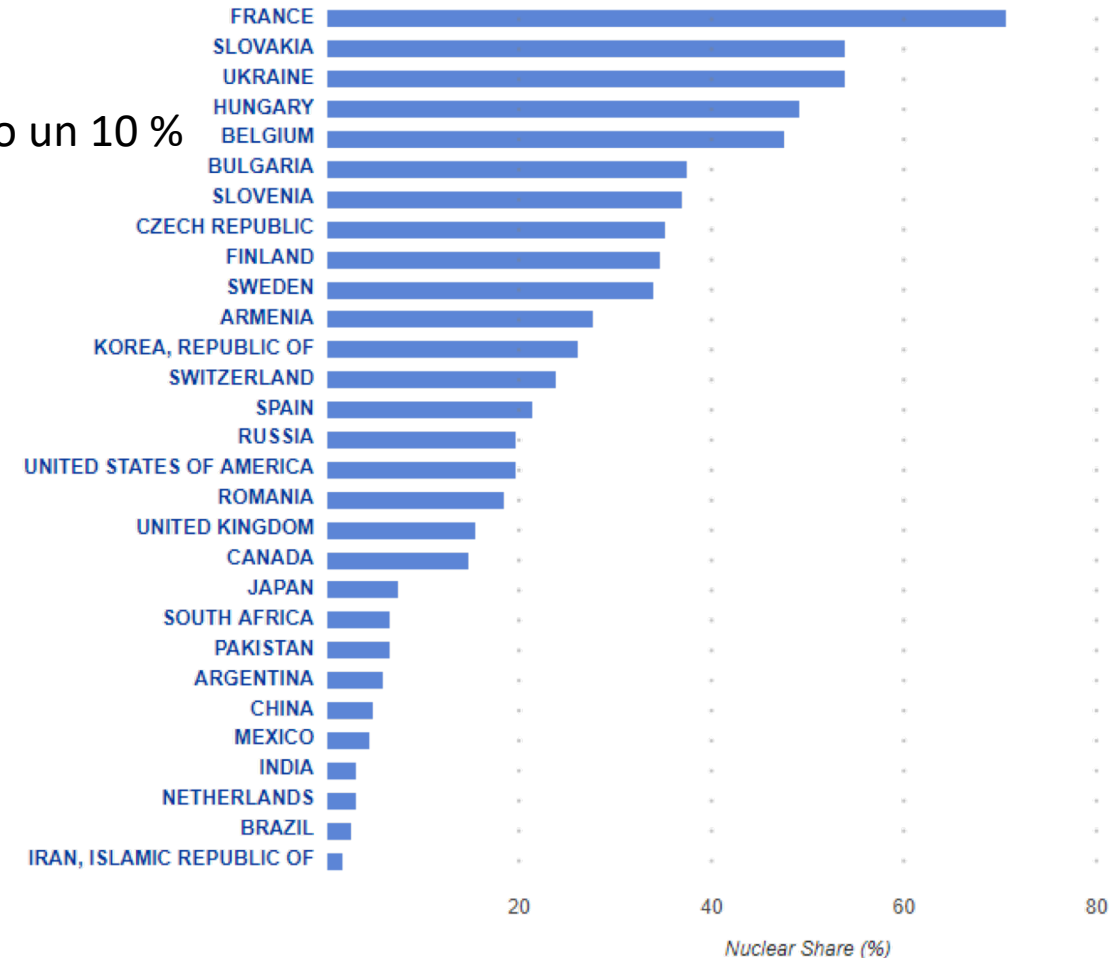
# ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ La energía suministrada a partir de energía nuclear han aumentado un 10 % respecto al 2012 (punto más bajo). Un 1 % en el último año.
- ❑ El share nuclear mundial es de un 10,5%.



Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)

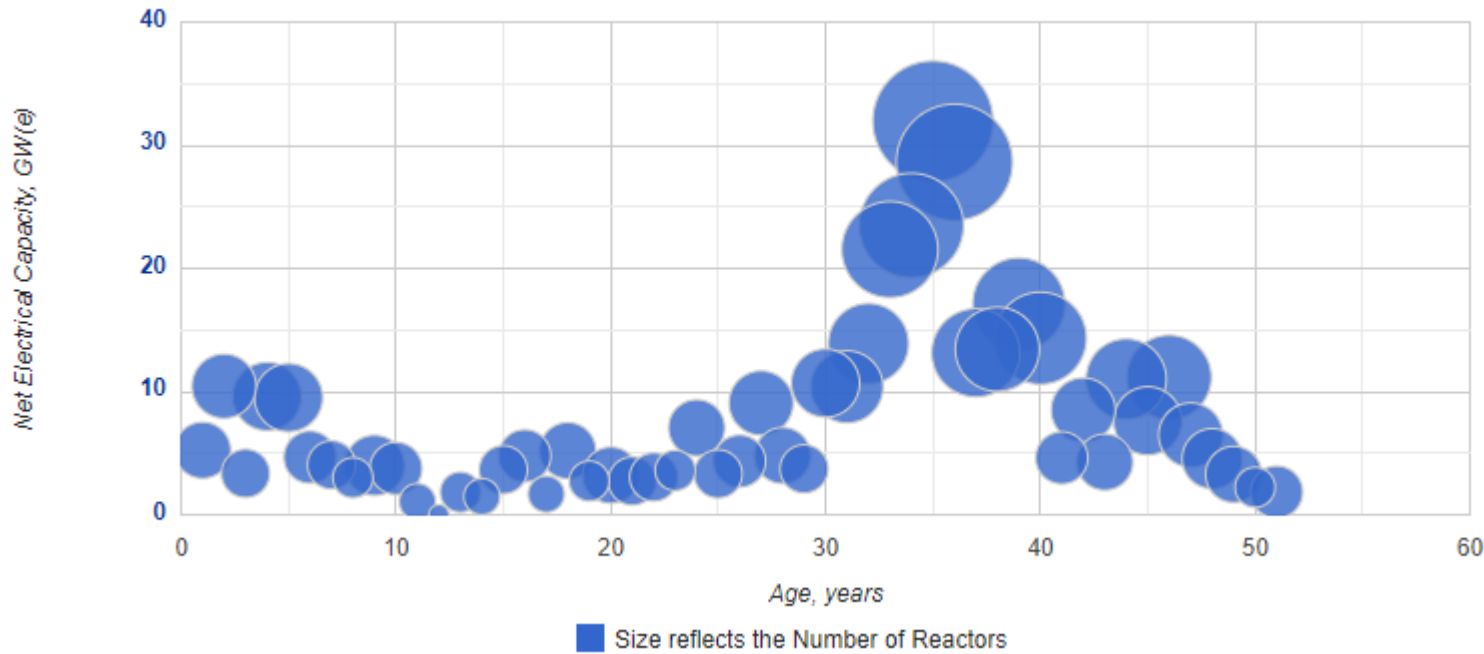


Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)

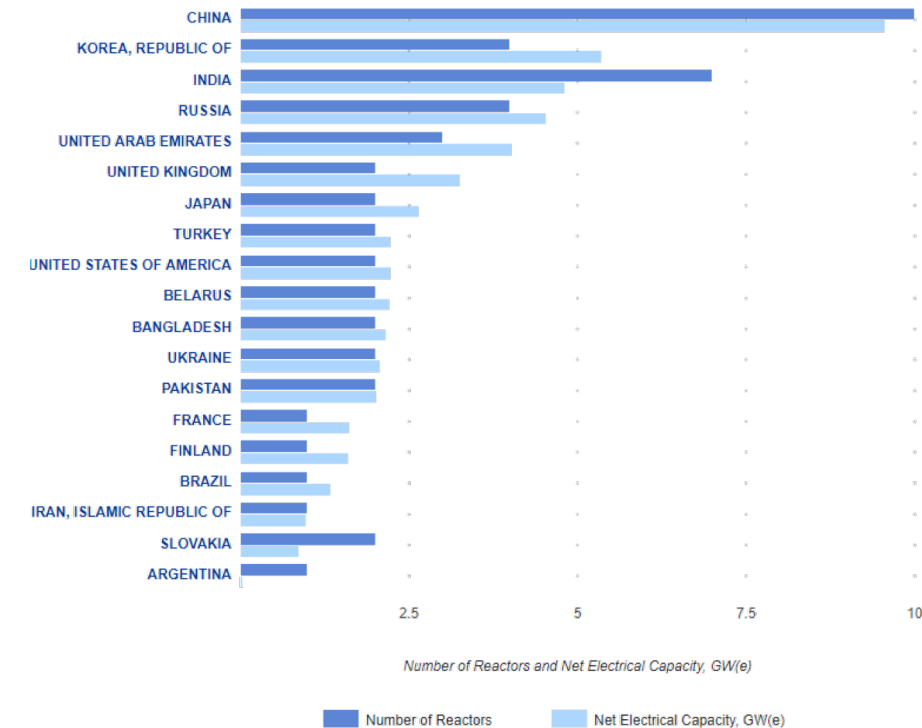
# ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ La edad media de los reactores en el mundo es 30 años. Las licencias suelen ser por un período de entre 30 y 40 años.
- ❑ El aumento en la construcción de reactores se debe a China.



Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)



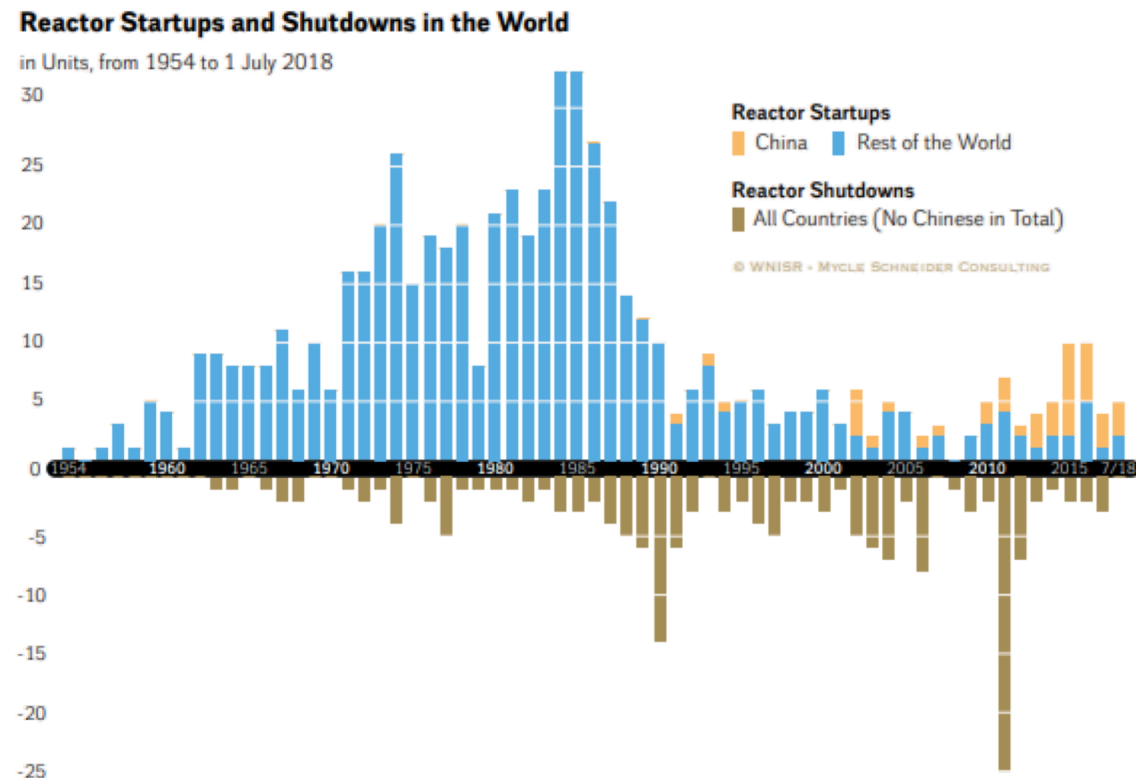
Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)



# ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ Efecto de China en la construcción de reactores.



Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA)

# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

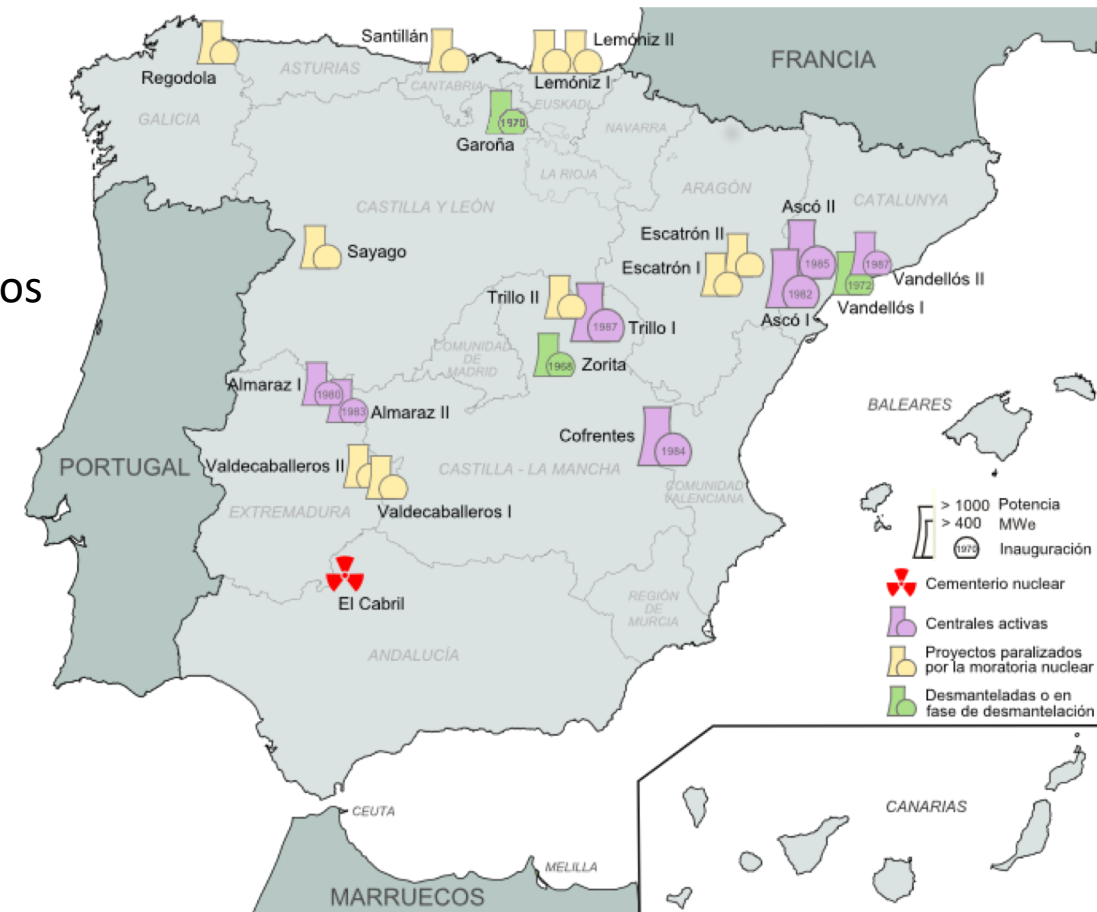
### 24/09/2020:

- ✓ 7 reactores nucleares (5 centrales) en operación (**7,1 GW<sub>e</sub>**).
- ✓ 0 reactores nucleares en construcción.
- ✓ 3 reactores cerrados (**1,1 GW<sub>e</sub>**).

- Las centrales se ubican cerca de puntos de consumo y de suministros constante y fiables de agua.

| Central      | Localización          | Potencia eléctrica inicial (MW) (*) | Potencia eléctrica actual (MW) | Tipo de reactor (suministrador) | Estado actual                                     | Titular                                               |
|--------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Almaraz I    | Almaraz (Cáceres)     | 930                                 | 1.049,4                        | PWR (Westinghouse)              | En explotación comercial desde septiembre de 1983 | Iberdrola 53% Endesa 36% Naturgy 11%                  |
| Almaraz II   | Almaraz (Cáceres)     | 930                                 | 1.044,5                        | PWR (Westinghouse)              | En explotación comercial desde julio de 1984      | Iberdrola 53% Endesa 36% Naturgy 11%                  |
| Ascó I       | Ascó (Tarragona)      | 930                                 | 1.032,5                        | PWR (Westinghouse)              | En explotación comercial desde diciembre de 1984  | Endesa 100%                                           |
| Ascó II      | Ascó (Tarragona)      | 930                                 | 1.027,2                        | PWR (Westinghouse)              | En explotación comercial desde marzo de 1986      | Endesa 85% Iberdrola 15%                              |
| Cofrentes    | Cofrentes (Valencia)  | 975                                 | 1.092,0                        | BWR (General Electric)          | En explotación comercial desde marzo de 1985      | Iberdrola 100%                                        |
| Vandellós II | Vandellós (Tarragona) | 982                                 | 1.087,1                        | PWR (Westinghouse)              | En explotación comercial desde marzo de 1988      | Endesa 72% Iberdrola 28%                              |
| Trillo I     | Trillo (Guadalajara)  | 1.000                               | 1.066,0                        | PWR (Siemens-KWU)               | En explotación comercial desde agosto de 1988     | Iberdrola 48% Naturgy 34,5% EDP 15,5% Nuclenor(**) 2% |

| Central               | Reactor           | Inicio | Fin  | Potencia | Estado                                                                  |
|-----------------------|-------------------|--------|------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| José Cabrera-Zorita   | PWR               | 1969   | 2006 | 160 MW   | Desmontaje <sup>18</sup>                                                |
| Santa María de Garoña | BWR               | 1971   | 2012 | 466 MW   | Cese definitivo de explotación por expiración de licencia <sup>34</sup> |
| Vandellós             | Vandellós I - GCR | 1972   | 1989 | 480 MW   | Periodo de latencia (hasta 2028)                                        |



Fuente: Wikipedia

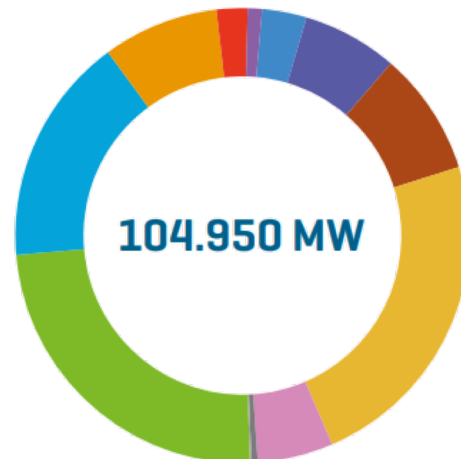
# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ La energía suministrada a partir de energía nuclear ha sido de **53,295 TW.h**. Lo que supone un aumento del 5 % respecto a 2019.
- ❑ El share nuclear de España es de un 22 %. **La energía que más aporta al mix eléctrico.**

*Potencia eléctrica instalada a 31.12.2019 [%]. Sistema eléctrico peninsular*

|                        |      |
|------------------------|------|
| TURBINACIÓN BOMBEO     | 3,2  |
| NUCLEAR                | 6,8  |
| CARBÓN                 | 8,8  |
| CICLO COMBINADO        | 23,4 |
| COGENERACIÓN           | 5,4  |
| RESIDUOS NO RENOVABLES | 0,4  |
| RESIDUOS RENOVABLES    | 0,1  |
| EÓLICA                 | 24,2 |
| HIDRÁULICA             | 16,3 |
| SOLAR FOTOVOLTAICA     | 8,3  |
| SOLAR TÉRMICA          | 2,2  |
| OTRAS RENOVABLES       | 1,0  |



*Cobertura de la demanda de energía eléctrica 2019 [%]  
Sistema eléctrico peninsular*

|                                                     |      |
|-----------------------------------------------------|------|
| TURBINACIÓN BOMBEO <sup>(1)</sup>                   | 0,6  |
| NUCLEAR                                             | 22,0 |
| CARBÓN                                              | 4,2  |
| CICLO COMBINADO                                     | 20,1 |
| COGENERACIÓN                                        | 11,6 |
| RESIDUOS NO RENOVABLES                              | 0,8  |
| RESIDUOS RENOVABLES                                 | 0,3  |
| EÓLICA                                              | 20,9 |
| HIDRÁULICA                                          | 9,7  |
| SOLAR FOTOVOLTAICA                                  | 3,5  |
| SOLAR TÉRMICA                                       | 2,0  |
| OTRAS RENOVABLES                                    | 1,4  |
| SALDO IMPORTADOR<br>INTERCAMBIOS<br>INTERNACIONALES | 2,7  |

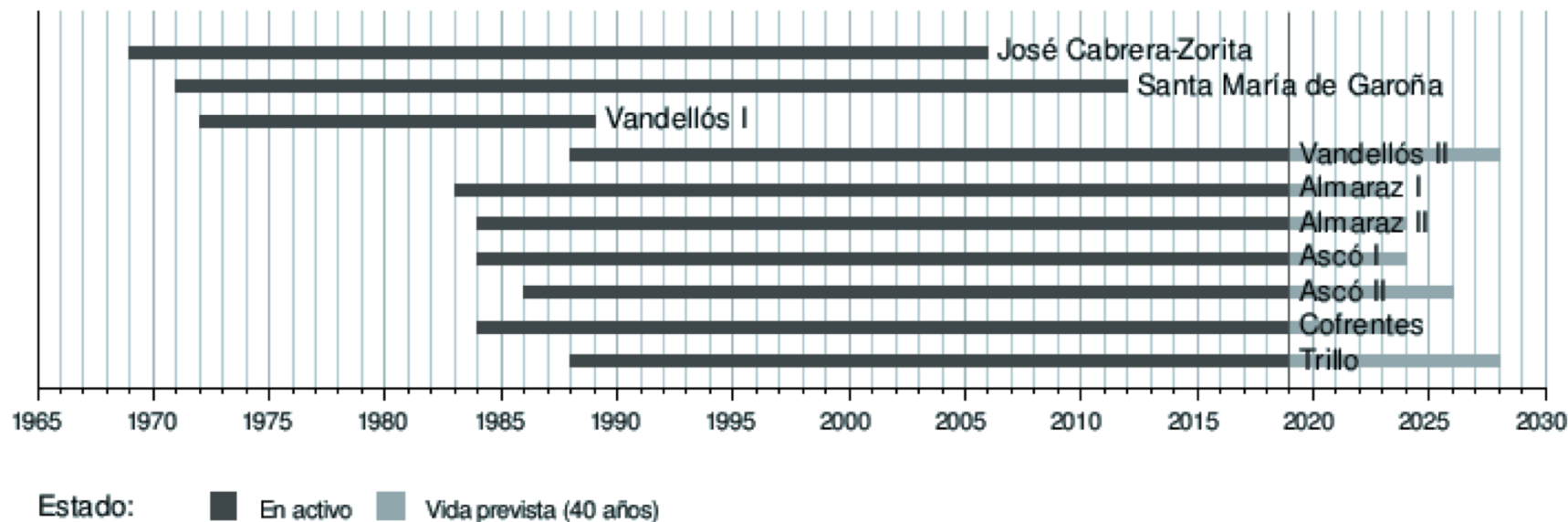


Fuente: El Sistema eléctrico español 2019 (REE)

# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

- ❑ La edad media de los reactores en España es 34,7 años. Las licencias suelen ser por un período de entre 30 y 40 años.
- ❑ En el Plan Nacional Integrado de Energía Y Clima (PNIEC) 2021-2030 de España se prevé la reducción de la potencia instalada de energía nuclear de alrededor de un 55 % (2025 **7,1 GW<sub>e</sub>** – 2030 **3,2 GW<sub>e</sub>**). Lo que equivale al cierre de 4 reactores.



# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

| PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BRUTA (GWh) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                             | 1995            | 2000            | 2005            | 2010            | 2015            | 2017            | 2018            |
| JOSÉ CABRERA(*)                             | 380,4           | 1.168,4         | 1.161,3         | --              | --              | --              | --              |
| SANTA Mª DE GAROÑA(**)                      | 3.989,8         | 4.029,2         | 3.680,4         | 3.836,7         | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| ALMARAZ I                                   | 6.843,3         | 7.764,7         | 7.823,3         | 8.173,5         | 8.777,5         | 8.048,1         | 8.141,1         |
| ALMARAZ II                                  | 7.054,7         | 7.681,7         | 8.536,7         | 7.265,0         | 7.927,7         | 8.937,9         | 8.176,5         |
| ASCÓ I                                      | 5.797,7         | 8.012,4         | 8.019,4         | 8.358,3         | 7.718,3         | 7.844,4         | 7.907,1         |
| ASCÓ II                                     | 7.041,7         | 8.795,2         | 7.762,1         | 7.641,4         | 8.780,2         | 8.041,7         | 8.811,6         |
| COFRENTES                                   | 8.484,5         | 7.715,3         | 7.029,8         | 9.549,3         | 7.733,1         | 7.340,1         | 9.150,3         |
| VANDELLÓS II                                | 7.876,2         | 8.304,8         | 4.894,3         | 8.860,0         | 7.787,8         | 9.365,9         | 5.216,6         |
| TRILLO                                      | 7.976,3         | 8.733,4         | 8.642,5         | 8.230,0         | 8.463,4         | 8.530,7         | 8.267,2         |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>55.444,4</b> | <b>62.205,2</b> | <b>57.549,7</b> | <b>61.914,3</b> | <b>57.188,0</b> | <b>58.108,8</b> | <b>55.670,4</b> |
| FACTOR DE CARGA (%)                         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| JOSÉ CABRERA(*)                             | 27,14           | 83,13           | 88,35           | --              | --              | --              | --              |
| SANTA Mª DE GAROÑA(**)                      | 99,01           | 98,43           | 90,16           | 93,99           | --              | --              | --              |
| ALMARAZ I                                   | 84,00           | 90,80           | 91,41           | 90,30           | 95,48           | 87,55           | 88,56           |
| ALMARAZ II                                  | 86,59           | 89,00           | 99,44           | 84,63           | 86,65           | 97,69           | 89,37           |
| ASCÓ I                                      | 70,90           | 89,86           | 88,66           | 92,41           | 85,34           | 86,73           | 87,42           |
| ASCÓ II                                     | 86,44           | 98,67           | 86,26           | 84,92           | 97,58           | 89,37           | 97,92           |
| COFRENTES                                   | 97,83           | 85,66           | 73,49           | 99,82           | 80,84           | 76,73           | 95,65           |
| VANDELLÓS II                                | 89,55           | 87,40           | 51,39           | 93,04           | 81,78           | 98,35           | 54,78           |
| TRILLO                                      | 85,42           | 93,27           | 92,55           | 88,13           | 90,63           | 91,35           | 88,53           |
| <b>GLOBAL</b>                               | <b>85,49</b>    | <b>90,96</b>    | <b>83,39</b>    | <b>90,80</b>    | <b>88,26</b>    | <b>89,66</b>    | <b>85,89</b>    |
| FACTOR DE OPERACIÓN (%)                     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| JOSÉ CABRERA(*)                             | 55,4            | 89,50           | 90,17           | --              | --              | --              | --              |
| SANTA Mª DE GAROÑA(**)                      | 100,00          | 99,35           | 90,71           | 95,17           | --              | --              | --              |
| ALMARAZ I                                   | 88,00           | 92,69           | 93,38           | 93,00           | 98,32           | 90,01           | 90,57           |
| ALMARAZ II                                  | 91,11           | 92,99           | 100,00          | 86,43           | 88,00           | 98,82           | 90,96           |
| ASCÓ I                                      | 72,91           | 91,48           | 97,57           | 93,96           | 88,19           | 87,78           | 88,11           |
| ASCÓ II                                     | 87,74           | 99,74           | 88,80           | 86,56           | 98,82           | 90,37           | 97,96           |
| COFRENTES                                   | 99,23           | 88,89           | 77,26           | 100,00          | 83,63           | 80,26           | 96,31           |
| VANDELLÓS II                                | 90,84           | 89,40           | 53,15           | 94,67           | 83,95           | 100,00          | 56,87           |
| TRILLO                                      | 86,74           | 93,94           | 93,33           | 90,98           | 91,53           | 92,09           | 89,51           |
| <b>GLOBAL</b>                               | <b>88,21</b>    | <b>93,07</b>    | <b>86,14</b>    | <b>92,97</b>    | <b>90,26</b>    | <b>91,32</b>    | <b>87,05</b>    |

Reducción de la producción a niveles de 1995:

- Mayor producción Cofrentes (mayor potencia).
- Menor producción Vandellós II.

Reducción del factor de carga a niveles de 1995:

- Mayor factor de carga Asco II.
- Menor factor de carga Vandellós II.

Aumento del factor de operación:

- Mayor factor de operación Asco II.
- Menor factor de carga Vandellós II.

Fuente: Foro Nuclear

**Factor de carga:** Relación en tanto por ciento entre la energía eléctrica bruta producida en el período considerado (t) y la que hubiera podido ser producida a la potencia reconocida o nominal durante ese mismo período (potencia nominal x t).

**Factor de operación:** Relación en tanto por ciento entre el número de horas que la central ha estado acoplada a la red eléctrica y el número total de horas del período considerado.



# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## SITUACIÓN Y TENDENCIAS

| FACTOR DE DISPONIBILIDAD (%)                 |              |              |              |              |              |              |              |
|----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| JOSÉ CABRERA(*)                              | 55,06        | 83,81        | 88,35        | --           | --           | --           | --           |
| SANTA Mª DE GAROÑA(**)                       | 99,27        | 98,82        | 90,12        | 93,90        | --           | --           | --           |
| ALMARAZ I                                    | 86,44        | 91,52        | 92,97        | 90,38        | 96,62        | 88,76        | 89,96        |
| ALMARAZ II                                   | 90,24        | 91,03        | 99,97        | 85,45        | 87,08        | 98,54        | 90,39        |
| ASCÓ I                                       | 71,35        | 90,73        | 89,06        | 93,50        | 85,01        | 86,58        | 87,26        |
| ASCÓ II                                      | 86,72        | 99,22        | 86,95        | 85,96        | 96,95        | 89,58        | 97,35        |
| COFRENTES                                    | 98,00        | 87,75        | 75,97        | 99,06        | 81,63        | 78,20        | 95,00        |
| VANDELLÓS II                                 | 89,93        | 88,12        | 52,28        | 94,20        | 83,03        | 99,60        | 55,73        |
| TRILLO                                       | 86,44        | 93,69        | 93,02        | 88,76        | 91,26        | 91,85        | 89,28        |
| <b>GLOBAL</b>                                | <b>87,18</b> | <b>91,94</b> | <b>84,32</b> | <b>91,33</b> | <b>88,72</b> | <b>90,43</b> | <b>86,29</b> |
| FACTOR DE INDISPONIBILIDAD NO PROGRAMADA (%) |              |              |              |              |              |              |              |
| JOSÉ CABRERA(*)                              | 34,71        | 5,46         | 3,64         | --           | --           | --           | --           |
| SANTA Mª DE GAROÑA(**)                       | 0,44         | 1,10         | 1,93         | 2,82         | --           | --           | --           |
| ALMARAZ I                                    | 2,93         | 0,93         | 0,03         | 3,07         | 1,39         | 1,31         | 0,03         |
| ALMARAZ II                                   | 1,11         | 1,48         | 0,03         | 3,37         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| ASCÓ I                                       | 1,28         | 1,11         | 2,96         | 6,31         | 3,24         | 3,32         | 2,44         |
| ASCÓ II                                      | 0,72         | 0,61         | 2,96         | 1,67         | 2,32         | 0,31         | 2,53         |
| COFRENTES                                    | 1,59         | 1,53         | 1,54         | 0,53         | 0,16         | 11,11        | 4,58         |
| VANDELLÓS II                                 | 0,51         | 2,38         | 35,56        | 5,66         | 3,90         | 0,09         | 18,95        |
| TRILLO                                       | 0,07         | 0,30         | 1,67         | 1,00         | 0,00         | 0,07         | 0,11         |
| <b>GLOBAL</b>                                | <b>1,83</b>  | <b>1,32</b>  | <b>6,32</b>  | <b>3,20</b>  | <b>1,57</b>  | <b>2,35</b>  | <b>4,17</b>  |

Reducción del factor de disponibilidad:

- Mayor factor de disponibilidad Asco II
- Menor factor de disponibilidad Vandellós II.

Aumento del factor de indisponibilidad no programada:

- Mayor factor de indisponibilidad Vandellós II.
- Menor factor de indisponibilidad Almaraz II.

Fuente: Foro Nuclear

**Factor de disponibilidad:** Complemento a 100 de los factores de Indisponibilidad Programada y No Programada.

**Factor de indisponibilidad programada:** Relación entre la energía que se ha dejado de producir por paradas o reducciones de potencia programadas en un período atribuibles a la propia central y la energía que se hubiera podido producir en el mismo período funcionando a la potencia nominal.

**Factor de indisponibilidad no programada:** Relación entre la energía que se ha dejado de producir por paradas o reducciones de potencia no programadas atribuibles a la propia central en un período de tiempo y la energía que se hubiera podido producir en el mismo período funcionando a la potencia nominal.

# ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

## RECURSOS

- International Atomic Energy Agency (IAEA).
- El sistema eléctrico español (2019) (REE).
- Foro nuclear (<https://www.foronuclear.org/>)