Universitat Autònoma de Barcelona

Facultad de Ciencias
Departamento de Física

Trabajo Final de Grado en Física

Applying observed and synthetic solar resource data to an artistic project

Dirección:
Dr. Josep Vidal
Co-dirección:
Dr. Miguel Larrañeta Gómez-Caminero

Autora:
Carla Blanes Gallego
NIU: 1444079

Junio 2022

Analytical abstract

FER

Índice

1. Lista de abreviaciones **1**

2. Introducción **2**

3. Objetivos y metodología **3**

4. Marco teórico **4**

4.1. Tipos de radiación 4

4.2. Instrumentación 4

4.3. Tratamiento de datos: generación sintética 4

5. Resultados y discusión **5**

5.1. Datos observados de l'Obervatori Fabra 6

5.1.1. Representación de datos 6

5.1.2. Análisis de datos 7

5.1.3. Tratamiento de datos 11

5.2. Extensión a años anteriores: generación sintética 14

5.2.1. Generación sintética mediante algoritmos numéricos 14

5.2.2. Representación de datos 14

5.2.3. Análisis y validación datos sintéticos 15

5.3. Ajustes de los datos sintéticos: tendencia 18

5.4. Implementación 19

6. Futuras lineas de trabajo y posibles mejoras **20**

6.1. Corrección parcial: datos sintéticos 20

6.2. Corrección global: estudio de sombras 20

6.3. Corrección por existencia edificio 20

7. Conclusiones **21**

8. Bibliografía **22**

Anexo **23**

1. Lista de abreviaciones

IHG irradiancia horizontal global.

2. Introducción

El proyecto se inicia con una petición de Eina, un centro universitario de artes y diseño de Barcelona que está rehabilitando un edificio como nuevo espacio. Se pidió a una serie de artistas hacer algunas instalaciones permanentes que funcionaran como una especie de radiografía de la memoria histórica del espacio y el proceso de obras. Durante la rehabilitación se cortó un árbol del patio interior del edificio por miedo a que cayera durante la construcción. Se eligió trabajar con ese árbol y buscar la manera de reflejar su vida desde que nació hasta que fue talado por las obras, a modo de radiografía del espacio. Después de hacer una recolección de las posibles variables que hayan afectado la vida de ese árbol, se decide trabajar con una de las más importantes: la luz. Se pretende recoger y mostrar todos los datos de irradiancia del árbol, es decir, de la luz que le llegó desde que nació hasta que murió.

Así, se trabaja con el concepto de irradiancia, la cantidad de radiación solar que incide en una superficie durante una cantidad determinada de tiempo, y se concreta en un proyecto artístico.

3. Objetivos y metodología

El objetivo principal es recoger y mostrar todos los datos de irradiancia del árbol, es decir, de la luz que le llegó desde que nació hasta su muerte. Por lo tanto, los objetivos se pueden secuenciar de la siguiente forma:

- Obtener la irradiancia solar diaria recibida por el árbol durante el periodo del que se dispongan de datos.

- Analizar y tratar los datos observados de irradiancia obtenidos mediante un pirómetro.

- Generar datos sintéticos de irradiancia mediante algoritmos numéricos que reproduzcan la irradiancia recibida por el árbol desde su nacimiento hasta su muerte.

- Transformar los perfiles diarios de irradiancia obtenidos sintéticamente en una expresión artística a través de una luz integrada en el tronco del árbol.

Con estos propósitos, se procederá de la siguiente manera. Los datos observados se adquieren de los registros disponibles de un piranómetro del Observatori Fabra (años completos 1996-2021). Estos datos se validan a partir de su tratamiento, incluyendo su representación, análisis, detección de errores y sustitución de los valores pertinentes y supresión de datos discordantes. Se emplea Matlab y Excel para este tratamiento.

A continuación, se extrapolan a años anteriores los datos observados validados para conseguir valores del total de años de vida del árbol. Esto se logra mediante la generación de una muestra suficientemente grande de años sintéticos a partir de algoritmos numéricos. Éstos se validan y seleccionan, de nuevo, a partir de su tratamiento, incluyendo su representación, análisis, comparación y corrección respecto a los datos observados validados.

Por último, se realiza una conversión de los datos finales validados de irradiancia diaria solar (observados y sintéticos) para su visualización en la instalación artística. Partiendo de esta información, y mediante una instalación eléctrica *in situ*, se inicia una simulación lumínica que recorre la vida del árbol, que se ilumina a diario un tiempo proporcional a la irradiancia recibida por el mismo un día determinado. Esto se logra mediante una placa solar, un controlador y una aplicación móvil.

4. Marco teórico

Acabar de plantear puntos y añadir a medida que se avance en resultados y discusión *******cosas a incluir: -efecto lupa (posibilidad de IHG mayor que 1000?)

4.1. Tipos de radiación

4.2. Instrumentación

Diferentes instrumentos de medida de la irradiancia piranómetros + centrar en el del Observatori (ppio funcionamiento, etc.): Marca Kipp Zonen, modelo SMP6-V

4.3. Tratamiento de datos: generación sintética

5. Resultados y discusión

Primeramente se trabaja con los datos observados disponibles de un emplazamiento lo suficientemente cercano al del árbol en cuestión como para considerar válidos los valores que se proporcionen, o al menos los más aproximados a la realidad que se puedan conseguir. Este sitio es el Observatori Fabra, el lugar más cercano que cuenta con un piranómetro y registros de irradiancia, concretamente se encuentra a menos de 1,5 km del edificio de Eina con el árbol, como se puede ver en la Figura 1. Las coordenadas exactas de las dos localizaciones son:

- Árbol de Eina: 41° 24′ 32,3″ N 2° 06′ 45,4″ E
- Piranómetro del Observatori Fabra: 41° 25′ 06,3″ N 2° 07′ 26,1″ E



Figura 1: Mapa de Google Earth con la distancia entre el árbol y el piranómetro del Observatori.

Así, se adquieren los valores de irradiancia horizontal global (IHG) que tiene disponibles el Observatori: des de 1996 hasta la actualidad. A partir de estos datos reales disponibles, y mediante algoritmos numéricos, se extraerán valores de años anteriores para así disponer del recopilatorio diario de la luz que recibió ese árbol a lo largo de su vida.



Figura 2: Árbol del proyecto con el agujero central donde se colocará la bombilla.

La visualización de datos se plantea como una estructura en el mismo árbol que contenga una bombilla (ver Figura 2). Cada noche, ésta se encenderá un tiempo proporcional a la cantidad

de luz que recibió el árbol a lo largo de un día determinado. Se programará de manera que el día que se inaugure el proyecto y que se encienda la bombilla por primera vez, se iluminará un cantidad de tiempo correspondiente al área de la curva de irradiancia del último día de vida del árbol; el segundo día después de la inauguración se corresponderá con el penúltimo día antes de ser talado. Así, sucesivamente y de forma retrospectiva, el último día representará el día que se plantó el árbol, y la instalación lumínica se apagará definitivamente.

En el apartado 5.4 se explica la implementación de los datos de IHG en la integración artística, así como la conversión de los mismos y los detalles técnicos de la instalación.

5.1. Datos observados de l'Obervatori Fabra

Los datos de irradiancia facilitados por el Observatori corresponden a la IHG y se dan en las unidades de potencia W/m^2, teniendo un valor cada 30 minutos (una suma de 48 diarios y 17520 al año). Del total de registros adquiridos (1996-2022), se analizan solamente los que se refieren a años a partir del 2000, por la detección de muchos errores e irregularidades en los cuatro primeros años de funcionamiento del instrumento.

5.1.1. Representación de datos

A continuación se examina como ejemplo el año 2000, del cual se podrá observar, en términos de irradiancia, la variabilidad diaria y la tendencia mensual a lo largo del año.

En la Figura 3 se muestran los perfiles diarios de IHG de dos meses de estaciones distintas: enero y julio. Cada pico corresponde uno de los 31 días de estos meses, todos con un perfil similar descrito por la tendencia lógica siguiente: la irradiancia es nula durante las primeras horas del día (cuando es de noche y no hay Sol), en las siguientes horas se inicia una curva creciente (con el ascenso del Sol) y decreciente en la última parte del día hasta hacerse nula de nuevo. Por otro lado, se pueden distinguir los días más soleados por la "perfección" de las curvas respectivas, como por ejemplo los primeros días de enero. Por el contrario, los días más nublados o con inestabilidad se caracterizan por perfiles con cambios abruptos y/o máximos bajos. Algunos ejemplos de este tipo de días son el 8, 9, 10 de enero o 9, 10 de julio.

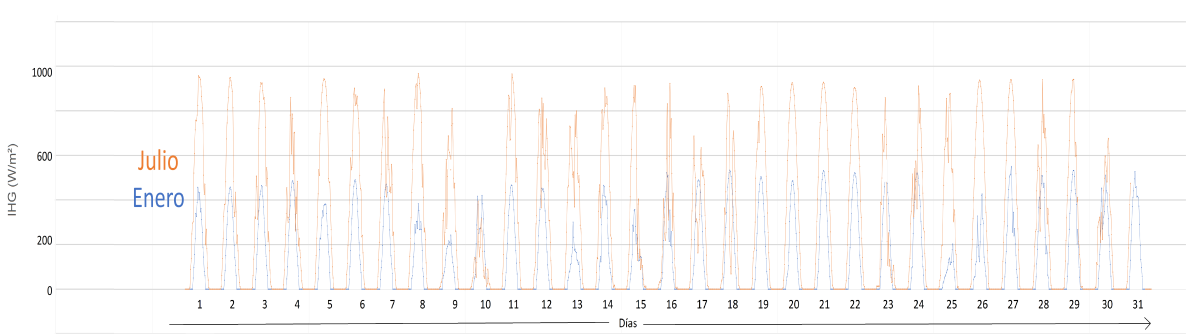


Figura 3: Perfiles de irradiancia registrada en enero y julio del 2000.

Además de esta variabilidad diaria de la irradiancia, se destaca también la diferencia de

escala entre los dos meses representados. Se verifica que los máximos de los días de enero son mucho menores que los del julio: se comprueba, como se podía prever, que la curva de IHG es mayor para meses más soleados (verano) respecto a la de meses de invierno.

En la Figura 4 se extiende esta representación al año entero para comprobar la tendencia de los perfiles de IHG a lo largo del 2000. Se ratifica que los máximos se sitúan en la parte central del gráfico (verano) y los mínimos, en los extremos (invierno). Por otra parte, se observa la presencia de huecos en el registro, que se deben al fallo en el funcionamiento del piranómetro o al sistema de recogida de datos. Más adelante se detalla el procedimiento por el cual se corrige este error.

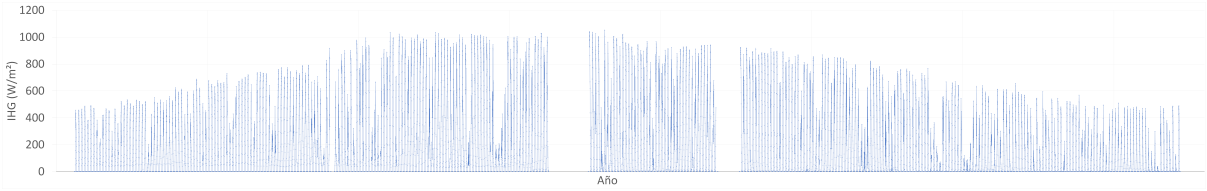
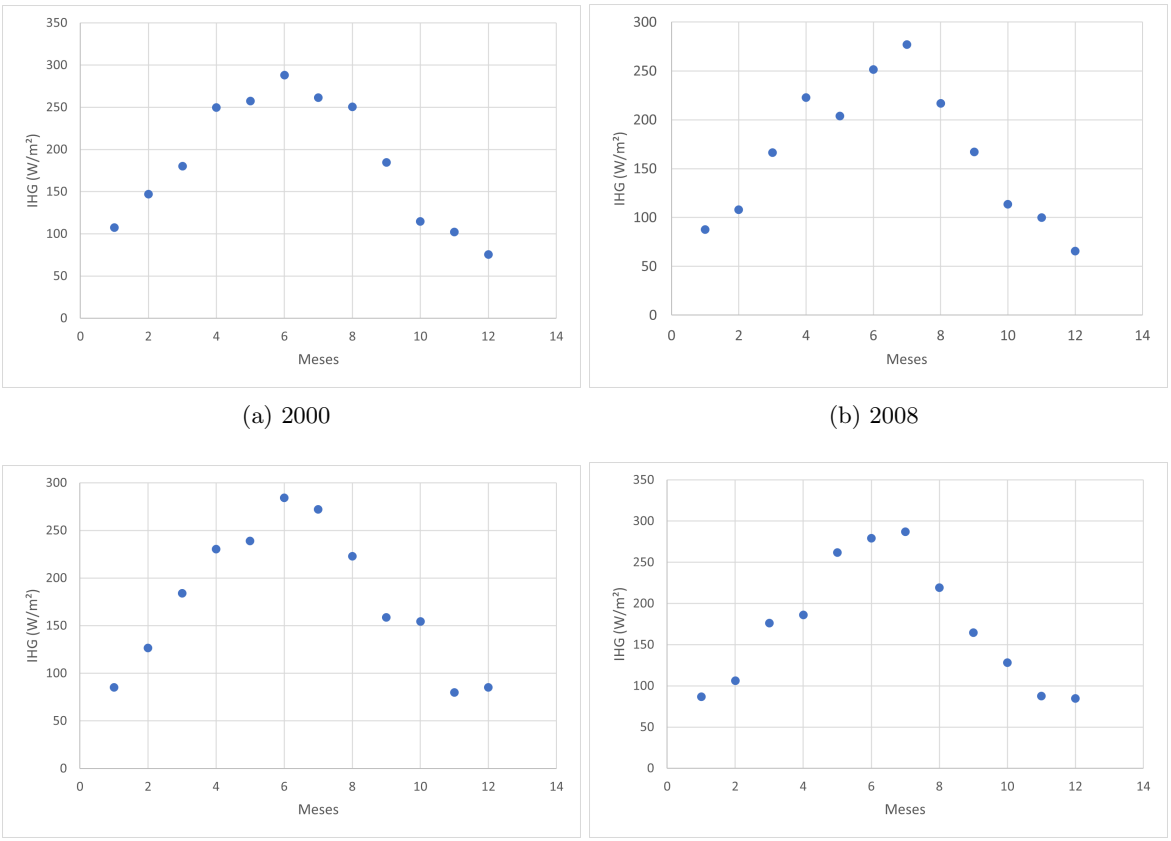


Figura 4: Representación de la irradiancia a lo largo del 2000.

5.1.2. Análisis de datos

Una vez analizadas las tendencias generales diarias y mensuales del año 2000, empleado como modelo, se procede al análisis del total de registros disponibles, 2000-2021.



(a) 2000

(b) 2008

(c) 2014

(d) 2021

Figura 5: Medianas mensuales de irradiancia para los casos de cuatro años diferentes.

Para ilustrar las tendencias por años, se calculan y representan las medias aritméticas mensuales: en la Figura 5 se muestran los perfiles de distintos años, los cuales confirman la tendencia previamente explicada a partir de la Figura 4. Así, se observan perfiles similares, aunque se detectan algunas variaciones puntuales. Una de las tendencias generalizadas para todos los años es que la irradiancia mensual media máxima es la de junio, así como la mínima es la de diciembre.

Para comprobar si existe alguna tendencia a lo largo de todos los años analizados, se representan las medias de los meses con máximo anual (junio) y con mínimo (diciembre) des del 2000 al 2021.

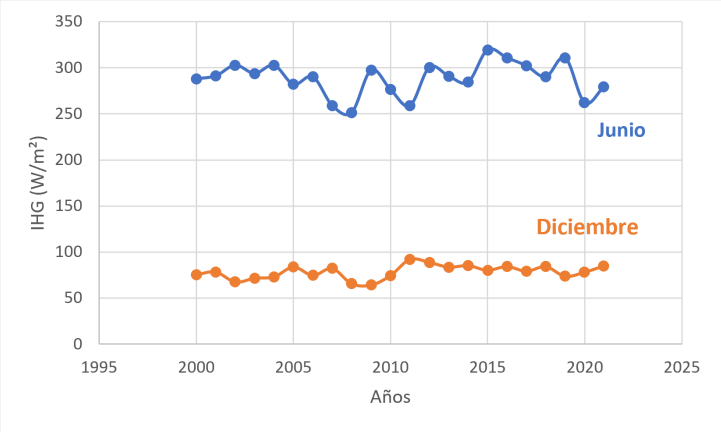


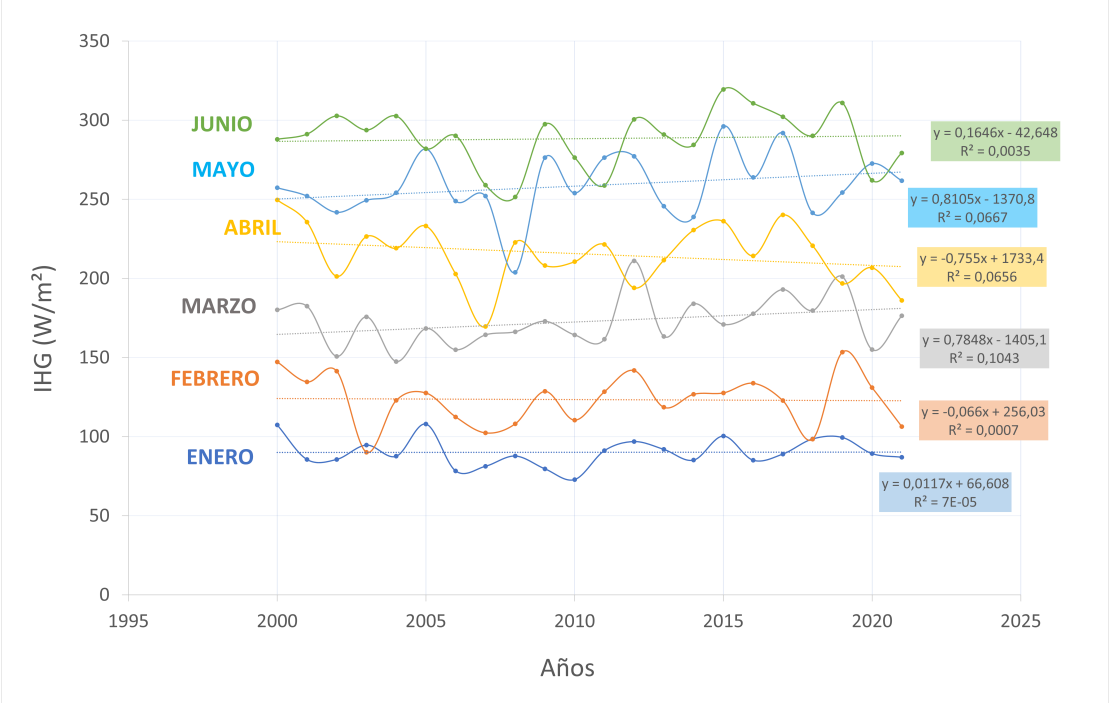
Figura 6: Representación de las medias de junio (máximas) y diciembre (mínimas) de irradiancia des del 2000 al 2021.

Solamente con la observación de la Figura 6, no se deduce ninguna tendencia clara, de manera que se procede a ilustrar el caso general: en la Figura 7 se muestran todas las medias mensuales des del año 2000 al 2021, con un degradado de color amarillo que va des del tono más oscuro (2000) hasta el más claro (2021).

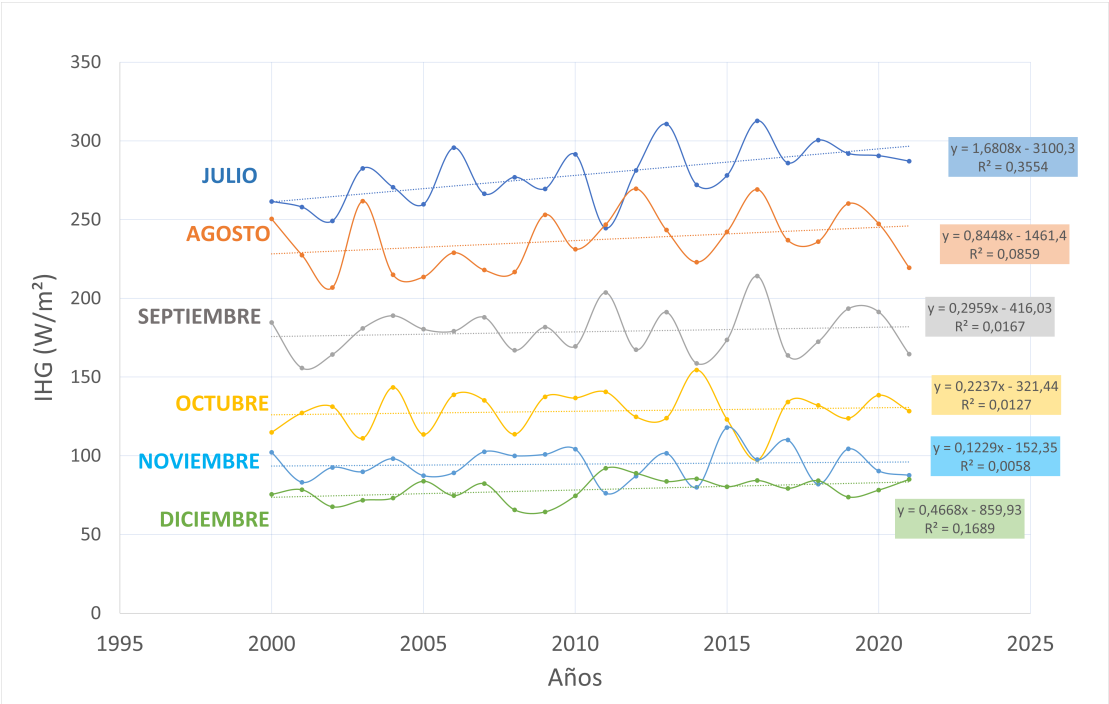


Figura 7: Representación de las medias mensuales de irradiancia des del 2000 al 2021.

En este caso sí que se intuye una tendencia de medias mensuales de IHG irradiancia progresivamente más altas con el paso de los años, lo cual se confirma con la representación de la Figura 8.



(a) Enero-Junio



(b) Julio-diciembre

Figura 8: Representación de las medias mensuales de todos los meses de IHG des del 2000 al 2021.

Las rectas de regresión de cada mes muestran unos pendientes positivos en todos los casos excepto en dos, febrero y abril. Para estos dos meses se obtienen pendientes ligeramente negativos, pero al observar las medias a lo largo de los años, se ve que no se trata de un valor

discordante el que provoca que el pendiente sea negativo, si no que se trata de una tendencia. Con todo, en el periodo transcurrido entre el año 2000 y el 2021, la tendencia general es un aumento leve pero progresivo de la irradiancia. Se destaca también que los coeficientes de regresión R^2 no se aproximan a la unidad, es decir que se tienen perfiles que se alejan de un ajuste lineal. Así, los perfiles muestran valores que suben y bajan continuamente, aunque los pendientes determinan la tendencia general de la irradiancia.

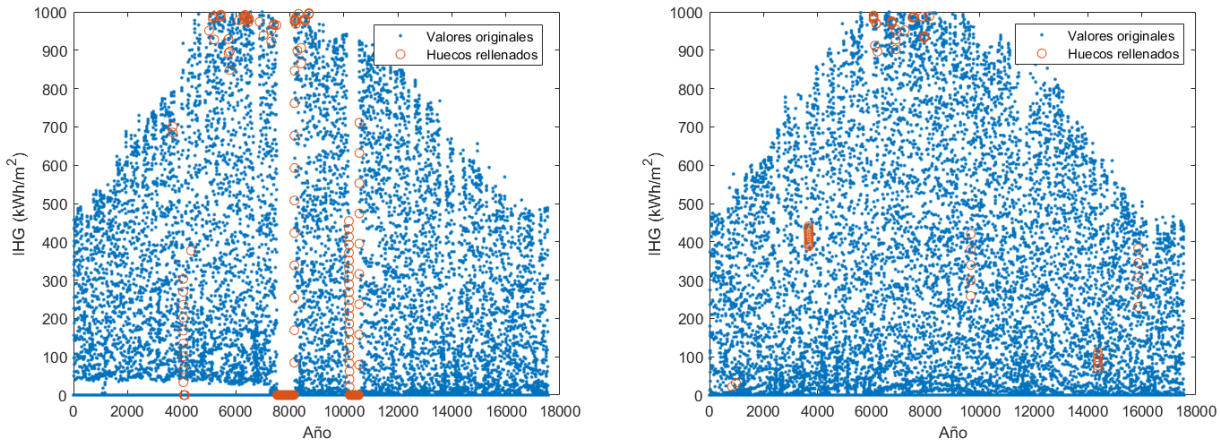
5.1.3. Tratamiento de datos

Algo que puede ocurrir con cualquier instrumento que recoja datos es que haya problemas con el registro o que tenga fallos de vez en cuando durante un periodo más o menos largo de tiempo. Así, con el piranómetro de este caso concreto, la evidencia de este hecho viene dada por la existencia de huecos en el registro. En el conjunto de valores de IHG hay momentos en los cuales faltan datos, pero el hecho de que el Observatori haya facilitado la lista de datos junto con la fecha y hora exactas de la toma de cada uno, permite corregir estos huecos de la siguiente manera, primeramente clasificando los días en dos grupos:

- Día válido: en caso de que exista un fallo de una hora o menos. Estos huecos se rellenan linealizando entre los valores anterior y posterior disponibles.
- Día no-válido: si hay un fallo de más de una hora. En este caso se calcula la media diaria del mes en el que se encuentre dicho día. Entonces se busca un día del mismo mes no más lejos de $\pm$ 10 días con respecto al día no-válido y con una IHG acumulada diaria cercana a la media diaria mensual. A continuación se rellenan los datos del día no-válido con los del día seleccionado. Se debe tener en cuenta la restricción siguiente: no se deben rellenar mas de 4 días no-válidos consecutivos con los valores de un mismo día.

Éste condiciones concretas del método de relleno de huecos están probadas y confirmadas como válidas, como se explica en el estudio (REFERENCIAR ARTÍCULO MIGUEL) El código empleado para el relleno de huecos de éste caso concreto se puede ver en el anexo (!!).

Se realiza este relleno para los registros de todos los años disponibles, pero en el proceso se descartan los años 2000 y 2001 por el gran número de fallos y días no-válidos que contienen (se tienen demasiados huecos de varios días y repetidas veces). En la Figura 4, ya comentada anteriormente, se pueden ver dos huecos que abarcan una cantidad de días considerable del año 2000. Se podría buscar una alternativa para rellenar estos huecos de manera que se obtuvieran datos coherentes, pero se considera que con el resto de registros disponibles se puede seguir con el proyecto y realizar la extensión a años anteriores. En la Figura 9 se presentan dos gráficos con todos los valores de de dos años distintos, uno descartado (2000) y uno no descartado (2004), con los puntos marcados donde se ha rellenado cada hueco.



(a) 2000

(b) 2004

Figura 9: Representación de los valores de IHG originales (en azul) junto con los valores rellenados con el método explicado (en rojo). Se hace notar que las cifras del eje de abscisas se corresponden con el número del dato, que como se ha explicado, hay un total de 17520.

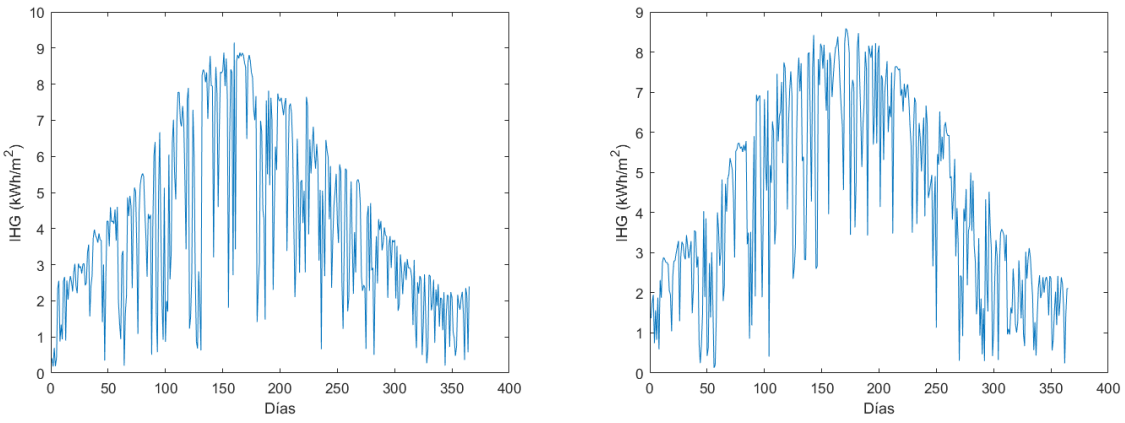
Ahora se tiene el listado completo de IHG cada 30 minutos de 20 años íntegros (2002-2021). El siguiente paso es el cálculo del acumulado diario de irradiancia para todos los días disponibles, de manera que se obtenga una matriz 365 x 20 (365 valores de 20 años diferentes), que será con la que se trabajará para la generación sintética de años. Se aclara que este acumulado diario no se calcula para la generación sintética, sino que se precisa para el proyecto de Eina, encarado a obtener un valor diario durante los años de vida del árbol, para así determinar el tiempo que debe estar encendida la bombilla diariamente.

El cálculo de este acumulado diario a partir de los valores corregidos (cada 30 minutos y en $W \cdot m^{-2}$) se realiza de la siguiente manera:

$$AD_{IHG} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \sum_{i=1}^{48} x_i \tag{1}$$

donde x_i son los valores de IHG del día del que se calcula el acumulado (48 en total), el factor 1/2 se impone porque se quiere el resultado en horas y se tienen 2 valores por cada hora, y el factor 1/1000 es para pasar de W a kW. Así, a partir de la expresión (1) se obtienen los acumulados diarios de IHG para cada día a lo largo de 20 años (2002-2021), en las unidades $kW \cdot h \cdot m^{-2}$.

A continuación se representan dos gráficos de la IHG diaria acumulada para dos años diferentes (Figura 10). Se puede ver un perfil de campana con valores de irradiancia coherentes para los dos casos. Asimismo, en la Figura 11 se muestra el total de datos validados de IHG diaria acumulada (20 años), y se comprueba que no hay valores discordantes que disidan de la tendencia general: el perfil de irradiancia observada es consistente.



(a) 2002 (b) 2003

Figura 10: Acumulado diario de IHG para dos años observados tratados.

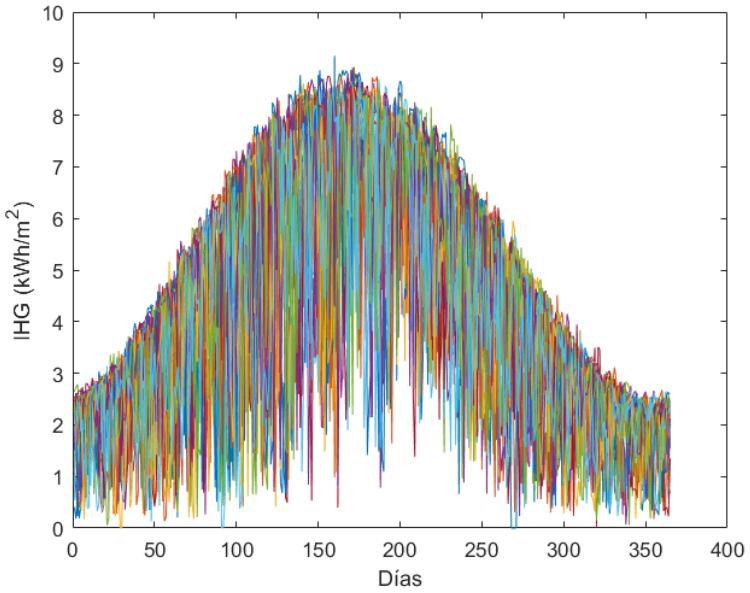


Figura 11: Acumulado diario de IHG para los 20 años observados tratados.

Se procede con un cálculo análogo al que se ha hecho con los datos sin corregir: se determinan las medias mensuales del acumulado diario de IHG observada, pero con los valores corregidos y validados. Se obtienen perfiles similares que los ya vistos en la Figura 8, que demuestran la tendencia generalizada a un aumento de la irradiancia con los años. En el Cuadro 1 se recogen los valores del pendiente por meses, que se determina a partir de la realización del ajuste lineal correspondiente. En vista de los valores que se obtienen, se confirma esta inclinación al incremento de la IHG mensual con el paso de los años. Además, de forma general, esta tendencia se acentúa en los meses más calurosos: julio y agosto tienen dos de los pendientes más pronunciados. Se destaca también los valores ligeramente negativos del pendiente para los

meses de abril y septiembre, lo cual se confirma como una tendencia, ya que en vista del total de datos de estos meses, no hay uno o unos pocos valores que se desvíen del modelo general.

MES	PENDIENTE
Enero	0,00597
Febrero	0,01183
Marzo	0,03086
Abril	-0,00270
Mayo	0,01858
Junio	0,01039
Julio	0,03642
Agosto	0,02627
Septiembre	-0,00014
Octubre	0,00157
Noviembre	0,00278
Diciembre	0,01339

Cuadro 1: Pendiente correspondiente a las medias mensuales de IHG con los valores observados corregidos, des del 2002 al 2021.

5.2. Extensión a años anteriores: generación sintética

5.2.1. Generación sintética mediante algoritmos numéricos

TEORIA + codi annex. EXPLICACIÓ SÈRIE TEMPORAL I TOT EN CONCRET TFM

PAOLA (MARC TEÒRIC EXPLICACIÓ GENERACIÓ SINTÈTICA)

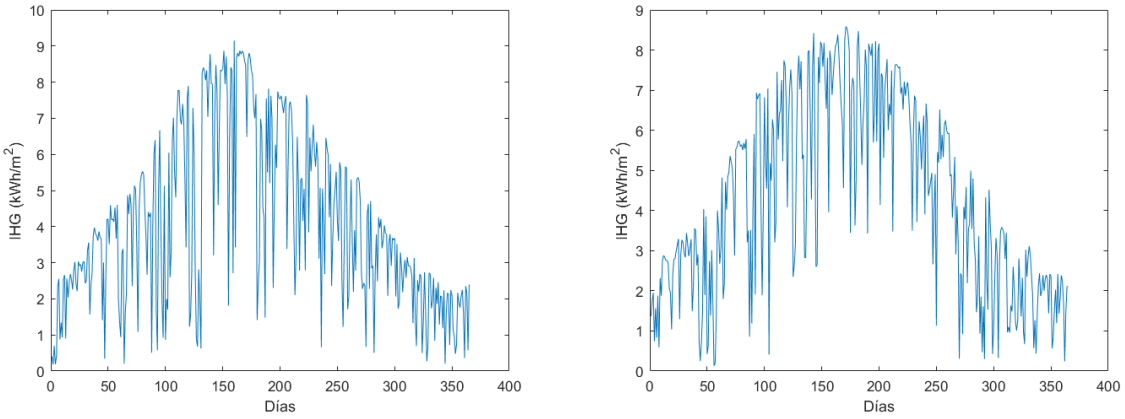
Con los acumulados diarios de IHG disponibles (20 años, es decir, matriz 365 x 20) y a partir de l'algoritmo introducido en el apartado 4.3, se generan 1000 años sintéticos. Así, se tiene una matriz 365 x 1000 con datos diarios de irradiancia

5.2.2. Representación de datos

.

En la Figura 12 se muestran dos gráficos de la IHG diaria acumulada para dos años aleatorios: en este caso se toman las dos primeras columnas de la matriz sintética. Se pueden observar perfiles similares a los vistos para el caso de los años observados (Figura 10).

De la misma manera, se representan todos los datos de IHG acumulada diaria sintética (los 1000 años). En vista de la 13, se verifica que no hay valores que disidan de la tendencia, además de presentar un perfil muy similar al ya visto en la Figura 11.



(a) Año sintético 1 (b) Año sintético 2

Figura 12: Acumulado diario de IHG para dos años sintéticos aleatorios.

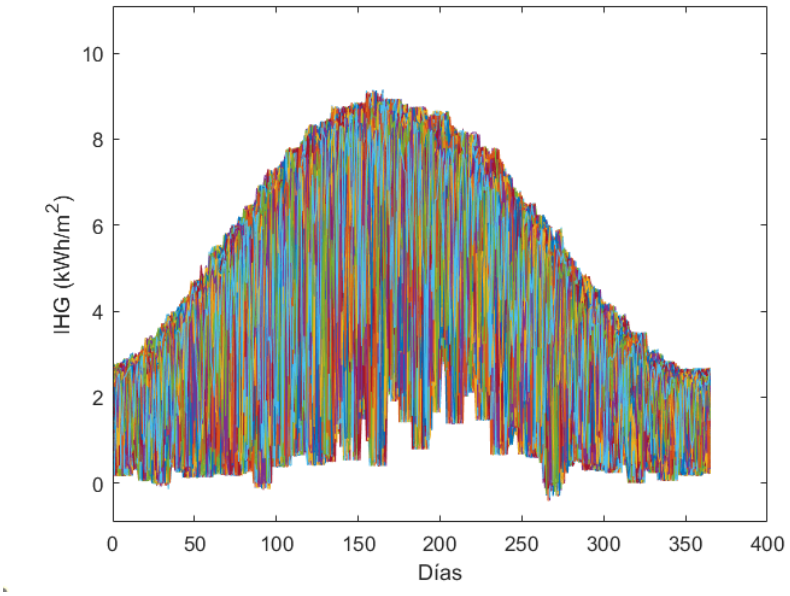
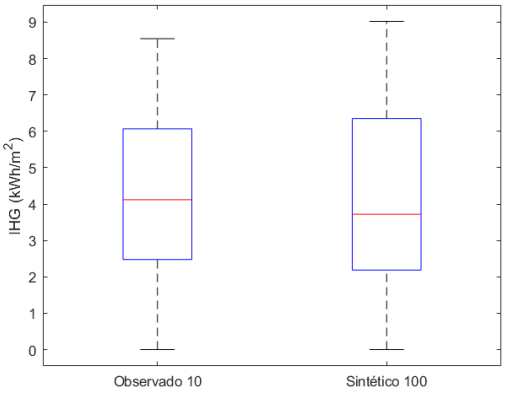


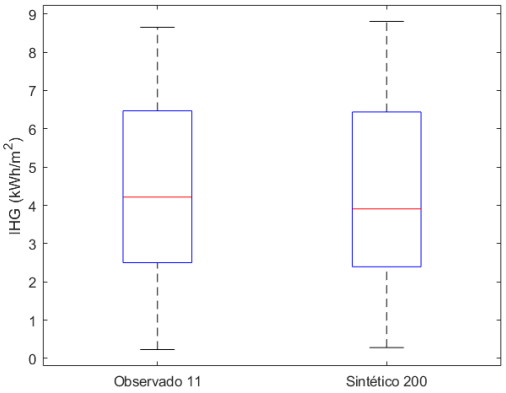
Figura 13: Acumulado diario de IHG para los 1000 años generados sintéticamente.

5.2.3. Análisis y validación datos sintéticos

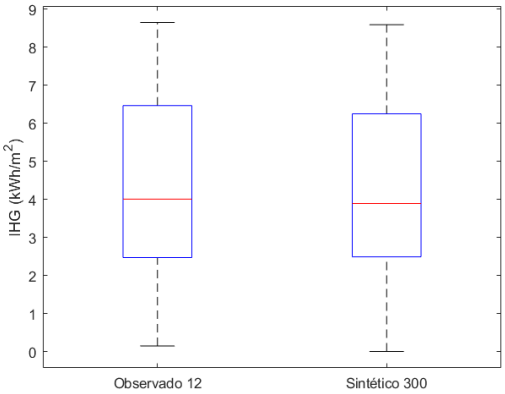
Se comprueba la validez de estos años generados sintéticamente a través de diagramas de caja mediante su comparación con años observados ya validados. En la Figura 14 se muestran los diagramas correspondientes a seis columnas escogidas aleatoriamente de la matriz de datos sintéticos y se equiparan uno a uno con seis de la matriz de observados, es decir, se presenta la comparación entre seis años tomados al azar.



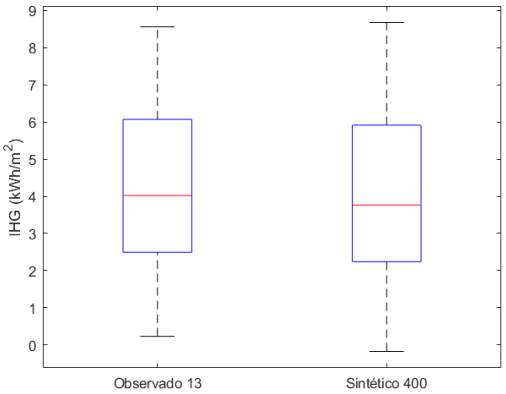
(a) Año observado 10 vs año sintético 100



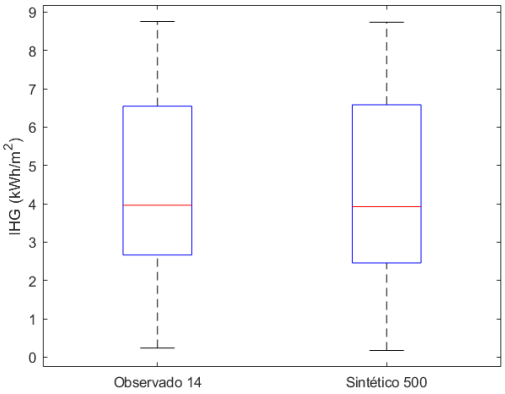
(b) Año observado 11 vs año sintético 200



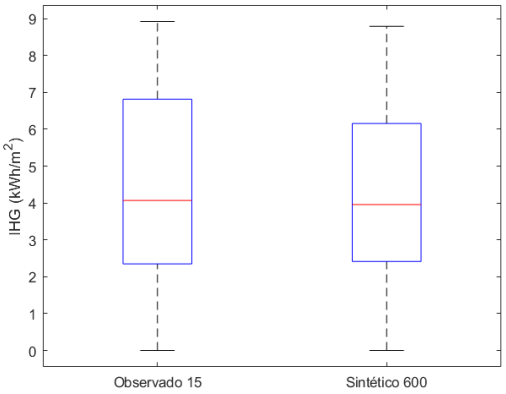
(c) Año observado 12 vs año sintético 300



(d) Año observado 13 vs año sintético 400



(e) Año observado 14 vs año sintético 500

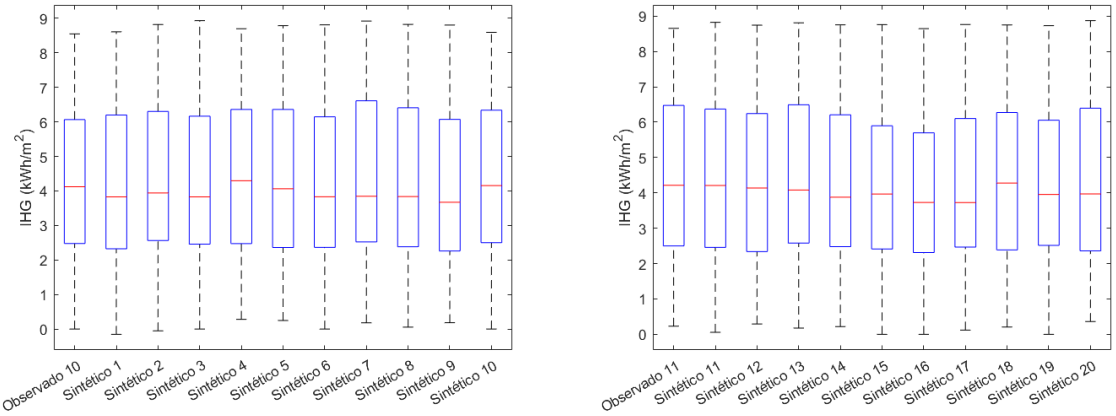


(f) Año observado 15 vs año sintético 600

Figura 14: Diagramas de caja de los valores anuales de IHG sintéticos y observados para seis años aleatorios. El número con el que se etiquetan los años corresponde a la columna de la matriz respectiva en cada caso.

Los diagramas de caja presentados dan una idea de la distribución de irradiancia del año

tomado. Por un lado la "caja", en azul, indica los percentiles 75 y 25 (o tercer y primer cuartil), es decir, el tanto por ciento del total de datos que se encuentran por debajo del valor de IHG correspondiente. La línea roja se refiere a la mediana, o lo que es lo mismo, al percentil 50: divide la distribución en dos partes iguales, tanto por debajo como por encima habrá un 50 % del total de valores. Los "bigotes" superior e inferior (líneas discontinuas) representan el máximo y mínimo de irradiancia del año indicado, es decir que se consideran valores atípicos los que sobrepasan estos límites. Así, los diagramas presentados en la Figura 14 son una herramienta muy útil para la validación de datos en términos de comparación de distribuciones de años sintéticos y observados. Primeramente se comprueba que las medianas y las cajas son satisfactoriamente similares en los seis casos, por lo que se tienen distribuciones sintéticas muy parecidas a las observadas. Asimismo, en general los bigotes de los años sintéticos son mayores, por lo que se cubre un rango más amplio de escenarios que en el caso de los observados. Para ratificar este hecho, se comparan dos de los años observados presentados (se escogen los primeros al azar) con diez años sintéticos aleatorios diferente. En la Figura 15 se pueden ver estos diagramas de caja.



(a) Año observado 10 vs años sintéticos 1-10

(b) Año observado 11 vs años sintéticos 11-20

Figura 15: Diagramas de caja de los valores anuales de la IHG acumulada. En (a) se compara el año (observado 10) con diez años sintéticos distintos, y en (b) se compara el año (observado 11) con otros diez sintéticos.

Como antes, se tienen medianas y cajas muy similares entre el año observado y los sintéticos para los dos casos, a la vez que los máximos de los sintéticos son generalmente más mayores y los mínimos, menores. Así, con la generación de años sintéticos se concluye que se está reproduciendo la distribución genérica de los datos observados a la vez que se generan valores más extremos, por lo cual se cubren posibles escenarios que no han ocurrido pero que mantienen la variabilidad de las distribuciones observadas. Así, se dan por validados estos 1000 años sintéticos.

El siguiente paso será asignar los datos sintéticos que se tomarán para que, sumados a los 20 años de acumulados diarios observados de IHG, se pueda cubrir la cantidad de días de vida del árbol, y así tener una lista definitiva. En el siguiente apartado se desarrolla este procedimiento.

5.3. Ajustes de los datos sintéticos: tendencia

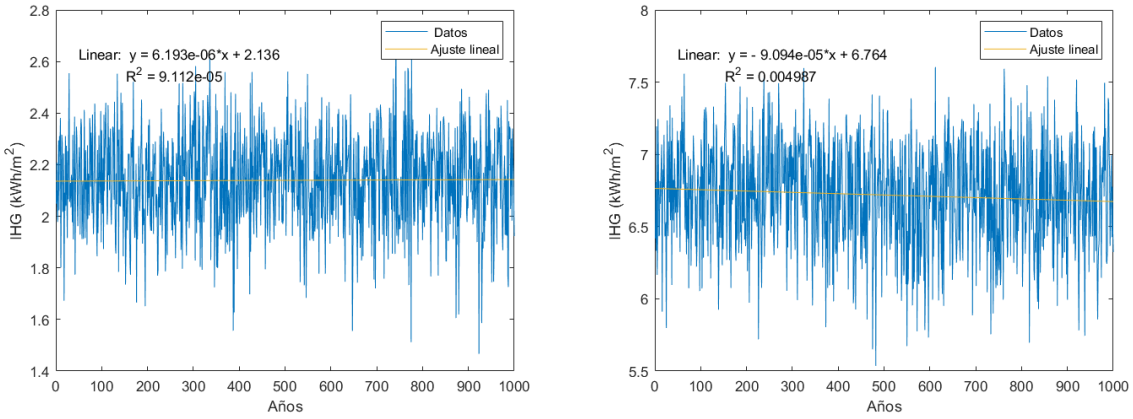
Como se ha explicado anteriormente, la tendencia general a lo largo de los años de los cuales se han tenido datos (2002-2021) ha sido un aumento progresivo de la IHG. Sin embargo, no se ha comprobado la existencia o no de esta tendencia en los años generados sintéticamente; se procede a ello.

Como se ha hecho para los años observados, se calculan los promedios mensuales de IHG acumulada diaria para los 1000 años sintéticos, es decir que se obtiene una matriz 12 x 1000 a partir de la disponible 365 x 1000. Con estos valores, se realiza un ajuste lineal para cada una de las filas (meses) y se obtienen los pendientes mensuales de los años sintéticos, sin alterar el orden según el cual se han obtenido a partir del algoritmo (ver Cuadro 2).

MES	**PENDIENTE**
Enero	$6{,}19 \cdot 10^{-6}$
Febrero	$5{,}14 \cdot 10^{-5}$
Marzo	$8{,}11 \cdot 10^{-5}$
Abril	$-\ 2{,}20 \cdot 10^{-5}$
Mayo	$9{,}46 \cdot 10^{-6}$
Junio	$-\ 3{,}11 \cdot 10^{-5}$
Julio	$-\ 9{,}09 \cdot 10^{-5}$
Agosto	$3{,}19 \cdot 10^{-5}$
Septiembre	$1{,}96 \cdot 10^{-6}$
Octubre	$-\ 6{,}97 \cdot 10^{-5}$
Noviembre	$-\ 7{,}61 \cdot 10^{-6}$
Diciembre	$-\ 2{,}31 \cdot 10^{-5}$

Cuadro 2: Pendiente correspondiente a las medias mensuales de IHG con los valores observados corregidos, des del 2002 al 2021.

En vista de los valores del pendiente para los años sintéticos, no se deduce ninguna tendencia clara: los datos son casi nulos, con entre dos y tres órdenes de magnitud inferiores respecto a los de años observados. En la Figura 16 se muestran graficados los promedios para dos meses distintos (con pendientes positivo y negativo) a lo largo de los 1000 años sintéticos. Asimismo, también se muestran los ajustes lineales con las correspondientes ecuaciones y coeficientes de regresión. Los perfiles tienen picos y varían dentro de una rango de IHG razonable muy parecido al caso de los observados. Se destaca la diferencia de escala de una mes a otro, como es lógico por corresponderse con meses de verano e invierno.



(a) Enero (b) Julio

Figura 16: Representación de los promedios mensuales de IHG diaria acumulada para dos meses distintos, de los 1000 años sintéticos junto con los ajustes lineales correspondientes.

1-PUZZLES ??????

EXPLICACIÓN A DESARROLLAR: INFORME IPCC (CITAR QUE EL INFORME CONFIRMA UNA TENDENCIA A LO LARGO DE LOS AÑOS CON ALGUNAS VARIACIONES EN ALGUNOS PERIODOS Y ZONAS DEL MUNDO, POR EJ AEROSOLES -CITO CHINA-, PERO Q PODEMOS APROXIMAR COMO Q SE EXTRAPOLA A AÑOS ANTERIORES SIGUIENDO LA TENDENCIA DE LOS ÚLTIMOS AÑOS- OBSERVADOS) (estudio cambio de tendencia en meteorología, cambio climático): https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

AQUÍ TINC ELS VALORS DELS 73 ANYS (JA HE AFEGIT TENDENCIA)

AFEGIR 2 FIGURES EXEMPLE I LA RESTA A LANNEX

Incorporación de la componente estocástica de la tendencia

5.4. Implementación

EXPLICAR

Conversión valores obtenidos (lista definitiva de IHG diària acumulada para los X años de vida del árbol).

Funcionamiento técnico: placa solar –¿energía suf para encender bombilla, app –¿programación horas diarias, controlador –¿recibe info de la app y la envía a la bombilla

Explicación proceso y fotos de cómo queda finalmente

6. Futuras lineas de trabajo y posibles mejoras

Se han asumido varias aproximaciones por las cuales los resultados pueden haber salido diferentes a la realidad.

las diferentes localizaciones de árbol-piranómetro, el hecho de que el árbol crece –¿más luz le llega con el tiempo y el hecho de que haya habido siempre un edificio rodeando el árbol

6.1. Corrección parcial: datos sintéticos

Incorporación de la relación irradiancia-pluviosidad

6.2. Corrección global: estudio de sombras

Análisis del entorno del árbol: diferente localización piranómeto-árbol , + a´rbol crece y tiene edificio y otro árbol al lado.

Corrección por las diferentes localizaciones del árbol y el piranómetro

restar tiempo fijado porque árbol está más abajo y le llega una cantidad de hores de luz inferior al piranómetro

Crecimiento del propio árbol

ecuación q describa crecimiento del árbol y entonces añadir cronológicamente el tiempo de luz recibida por el árbol al ritmo de la ecuación de su crecimiento, considerando el origen del sistema de coordenadas siempre en el punto más alto del árbol-copa (la ecuación describe el movimiento de este sistema de coordenadas)

6.3. Corrección por existencia edificio

EXPLICAR

como hay un edificio que rodea el árbol, hacer aproximación de la cantidad de horas de sol que NO le llegan al árbol por el hecho de que exista un edificio de x altura.

-Correcciones que no se hayan implementado (5.3.2-4) -Comparativa: 2 piranòmetres un Observatori Fabra i l'altre al lloc exacte de l'arbre per veure diferències -Upf

7. Conclusiones

8. Bibliografía

If we get some ideas from a paper but we're not citing it explicitly we can use the command \nocite and it will be added in the bibliography in the desired order.

Another example of an article citation is provided here[2] .

Check the .bib file to see how a PhD thesis is properly formatted. As an example, Temiños thesis is cited here[3] .

A review cited is also a good example of the documents that might need to be cited during a thesis[4] .

(1) Lamport, Z. A.; Haneef, H. F.; Anand, S.; Waldrip, M. y Jurchescu, O. D. *J. Appl. Phys.* **2018**, *124*, 71101.

(2) Foster, J. C.; Varlas, S.; Couturaud, B.; Coe, Z. y O'Reilly, R. K. *Journal of the American Chemical Society* **2019**, *141*, 2742-2753.

(3) Temiño Gutiérrez, I.; Mas Torrent, M.; Sort Viñas, J. y Universitat Autònoma de Barcelona. Institut de Ciència de Materials de Barcelona. Solution-processed organic field-effect transistors : from fundamental aspects to applications, Tesis doct., Universitat Autònoma de Barcelona, Spain, 2019.

(4) Bronstein, H.; Nielsen, C. B.; Schroeder, B. C. y McCulloch, I. 2020, vol. 4, págs. 66-77.

Anexo

Relleno de huecos