

## 4 Datos de estaciones de medición en superficie

Los datos meteorológicos de irradiación solar global utilizados fueron obtenidos de 33 estaciones de medición en superficie distribuidas por toda la geografía de España, pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología (INM) de España. Los datos consisten en valores promedio de irradiación solar horaria, desde las 4 am hasta las 8 pm, conjuntamente con la irradiación solar diaria. El período de tiempo considerado fue desde enero de 1998 hasta diciembre de 2002, es decir cinco años completos.

En la Figura 4.1 se muestra la localización geográfica de las estaciones de medición del INM (Instituto Nacional de Meteorología) de España consideradas sobre el mapa de la Península Ibérica. Las coordenadas de cada una de las estaciones empleadas se muestran en la Tabla 5.1.

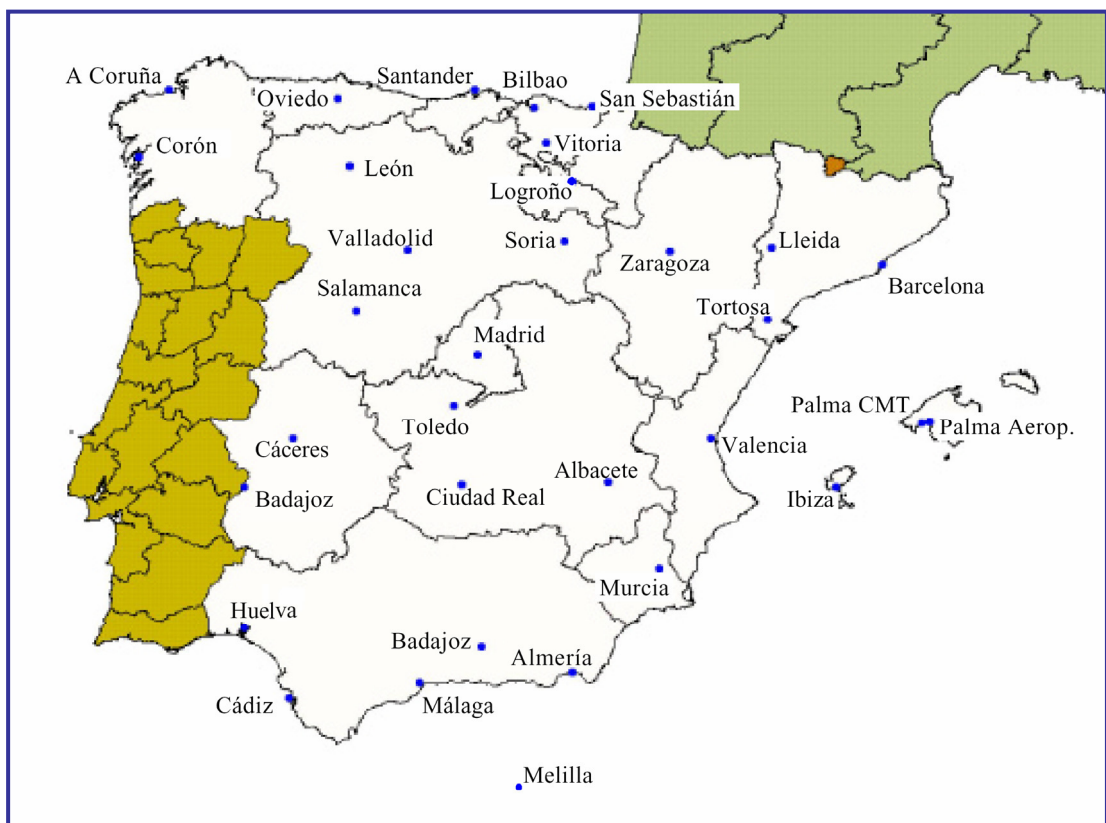


Figura 4.1: Ubicación de las estaciones de medición del INM de España

Tabla 4.1: Coordenadas de las estaciones de medición

Nº	Estación	Nombre INM	Latitud	Longitud
1	Barcelona	Centro Meteorológico	41.3867	2.20111
2	San Sebastián	Igueldo	43.3075	-2.03944
3	Bilbao	Aeropuerto	43.2981	-2.90583
4	Santander	Centro Meteorológico	43.4917	-3.79972
5	Oviedo	El Cristo	43.3536	-5.87333
6	A Coruña	Estación Completa	43.3672	-8.41945
7	Corón	Corón	42.5811	-8.80361
8	Soria	Observatorio	41.7667	-2.46667
9	Valladolid	Observatorio	41.6500	-4.76667
10	León	Virgen Del Camino	42.5889	-5.64944
11	Salamanca	Matacan	40.9456	-5.49611
12	Madrid	Ciudad Universitaria	40.4528	-3.72417
13	Toledo	Buenavista	39.8847	-4.04944
14	Cáceres	Carretera Trujillo	39.4722	-6.33944
15	Ciudad Real	Escuela De Magisterio	38.9894	-3.91972
16	Badajoz	Universidad	38.8861	-7.01167
17	Huelva	Ronda Este	37.2800	-6.90972
18	Granada	Base Aérea	37.1361	-3.63111
19	Cádiz	Cortadura	36.4986	-6.26028
20	Melilla	Melilla	35.2808	-2.95528
21	Málaga	Centro Meteorológico	36.7208	-4.48278
22	Almería	Aeropuerto	36.8431	-2.38806
23	Murcia	Murcia	38.0028	-1.16944
24	Albacete	Observatorio	39.0069	-1.86083
25	Valencia	Valencia	39.4800	-0.38111
26	Vitoria	Aeropuerto De Foronda	42.8839	-2.72278
27	Logroño	Agoncillo	42.4517	-2.33083
28	Zaragoza	Argualas	41.6283	-0.91361
29	Lleida	Observatori 2	41.6258	0.59500
30	Tortosa	Observatori del Ebro	40.8206	0.49139
31	Palma CM	Centro Meteorológico (CM)	39.5556	2.62639
32	Palma Aeropuerto	Aeropuerto Son Sant Joan	39.5667	2.74389
33	Ibiza	Aeropuerto de Ibiza	38.8781	1.37000

## 4.1 Filtrado de los datos

El proceso de filtrado se realiza con el fin de detectar y eliminar posibles errores de medición, por ejemplo: presencia de sombras, malas calibraciones, datos fuera de rango, etc.

Este proceso es particularmente relevante debido a que errores en las mediciones pueden conducir a grandes variaciones espaciales de los datos. El método consiste en el análisis de los datos en función de un criterio de coherencia temporal, para ello se comparó los datos medidos por cada estación con las curvas teóricas de irradiación solar extraterrestre y de irradiación solar atenuada (la cual representa el valor más probable de irradiación solar en superficie para cielo despejado).

La curva de irradiación solar extraterrestre se genera analíticamente mediante la ecuación 3.2, la cual toma en cuenta la evolución astronómica de la tierra para una latitud y momento determinados y proporciona una estimación de la irradiación solar global máxima (teórica) que incide en el límite superior de la atmósfera.

La curva de irradiación solar extraterrestre, se empleó en primer lugar para detectar y eliminar todos los registros con valores mayores a ésta por considerarse teóricamente imposibles de ocurrir, y en segundo lugar para determinar las horas teóricas de sol, esto con el propósito de determinar la cantidad y calidad de los datos de irradiación solar de las estaciones de medición en superficie.

La curva de irradiación solar global atenuada fue generada a partir de la curva de irradiación solar extraterrestre para una transmisividad atmosférica determinada y proporciona una estimación de la irradiación solar global a nivel del mar bajo condiciones de cielo despejado.

La transmisividad atmosférica depende de la presión atmosférica, del espesor óptico, de la elevación solar y de la posición (latitud) en la Tierra donde se mida, etc., Linacre (1992) reporta valores de transmisividad atmosférica cuando el Sol está ubicado en la vertical, entre 0.76 y 0.80 para el noreste de los Estados Unidos de América, otros autores reportan valores similares para la zona de Cataluña, entre ellos tenemos los trabajos realizados por Jiménez (1981), Lorente et al. (1994) y Flores (2002). Específicamente se empleará un modelo simple, con un valor máximo de transmisividad atmosférica de 0.8 para el caso de incidencia de los rayos solares verticales (espesor óptico 1) y aire muy limpio y seco.

La curva de irradiación solar global atenuada, se empleó como referencia para chequear la evolución de la irradiación solar global para días claros durante todo el año. Desviaciones apreciables no justificables respecto de los valores de esta curva indicaría posibles errores de medición.

En el Anexo D desde la Figura 13.2 hasta la Figura 13.34 se presentan los registros de irradiación diaria realizados por cada estación para los 5 años estudiados así como la curva teórica de irradiación solar diaria atenuada. En la Figura 4.2 a modo de ejemplo se muestra para la estación de medición de San Sebastián los gráficos correspondientes a los años 1998 y 1999, en azul el registro diario medido por el piranómetro y en rojo la irradiación solar diaria atenuada, se observa que en el año 1999 el registro fue parcial.

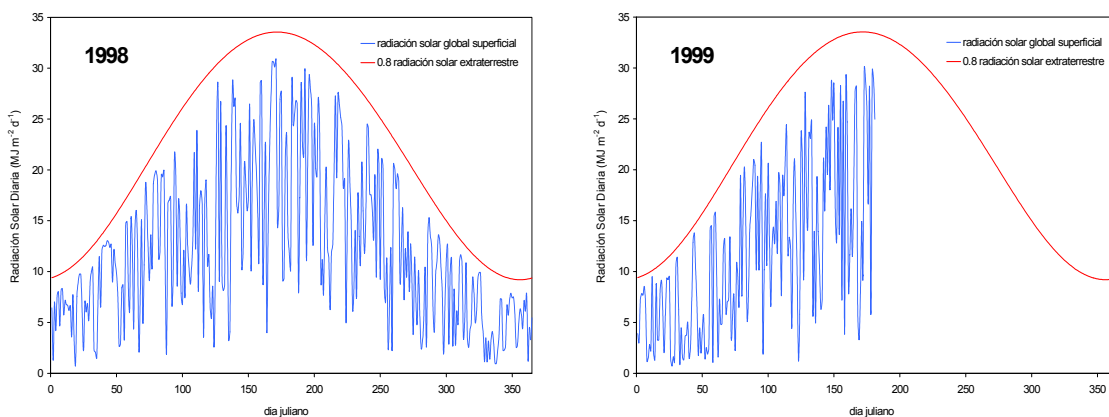


Figura 4.2: Irradiación solar registrada en la estación San Sebastián (en azul) y la irradiación solar atenuada, igual a 0.8 de la irradiación solar extraterrestre (en rojo)

## 4.2 Análisis por tiempo de cobertura

El proceso de análisis y filtrado fue realizado con el propósito de cuantificar y cualificar los datos provenientes de las distintas estaciones de medición. El proceso realizado llevó a la identificación de 4 tipos de datos, los correctamente registrados, esto es, registros no vacíos en horario diurno menores que la irradiación solar extraterrestre, los erróneos, que presentan un valor mayor que la irradiación solar extraterrestre, los superfluos, que ocurren en horario nocturno y los vacíos, que no presentan dato.

Tabla 4.2: Datos útiles de irradiación solar horaria

Nº	Estación	1998	1999	2000	2001	2002	Años equivalentes
1	Barcelona	- %	- %	- %	59 %	32 %	0.9
2	San Sebastián	100	51	88	99	91	4.3
3	Bilbao	100	73	79	70	13	3.3
4	Santander	100	99	99	99	99	5.0
5	Oviedo	100	97	90	99	99	4.9
6	A Coruña	99	98	99	98	97	4.9
7	Corón	90	99	74	5	35	3.0
8	Soria	-	-	68	26	55	1.5
9	Valladolid	94	96	98	96	96	4.8
10	León	98	98	99	99	95	4.9
11	Salamanca	-	-	-	72	93	1.7
12	Madrid	99	99	100	99	99	5.0
13	Toledo	99	89	66	100	77	4.3
14	Cáceres	99	88	99	60	64	4.1
15	Ciudad Real	97	90	100	90	99	4.8
16	Badajoz	-	-	19	7	57	0.8
17	Huelva	98	93	63	-	36	2.9
18	Granada	7	99	95	97	64	3.6
19	Cádiz	100	100	100	79	-	3.8
20	Melilla	99	27	93	97	100	4.2
21	Málaga	51	98	92	54	74	3.7
22	Almería	98	100	97	40	-	3.3
23	Murcia	99	98	98	99	97	4.9
24	Albacete	62	99	77	70	69	3.8
25	Valencia	100	99	99	89	96	4.8
26	Vitoria	-	-	77	98	98	2.7
27	Logroño	85	98	80	99	96	4.6
28	Zaragoza	-	41	78	92	96	3.1
29	Lleida	96	-	14	77	-	1.9
30	Tortosa	86	-	-	52	-	1.4
31	Palma CM	98	99	41	-	-	2.4
32	Palma Aeropuerto	-	-	-	90	89	1.8
33	Ibiza	54	-	65	99	97	3.1
	Promedio	88.8 %	88.7 %	80.9 %	77.8 %	79.1 %	4.15

Tabla 4.3: Datos útiles de irradiación solar diaria

Nº	Estación	1998	1999	2000	2001	2002	Años equivalentes
1	Barcelona	- %	- %	- %	53 %	32 %	0.9
2	San Sebastián	96	47	81	95	88	4.1
3	Bilbao	96	67	73	64	16	3.2
4	Santander	97	93	93	92	92	4.7
5	Oviedo	96	92	82	93	92	4.6
6	A Coruña	95	92	92	91	90	4.6
7	Corón	80	88	63	5	27	2.6
8	Soria	-	-	55	30	53	1.4
9	Valladolid	84	81	96	89	89	4.4
10	León	89	88	90	89	79	4.4
11	Salamanca	-	-	-	64	85	1.5
12	Madrid	94	95	96	95	94	4.7
13	Toledo	94	86	60	96	76	4.1
14	Cáceres	95	86	96	58	59	3.9
15	Ciudad Real	95	88	98	85	91	4.6
16	Badajoz	-	-	16	7	55	0.8
17	Huelva	96	75	60	-	36	2.7
18	Granada	8	97	81	87	57	3.3
19	Cádiz	96	96	97	71	-	3.6
20	Melilla	97	28	89	95	97	4.1
21	Málaga	46	95	87	45	67	3.4
22	Almería	95	98	95	41	-	3.3
23	Murcia	95	95	93	95	94	4.7
24	Albacete	65	97	77	72	63	3.7
25	Valencia	98	95	95	87	91	4.7
26	Vitoria	-	-	68	89	91	2.5
27	Logroño	83	89	77	97	89	4.4
28	Zaragoza	-	41	70	84	87	2.8
29	Lleida	88	-	15	68	-	1.7
30	Tortosa	81	-	-	50	-	1.3
31	Palma CM	94	95	40	-	-	2.3
32	Palma Aeropuerto	-	-	-	88	89	1.8
33	Ibiza	45	-	61	97	92	3.0
	Promedio	84.6 %	83.5 %	75.8 %	73.4 %	74.0 %	3.91

Esta clasificación permitió determinar la calidad de los datos de las estaciones de medición, para ello se determinó para cada estación y cada año el porcentaje correspondiente a cada uno de los tipos de dato definidos en el párrafo anterior respecto del total de datos posibles (no superfluos) con horas de sol.

En las Tablas 4.2 y 4.3 se muestran los datos correctamente registrados de irradiación solar horaria y diaria respectivamente, para cada estación y para cada año. Los datos erróneos y vacíos de irradiación horaria y diaria se muestran en el Anexo D, desde la Tabla 13.4 a la 13.7.

Se observa que para el caso de los datos horarios el porcentaje de datos correctos (Tabla 4.2), varía desde un 5% hasta el 100% y en el caso de los datos diarios (Tabla 4.3) los datos varían desde un 5% hasta un 96%, sin considerar en ambos casos las estaciones con ausencia total de datos.

En las Tablas 4.4 y 4.5 se muestra a modo de resumen el valor promedio de todas las estaciones para cada tipo de dato, para los datos horarios y diarios respectivamente. Se incluye en cada tabla el valor de años equivalentes del período (1998-2002).

Tabla 4.4: Resumen de los datos horarios por tipo

Tipo de dato \ Años	1998	1999	2000	2001	2002	Años equivalentes
Correctos	88.7 %	88.7 %	80.9 %	77.8 %	79.1 %	4.15 ( 83.0%)
Erróneos	0.5 %	0.6 %	0.5 %	0.5 %	0.6 %	0.03 ( 0.6%)
Vacíos	10.8 %	10.7 %	18.6 %	21.7 %	20.3 %	0.82 ( 16.4%)

Tabla 4.5: Resumen de los datos diarios por tipo

Tipo de dato \ Años	1998	1999	2000	2001	2002	Años equivalentes
Correctos	84.6 %	83.5 %	75.8 %	73.4 %	74.0 %	3.91 ( 78.2%)
Erróneos	4.8 %	5.8 %	5.0 %	4.6 %	5.7 %	0.26 ( 5.2%)
Vacíos	10.6 %	10.7 %	19.2 %	22.0 %	20.4 %	0.83 ( 16.6%)

De las Tablas 4.4 y 4.5 se deduce que el valor medio de datos diarios correctos es de 78.2% respecto del 83.0% para el caso del valor medio de datos horarios. En el caso de los datos erróneos la media total es de un 0.6% para los datos horarios y de un 5.2% para los datos diarios, en cambio para el caso de los datos vacíos se observa que tanto para datos horarios como para datos diarios la media total es muy similar,

de un 16.4% y un 16.6% respectivamente. Por último en lo que se refiere a años equivalentes los datos horarios corresponden a 4.15 años y los datos diarios a 3.91 años.

### **4.3 Análisis por área de cobertura**

Las estaciones de medición del INM se encuentran homogéneamente distribuidas en todo el territorio español, aunque su densidad es bastante reducida. Tomando la superficie de España el valor de 504.782 km<sup>2</sup>, la densidad de cobertura es de 15.296 km<sup>2</sup> para cada estación, con un radio de acción de aproximadamente 70 km, lo que corresponde con los valores reportados por la literatura de 100 a 150 kilómetros de separación entre estaciones (Cano (1985) y Diabaté (1986)).

Cabe hacer notar que dentro del período estudiado sólo 21 estaciones de medición poseen un valor a lo menos de 70 % de medidas continuas (ver Tablas 4.1, 4.2 y 4.6), lo que conlleva una disminución en la densidad de cobertura, con un radio de acción cercano a los 90 km.

### **4.4 Estaciones de calibración y estaciones de validación**

Para la elección de las estaciones de calibración se siguió un criterio basado en la cantidad de datos útiles, para ello se eligió las estaciones de medición que contenían un valor por año de datos útiles de irradiación solar diaria superior al 70%, ver Tabla 4.3, esto basado en el hecho de que un año con pocos datos puede generar estimaciones poco realistas. Así mismo las estaciones que no cumplían con este criterio fueron utilizadas para la validación del modelo.

En la Tabla 4.6 se muestran las estaciones elegidas para calibración y las elegidas para validación. Se observa que el número de estaciones para cada situación varía de año en año, y que además una misma estación puede ser utilizada tanto para calibración como para validación según el año en consideración.



Tabla 4.6: Estaciones de medición para calibración y validación

Nº	Estación	1998	1999	2000	2001	2002
1	Barcelona	X	X	X	V	V
2	San Sebastián	C	V	C	C	C
3	Bilbao	C	C	C	V	V
4	Santander	C	C	C	C	C
5	Oviedo	C	C	C	C	C
6	A Coruña	C	C	C	C	C
7	Corón	C	C	C	V	V
8	Soria	X	X	V	V	V
9	Valladolid	C	C	C	C	C
10	León	C	C	C	C	C
11	Salamanca	X	X	X	C	C
12	Madrid	C	C	C	C	C
13	Toledo	C	C	V	C	C
14	Cáceres	C	C	C	V	V
15	Ciudad Real	C	C	C	C	C
16	Badajoz	X	X	V	V	V
17	Huelva	C	C	V	X	V
18	Granada	V	C	C	C	V
19	Cádiz	C	C	C	C	X
20	Melilla	C	V	C	C	C
21	Málaga	V	C	C	V	C
22	Almería	C	C	C	V	X
23	Murcia	C	C	C	C	C
24	Albacete	V	C	C	C	V
25	Valencia	C	C	C	C	C
26	Vitoria	X	X	C	C	C
27	Logroño	C	C	C	C	C
28	Zaragoza	X	V	C	C	C
29	Lleida	C	X	V	C	X
30	Tortosa	C	X	X	V	X
31	Palma CM	C	C	V	X	X
32	Palma Aeropuerto	X	X	X	C	C
33	Ibiza	V	X	V	C	C
Total de estaciones de calibración "C"		22	21	22	22	19
Total de estaciones de validación "V"		4	3	7	9	9
Total de estaciones sin datos "X"		7	9	4	2	5

## 4.5 Conclusiones

El análisis, filtrado y depuración de los datos de irradiación solar superficial es un proceso clave en la correcta parametrización de los modelos numéricos. En el caso de este trabajo primeramente se clasificó la información recibida en datos correctamente medidos, datos erróneos y datos vacíos.

En síntesis los cinco años de medidas de irradiación superficial, tanto horarias como diarias, poseen un número similar de datos vacíos, alrededor de 16.5 %, lo que equivale a aproximadamente 10 meses sin registros.

Los datos erróneos que corresponden a datos con valores mayores que el máximo teórico permitido, en el caso de los datos horarios es prácticamente despreciable, del orden de 10 días, en cambio para los datos diarios su valor es muy superior alcanzando los 90 días.

Por último los datos correctamente registrados en el período comprendido entre 1998 y 2002, de las 33 estaciones del INM, corresponden a 4.15 años equivalentes (de medidas continuas) para los datos horarios y 3.91 para los datos diarios.

Otro punto importante es la definición de las estaciones de calibración y de validación, para tal efecto se eligió un valor máximo anual de medidas continuas para que una estación fuera calificada como estación de calibración, éste valor fue establecido en un 70% de modo que el mayor número de estaciones fueran utilizadas para calibración y el resto para validación, un valor límite mayor habría dado muy pocas estaciones de calibración, y un valor menor habría tolerado estaciones con períodos vacíos importantes lo que habría influido en la calidad de la calibración. Así, en promedio se contó con 21 estaciones de calibración y 7 estaciones de validación, el resto (5) correspondió a estaciones sin datos.