

## 1 Introducción

La importancia que tiene el conocimiento de la radiación solar [1] en campos tan dispares como la meteorología, agronomía, hidrología, arquitectura bioclimática o ingeniería de sistemas solares (fotovoltaicos o térmicos), es suficientemente conocida como para tener que incidir en ella [2]. Por infinidad de motivos, su estudio se ha desarrollado y sistematizado desde hace más de tres décadas, siendo, por ejemplo, el dato inicial de partida en el diseño de cualquier sistema basado en el uso de la energía solar.

Actualmente existe un fuerte incremento de la utilización de la energía solar debido a una serie de ventajas que presenta frente a las fuentes energéticas convencionales. Estas últimas derivan principalmente del uso de los combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, o del uso de la energía nuclear. Algunas de las críticas que recibe un sistema energético basado en las fuentes convencionales son principalmente las siguientes:

- a) Son agotables, es decir, las reservas de los materiales que utilizan (carbón, petróleo, gas, uranio, etc.) no son eternas. Sin embargo el sol como fuente energética puede considerarse inagotable. Por esta razón, la energía solar, y todas las relacionadas con el mismo, reciben el nombre de energías renovables.
- b) Producen una gran cantidad de daños medioambientales que van desde la lluvia ácida hasta el efecto invernadero. La energía solar y en general todas las energías renovables (eólica, maremotriz, etc.) presentan un impacto medioambiental prácticamente nulo. Estas últimas reciben por ello el nombre de energías limpias.
- c) Favorecen las desigualdades sociales, puesto que suelen generar grandes tensiones entre los agentes que disponen de las reservas de los combustibles fósiles, los agentes productores de la energía y el usuario final de la ésta. En este sentido la aplicabilidad de una energía no convencional como la solar fotovoltaica está más en consonancia con el usuario, que puede hacer un uso racional de ella, sin incidir en los problemas entre compañías productoras, países en conflicto, etc.

Aunque se podrían citar muchos más motivos, parece suficientemente claro que en un futuro no muy lejano, el aprovechamiento de la energía solar, en particular, y de las energías renovables, en general, será intensivo [3].

Un mayor uso de la energía solar, implica una mayor necesidad de conocimiento de datos de radiación solar en más lugares. En particular, como más adelante se explicará, suele ser muy importante el disponer de largas secuencias de medidas de radiación solar. Desgraciadamente, en muchas zonas no existen registros históricos de estas secuencias de radiación solar. Sin embargo, gran número de investigadores en este campo han propuesto métodos para generar de series de radiación, que en este caso reciben el nombre de series artificiales o sintéticas. En esta tesis se presenta una nueva metodología para la generación de series *sintéticas* de radiación solar basada en el modelo de red neuronal llamado perceptrón multicapa (PMC). Las series sintéticas de radiación solar, obtenidas por métodos matemáticos, tratan de ajustarse lo más fielmente posible a las series de datos reales de radiación.

Existen diversos motivos para la generación de series sintéticas de radiación solar, que se pueden resumir así: cuando el diseñador de sistemas energéticos solares (tanto fotovoltaicos como térmicos) necesita realizar cualquier diseño, un dato esencial que requiere, como se ha dicho anteriormente, es el conocimiento de la radiación solar en la localidad donde se va a realizar la instalación. Aunque en la actualidad existen registros de radiación solar en multitud de lugares, éstos suelen ser estaciones meteorológicas repartidas en ciudades importantes del llamado primer mundo o mundo industrializado. Así, existen bastantes datos de radiación solar en lugares de Europa, de Norteamérica, y de Japón. Sin embargo, en lugares que se podrían considerar del medio rural o bien de países no industrializados (África, gran parte de Asia, Centroamérica y Sudamérica) la disponibilidad de dichos registros es prácticamente testimonial. A su vez existen también muchísimas localidades que, aunque pertenecen a países industrializados, se enmarcan dentro de zonas rurales en las que obviamente tampoco existen tales datos. En ambos casos el problema se acrecienta puesto que es precisamente en dichas zonas donde una energía como la solar fotovoltaica presenta un gran potencial de aplicabilidad.

Para tratar de solventar el problema de la nula existencia de datos de radiación solar en aquellos lugares donde no se realizan registros de forma sistemática, diversos investigadores, analizando series de datos de radiación disponibles en diferentes localidades con una gran variedad climática, llegaron a la conclusión de que la radiación solar presenta una serie de propiedades estadísticas y sigue determinados patrones y

ciclos de evolución en diferentes escalas temporales. Ello hace que sea posible reproducir matemáticamente dichas series [4]. Tras esos estudios, diferentes autores propusieron (y aún se siguen proponiendo) diversos métodos para generar secuencias de datos de radiación, que, debido a su naturaleza, reciben el nombre de series sintéticas o artificiales, y que tratan de mantener las mismas propiedades estadísticas de las series reales. Se ha demostrado que dichos métodos generan secuencias solares muy concordantes con las series reales, y, en general, son aplicables a cualquier localidad, por lo que reciben el nombre de métodos universales.

Respecto a las series obtenidas, se pueden clasificar en dos grandes grupos, atendiendo a la escala temporal en que son generadas: las que reproducen la radiación a escala diaria y las que lo hacen a escala horaria. En este momento es interesante realizar la siguiente aclaración. Las secuencias de radiación solar diarias son útiles en multitud de aplicaciones solares, si bien para ciertos diseños, como pueden ser los de sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar o con concentración solar, es necesario que los datos disponibles lo sean al menos en escala horaria. En este caso, se agudiza el problema de la disponibilidad de datos de radiación solar, puesto que si bien hay registros diarios en una gran cantidad de localidades, los registros horarios son bastante menores, lo que acentúa la necesidad de generar dichos datos de forma sintética.

Como se mencionó al principio de esta introducción, aquí se presenta un nuevo método para generar series de radiación basado en un tipo de red neuronal artificial (RNA) llamado perceptron multicapa (PMC) [5]. La nueva metodología propuesta en esta tesis supone un nuevo enfoque respecto a los diferentes métodos que existen en la actualidad, puesto que como se desarrollará y comentará en los sucesivos capítulos de esta tesis, los métodos de generación de series solares llamados tradicionales o clásicos, se basan en el estudio previo de datos de radiación solar y posterior implementación del método. Sin embargo, con el enfoque que se propone en este trabajo, se verá que no es necesario un conocimiento a priori de la naturaleza de la radiación solar en sí, ya que la aplicación del perceptrón multicapa soslayará esa necesidad.

La tesis está dividida en siete capítulos, de los cuales el primero es esta introducción. El capítulo 2 se centra en un repaso del estado del arte tanto en el campo de la generación de secuencias o series sintéticas de radiación solar, parte del estudio de

esta tesis, como en el terreno de las redes neuronales artificiales, puesto que el método propuesto en esta tesis se basa en una RNA.

En el capítulo 3 se describen una serie de métodos para generar series de radiación solar que posteriormente serán usados en estudios comparativos con el método propuesto.

El capítulo 4 introduce la metodología basada en el PMC para la generación de series sintéticas de radiación solar.

Con el fin de dar validez al método propuesto, en el capítulo 5 se presenta un estudio comparativo exhaustivo entre los diferentes métodos ampliamente aceptados y el propuesto.

En el capítulo 6 se muestra una aplicación que presenta la ventaja de que es realizable gracias al método de generación propuesto, y no lo es con los otros métodos existentes. Esta aplicación es la obtención de mapas de radiación solar en diferentes escalas espaciales que abarcan desde mapas provinciales hasta mapas nacionales.

Finalmente, en el capítulo 7 y último, se presentan las conclusiones y las posibles acciones futuras. Se completa el trabajo de la tesis con una serie de anexos que incluyen tablas, mapas, etc.

## Referencias

- [1] M. Iqbal. *An introduction to solar radiation*. Academic Press. Toronto. 1983
- [2] J. A. Duffie and W. A. Beckman. *Solar engineering of thermal processes*. Wiley, Nueva York. 1980.
- [3] WEC Commission. *Energy for Tomorrow's World*. Koga Page Ltd. 1993
- [4] G.E.P. Box & G.M. Jenkins. *Time series analysis: Forecasting and control*. Holden-Day, San Francisco. 1970
- [5] R. P. Lippmann. *An Introduction to Computing with Neural Nets*. IEEE ASSP Magazine, pp. 4-22, April 1987.

