

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



***Trabajo Fin de Grado***

**Estudio sobre la relación entre  
infraestructuras de  
telecomunicaciones y sistemas de  
energía renovable**

**(Study of the relationship between  
telecommunications infrastructures and  
renewable energy systems)**

Para acceder al Título de

***Graduado en  
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación***

Autor: Ángel Mier Fernández  
Octubre - 2018

## GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

**Realizado por: Ángel Mier Fernández**

**Director del TFG: Jesús María Mirapeix Serrano**

**Título:** “Estudio sobre la relación entre infraestructuras de telecomunicaciones y sistemas de energía renovable”

**Title:** “Study on the relationship between telecommunications infrastructures and renewable energy systems”

**Presentado a examen el día:**

para acceder al Título de

## GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Adolfo Cobo García

Secretario (Apellidos, Nombre): Jesús Mirapeix Serrano

Vocal (Apellidos, Nombre): Begoña Sánchez Madariaga

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de: .....

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del TFG  
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Trabajo Fin de Grado Nº  
(a asignar por Secretaría)

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quisiera aprovechar estas líneas para expresar mi agradecimiento a varias personas cuya colaboración resultó esencial para llegar hasta aquí.*

*En primer lugar, a mi director de proyecto, Jesús María Mirapeix, por su confianza, su dedicación y su inestimable ayuda siempre.*

*A mis padres, Marisol y Ángel, porque son parte importante en todos los proyectos de mi vida y porque sin su ayuda y esfuerzo nada de esto hubiera sido posible.*

*A mi hermano, Álvaro, por su apoyo y consejos dados.*

*Por otro lado, a mis compañeros de Universidad, sobre todo a Gerardo y “Musy”, por haber compartido momentos tan buenos en la Universidad que nunca se nos olvidarán, por ser un gran apoyo y siempre estar ahí.*

*Por último, y no por ello menos importante, a todos mis amigos, esa gente que forma parte de mi día a día, que me han apoyado y animado en todo momento.*

**GRACIAS A TODOS POR CONFIAR EN MÍ**

## Índice

<b>CAPITULO 0. OBJETIVOS Y CONTEXTO .....</b>	<b>1</b>
0.1. OBJETIVOS .....	2
0.2. CONTEXTO .....	3
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>4</b>
1.1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA .....	5
1.2. INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES .....	6
1.2.1. <i>Agotamiento de los Combustibles Fósiles</i> .....	7
1.2.2. <i>Dependencia energética</i> .....	7
1.2.3. <i>Desarrollo sostenible</i> .....	8
1.3. CAMBIO CLIMÁTICO .....	8
1.4. ENERGÍAS RENOVABLES VISIÓN GLOBAL .....	12
1.5. ENERGÍAS RENOVABLES CONTEXTO EUROPEO .....	18
1.6. ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA .....	23
1.7. TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO .....	26
1.8. TELECOMUNICACIONES Y ENERGÍAS RENOVABLES .....	29
1.8.1. <i>Alimentación de sistemas de telecomunicaciones</i> .....	29
1.8.2. <i>Sensórica aplicada a infraestructuras renovables</i> .....	30
<b>CAPITULO 2. ALIMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE TELECOMUNICACIÓN .....</b>	<b>33</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	34
2.2. BTS ALIMENTADAS POR EERR .....	34
2.2.1. <i>Introducción a las BTS</i> .....	34
2.2.2. <i>Ejemplos de aplicación</i> .....	36
2.2.3. <i>Soluciones basadas en aerogeneradores</i> .....	42
2.3. TECNOLOGÍAS LIGADAS A LAS TELECOMUNICACIONES ALIMENTADAS POR EERR .....	48
2.3.1. <i>Estaciones meteorológicas</i> .....	48
2.3.2. <i>Automóviles inteligentes autosuficientes</i> .....	49
2.3.3. <i>Radares de velocidad</i> .....	51
<b>CAPITULO 3. SOLUCIONES DE TELECOMUNICACIÓN PARA LAS COMUNICACIONES DE INFRAESTRUCTURAS RENOVABLES .....</b>	<b>53</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	54
3.2. COMUNICACIONES EN PARQUES EÓLICOS .....	54
3.2.1. <i>Centros de Control de los parques eólicos</i> .....	54
3.2.2. <i>Ejemplo de Centros de Control de los parques eólicos y más tecnologías</i> .....	56
3.2.3. <i>Redes de comunicación mediante fibra óptica</i> .....	58
3.2.4. <i>Ejemplo de proyecto real de las funciones que se pueden monitorizar gracias a una red de comunicaciones óptica</i> .....	59
3.2.5. <i>Desarrollo de un sistema de monitorización utilizando fibra óptica</i> .....	61
3.2.6. <i>Comentarios a destacar en redes de comunicación con F.O.</i> .....	65
3.2.7. <i>Red de comunicación utilizando ZigBee</i> .....	65
3.2.8. <i>Ejemplo de sistema que se apoya en el protocolo ZigBee</i> .....	66
3.3. COMUNICACIONES EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	68
3.3.1. <i>Inversor en instalaciones fotovoltaicas</i> .....	68
3.3.2. <i>Inversores en monitorización de instalaciones fotovoltaicas</i> .....	71
<b>CAPITULO 4. TELECOMUNICACIONES Y RENOVABLES: SOLUCIONES DE TELECOMUNICACIÓN PARA LA MONITORIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS RENOVABLES....</b>	<b>75</b>

4.1.	INTRODUCCIÓN.....	76
4.2.	SENSORES UTILIZADOS EN LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	76
4.3.	SENSORES UTILIZADOS EN INSTALACIONES EÓLICAS.....	80
4.3.1.	<i>Sensores FBG</i> .....	81
4.3.2.	<i>Ejemplos de aplicación de sensores FBG</i> .....	85
4.4.	SENSORES DE INTERÉS PARA INSTALACIONES EÓLICAS OFF-SHORE.....	89
<b>CAPITULO 5.</b>	<b>CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS.....</b>	<b>96</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	97
5.2.	LÍNEAS FUTURAS.....	98
<b>ANEXO 1.</b>	<b>DATA-SHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA TP-02.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 2.</b>	<b>DATA-SHEET DEL EXTENSÓMETRO BDS-01.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 3.</b>	<b>DATA-SHEET DEL SISTEMA LIOS DTS.....</b>	<b>105</b>

## **CAPITULO 0. Objetivos y contexto**

Se realizará una exposición de los objetivos de este proyecto, así como una pequeña contextualización.

## **0.1. Objetivos**

Hoy en día existe una alta concienciación sobre la existencia de un cambio climático antropocéntrico, exceptuando algunos escépticos. La climatología terrestre está variando y se esperan subidas de temperaturas de entre 2 y 5°C para final de siglo. Esta situación parece prever un futuro muy poco esperanzador para la vida en nuestro planeta. Por ello el ser humano, principal causante de esta situación, debe darse cuenta de que es necesario cambiar muchos hábitos.

El cambio climático es una de las principales causas del desarrollo de las energías renovables, aunque existan otras importantes como la dependencia energética de otros países, el aumento de la demanda de energía, etc. En este proyecto, en un primer lugar se expondrán algunos conceptos básicos, algunas razones del porqué del nacimiento de estas energías, y se investigará sobre la actualidad de las energías renovables. Es decir, qué porcentajes se estiman sobre la demanda de energía total primaria y sobre la producción de energía eléctrica. También se analizarán las políticas que se están llevando a cabo a nivel global, europeo y español.

Por otro lado, tras esta introducción se relacionarán las energías renovables con el mundo de las telecomunicaciones: dos ámbitos altamente ligados. En primer lugar, veremos cómo distintas tecnologías del mundo de las energías renovables pueden alimentar infraestructuras de telecomunicaciones. Principalmente nos centraremos en las estaciones base de telefonía móvil, para después ver por encima otras infraestructuras que pueden ser alimentadas por este tipo de energía.

Otro punto importante en el que se va a hacer énfasis, es las redes de comunicación necesarias en infraestructuras donde se genera energía renovable. Principalmente se investigará sobre los parques eólicos, ya que por diferentes causas estas infraestructuras van a tener unas redes de comunicación muy complejas con la finalidad de mantener seguro el parque, gestionar la generación de energía en tiempo real, obtener una buena eficiencia, etc.

Para concluir con este proyecto, se recabará información sobre los distintos tipos de sensores existentes en la actualidad que se encargan de medir diferentes parámetros en instalaciones renovables, incluyendo la propia integridad estructural de éstas, los cuáles serán enviados por las redes de comunicación previamente mencionadas para la posterior monitorización.

En resumidas cuentas, el objetivo principal de este trabajo es investigar sobre el panorama actual de las energías renovables siempre visto desde la perspectiva del mundo de las telecomunicaciones. Se investigará desde la posición actual que ocupan este tipo de energías en el panorama energético, así como la relación entre éstas e infraestructuras de telecomunicaciones, y finalmente la utilización de las telecomunicaciones para permitir la monitorización de infraestructuras donde se genera este tipo de energías.

## **0.2. Contexto**

Como ya se ha comentado previamente, en la actualidad, aunque algunos no se quieran dar cuenta, vivimos sumidos en cambio climático generado por el hombre y de importantes consecuencias. Principalmente este cambio climático es debido a los gases causantes del efecto invernadero. Este cambio climático está siendo el principal promotor del desarrollo de las tecnologías aplicadas en la obtención de energía renovables, aunque se debe destacar que no es el único. Existen otros factores que están provocando este desarrollo como, por ejemplo, conseguir la independencia energética, aumentar la generación de energía, contrarrestar la futura desaparición y posible encarecimiento de los combustibles fósiles, etc.

Hoy en día existen numerosas infraestructuras que generan energía alternativa y desde hace unos años han comenzado a ganar un espacio considerable, porcentualmente hablando, en la generación de energía, tanto primaria como eléctrica.

Todo esto ha sido provocado, además de por la innovación tecnológica, gracias a la ayuda de las políticas de diferentes gobiernos e instituciones, y de los pactos que están llevando a cabo para la descarbonización de nuestra sociedad.

## **CAPITULO 1. Introducción a las Energías Renovables**

Se llevará a cabo una introducción en el mundo de las energías renovables a nivel mundial, europeo y de España.

## **1.1. Introducción histórica**

No debemos empezar a hablar de este inmenso mundo, las Energías Renovables, sin realizar una pequeña cronología histórica sobre las distintas energías que hemos, los humanos, utilizado durante nuestra evolución como especie. Ya que sin ella nos hubiera sido imposible sobrevivir como especie, así como, evolucionar. Destacar que este breve contexto histórico [1] no tiene como finalidad un nivel de detalle histórico perfecto, simplemente, como introducción, queremos poner en situación de los avances del ser humano en este aspecto.

Durante decenas de siglos la única energía que nuestros antepasados podían utilizar era la de sus propios músculos. Aunque ya inconscientemente nos estábamos aprovechando de energías, catalogadas hoy en día de renovables sin darnos cuenta, como por ejemplo el Sol. El Sol siempre nos ha proporcionado luz y calor, pero una vez, llegaba la noche, nuestros antepasados buscaban refugio y calor humano para poder superar el frío y la oscuridad.

Hace unos 500.000 años, no sabemos muy bien cómo, los humanos empezaron a controlar una primera fuente de energía: el fuego, a partir de la combustión de la biomasa. La vida cambió de repente, el fuego proporcionaba calor y protección contra los depredadores. Además, poco a poco, se fueron encontrando otras utilidades: cocinar alimentos, endurecer las herramientas, secar las pieles, etc. La vida se hizo un poco más fácil. Con el paso de los milenios el ingenio humano permitió crear herramientas e instrumentos que incrementaban el rendimiento de la energía física: la palanca, el arco, el martillo o el rodillo. Pero hace unos 10.000 años un nuevo paso adelante hizo aumentar más la productividad: la domesticación de los animales, que permitía trabajar más y más rápido aprovechando su energía física, a la que pronto se aplicaron herramientas y máquinas cada vez más complejas que multiplicaban la eficacia, como el arado o la noria.

El viento y el movimiento del agua fueron las siguientes fuentes de energía aprovechadas. En el caso del viento, hace unos 5.500 años aparecieron las primeras embarcaciones propulsadas a vela, mientras que los romanos crearon los molinos de agua en el siglo I aC para moler el grano. Los molinos de viento son posteriores y aparecieron en Persia hacia el siglo VII de nuestra era, y se utilizaban básicamente para extraer agua de pozos. Antes de seguir con la cronología es necesario realizar un inciso, para hablar sobre la definición de energía renovable. Una definición muy válida podría ser la siguiente:

*“Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.”*

Atendiendo a esta definición podemos afirmar que realmente, por increíble que parezca, las primeras energías que utilizamos para sobrevivir y prosperar eran, y son, renovables. Tras varios siglos sin avances, en la utilización de nuevas energías, a finales del siglo XVIII se produce un “boom” aparece la máquina de vapor. Este siglo se caracteriza por ser el comienzo de la era industrial. Empieza la dependencia de los combustibles fósiles. La

profusión de las máquinas de vapor lleva a la explotación masiva del carbón mineral, con un potencial calorífico superior a la leña y el carbón vegetal.

A partir de 1859, se excavan los primeros pozos de petróleo en EEUU, a finales del siglo XIX, se desarrollan los motores de explosión y comienza la utilización masiva del gas en las ciudades para la calefacción y la iluminación.

La primera central eléctrica se crea en 1882 en Nueva York, y poco a poco, gracias a las investigaciones de, por ejemplo, Thomas Edison y otros científicos, la electricidad se convierte en la principal fuente de energía. La producción de electricidad se desarrolla durante el siglo XX en gran escala a partir de centrales hidroeléctricas y centrales térmicas de carbón o fuel que abaratan mucho la obtención del recurso y, en consecuencia, estimulan su consumo.

En este punto se quiere hacer otro breve inciso, ya que se dice que la electricidad se convierte en la principal fuente de energía. Se quiere aclarar que la energía, entre otras muchas clasificaciones, la podemos clasificar como Energía Primaria y Energía de Uso Final. La Energía Primaria es la energía que se obtiene directamente de los recursos naturales, combustibles (petróleo, carbón, gas natural, etc.) y flujos de energía (viento, radiación solar, etc.) son las dos fuentes de energía primaria. Por otro lado, la Energía de Uso Final es la que energía que finalmente consume el usuario, un ejemplo de este tipo sería la electricidad, de la cual hemos hablado en el contexto histórico. La electricidad se puede obtener por ejemplo de la energía primaria del carbón o del viento, en el caso de las EERR.

El crecimiento de la demanda de electricidad y el uso de los combustibles fósiles para abastecer los medios de transporte no ha parado de crecer exponencialmente hasta el siglo XXI. Por el camino se han aplicado otras formas de energía tanto o más peligrosas que los combustibles fósiles, como la energía nuclear, pero también se han ido desarrollando progresivamente las llamadas energías renovables y sostenibles: la energía eólica, la hidráulica, la solar, la biomasa y la geotérmica.

La evolución del aprovechamiento de la energía es la evolución del progreso material de la humanidad y la mejora de las condiciones de vida, cada vez más fáciles y alejadas de la dureza de gran parte de nuestra historia como especie. Pero no debemos olvidar que nuestra dependencia de los combustibles fósiles ha provocado que todo el  $CO_2$  confinado y almacenado de forma natural bajo tierra durante millones de años saliera a la atmósfera en poco más de dos siglos. Esto ha provocado, según el consenso mayoritario de la comunidad científica el calentamiento del planeta y nos ha abocado a una situación de consecuencias inciertas, pero previsibles y potencialmente peligrosas para muchas especies, incluida la nuestra.

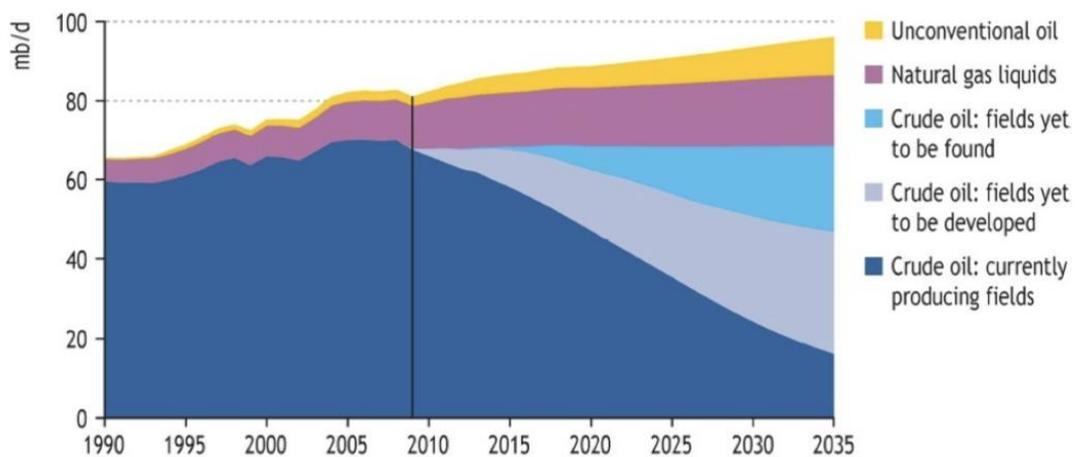
## **1.2. Introducción a las Energías Renovables**

Una vez hemos realizado un pequeño contexto histórico, debemos de preguntarnos el porqué del desarrollo de las energías renovables. Existen varios motivos como pueden ser el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, la seguridad en el suministro energético, el cambio climático y el desarrollo sostenible. A continuación, vamos a desarrollar por encima cada causa.

### 1.2.1. Agotamiento de los Combustibles Fósiles

Según numerosos estudios que se han llevado a cabo las reservas de combustibles fósiles son finitas y al ritmo de gasto que se está llevando hoy por hoy las estimaciones convergen en que las reservas de carbón podrían durar alrededor de 120 años, las de petróleo 45 y las de gas natural unos 60. Debido a esto se puede predecir que veamos una desaparición paulatina de estas fuentes de energía. Por otro lado, se está extendiendo otro visible problema, los esfuerzos a realizar en los próximos años para mantener el nivel de producción de combustibles fósiles va a ir en incremento. Las reservas de los pozos actuales de petróleo (pozos fáciles), por ejemplo, se espera que disminuyan drásticamente en los próximos años, esto implicará que en el descubrimiento de nuevos pozos y su más difícil extracción incrementará los costes, el esfuerzo económico será mayor produciendo una pérdida de competitividad económica con respecto a otras fuentes de energía.

En la siguiente figura podemos observar unos gráficos sobre la evolución de los esfuerzos que se han de llevar a cabo en los próximos años para mantener el nivel de producción de los combustibles fósiles.



**Figura 1.1.** Evolución de esfuerzo para mantener el nivel de producción.  
Fuente: IEA (*International Energy Agency*)

### 1.2.2. Dependencia energética

En la actualidad, existen muchos países que no disponen de los recursos o infraestructura necesarios para realizar su propio autoabastecimiento, o directamente no les interesa. Por este motivo es necesario realizar la compra de recursos o energía a otros países. No obstante, esta situación es muy peligrosa ya que puede producir una dependencia total de agentes externos ya que debido a causas ajenas se puede producir una inflación de los precios del suministro y no cumplir con las condiciones acordadas. Un claro ejemplo de esta dependencia la podemos encontrar en nuestro propio país, España.

Según el portal digital “enerclub” en este último trienio la dependencia energética de España está casi veinte puntos por encima de la media de la Unión Europea. Actualmente depende de las importaciones energéticas (sobre todo de combustibles fósiles) mucho

más que la mayoría de los países de la “UE28”. Porque prácticamente el 100% del petróleo que consume la economía española procede de más allá de nuestras fronteras, y prácticamente el 100% del gas natural que usamos (para generar electricidad o producir calor) nos llega también desde otras naciones (como Nigeria, Catar o Argelia). Por eso nuestra dependencia es tan elevada: hasta el 72,3% de la energía que usamos en 2016 la tuvimos que importar de otras naciones. Ese es (72,3) uno de los datos clave del último Balance Energético que ha publicado el Club Español de la Energía (Enerclub).

### **1.2.3. Desarrollo sostenible**

La CMMAD (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo) fue una de las primeras organizaciones que intentó introducir el concepto de sostenibilidad o sustentabilidad definiéndolo como:

*“El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.”*

## **1.3. Cambio Climático**

Antes de realizar una pequeña exposición sobre la actualidad de las EERR en el marco global, así como, en el nacional, debemos hablar sobre el cambio climático ya que se trata de una de las varias razones del nacimiento de las energías renovables y de su desarrollo.

La interferencia de nuestra civilización con el sistema natural, a través del cambio de la composición química de la atmósfera está teniendo efectos sobre el sistema climático físico. Existe un aspecto clave en este proceso. El dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el principal gas en la aceleración del efecto invernadero, se trata de un gas que tiene una vida media en la atmósfera muy alta, de unos 100 años. Además, es un gas que se expande con facilidad, esto quiere decir que no importa el origen de las emisiones, rápidamente se distribuyen uniformemente en toda la atmósfera. Por lo tanto, afecta al planeta globalmente, sin importar quién haya sido el contaminador.

Otros causantes del llamado “efecto invernadero” pueden ser el vapor de agua, el metano, el óxido de nitrógeno, ozono, etc. Dicho efecto consiste en la elevación de la temperatura del planeta provocada por la acción de un determinado grupo de gases, algunos de ellos producidos masivamente por el hombre, que reflejan y absorben la radiación infrarroja, ocasionando que se caliente la superficie de la tierra y la parte inferior de la capa atmosférica que la rodea. Aunque pueda pensarse lo contrario, es gracias a este efecto invernadero el hecho de que sea posible la vida en la Tierra, ya que, de no ser por ello, las temperaturas medias rondarían los -33 grados centígrados. Este efecto es totalmente necesario ya que sin él sería imposible la vida en el planeta Tierra, ya que este radiaría la gran parte de la energía que recibe del Sol.

Volviendo al hilo del tema, podemos afirmar que el efecto invernadero es necesario para la vida, sin embargo, debido a este aumento de gases se está produciendo un gran

incremento del dicho efecto produciendo un cambio climático antropogénico, esto es, provocado por la acción del hombre.

En la siguiente tabla podemos ver cuál ha sido el incremento de los cuatro principales gases de efecto invernadero desde la época pre-industrial hasta la actualidad.

GHG	Pre-industrial	Actualidad	Fuerza radiativa ( $W/m^2$ )
CO2	280 ppm <sup>1</sup>	387 ppm	1.46
Metano	700 ppb	1745 ppb	0.48
NO2	270 ppb	314ppm	0.15
CFC-12	0	533ppt	0.17

**Figura 1.2.** Incremento de principales gases efecto invernadero.  
Fuente: IEA (*International Energy Agency*)

Claramente se puede apreciar como la mayoría de estos gases han aumentado notablemente.

Según un análisis de temperatura realizado por científicos del Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA, la temperatura global promedio en la Tierra ha aumentado aproximadamente 0.8 ° Celsius (1.4 ° Fahrenheit) desde 1880. Dos tercios del calentamiento se han producido desde 1975, a una tasa de aproximadamente 0,15-0,20 ° C por década.

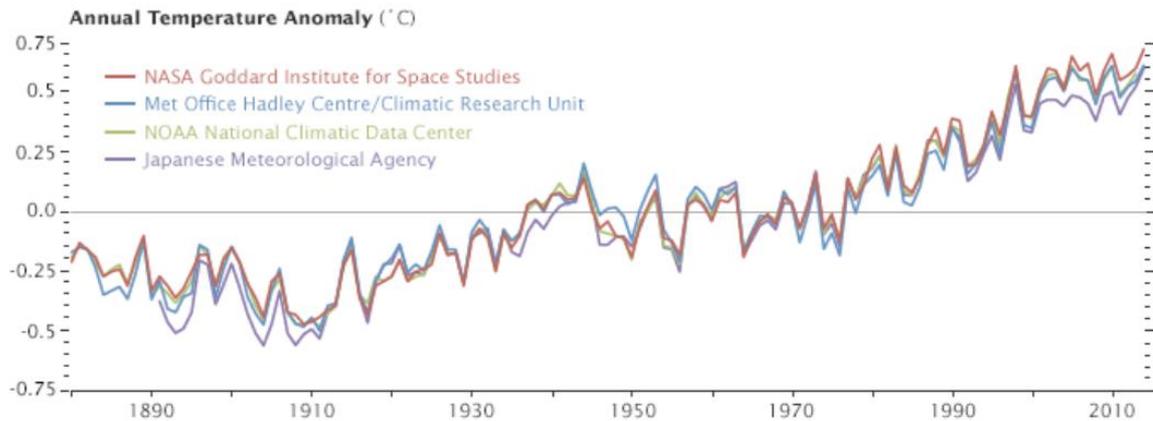
Pero, ¿por qué debería importarnos un grado de calentamiento? Después de todo, la temperatura fluctúa en muchos grados todos los días en que vivimos.

El registro de temperatura global representa un promedio sobre toda la superficie del planeta. Las temperaturas que experimentamos localmente y en períodos cortos pueden fluctuar significativamente debido a los eventos cíclicos predecibles (noche y día, verano e invierno) y los patrones de viento y precipitación difíciles de predecir. Pero la temperatura global depende principalmente de cuánta energía recibe el planeta del Sol y cuánto irradia al espacio, cantidades que cambian muy poco. La cantidad de energía radiada por la Tierra depende significativamente de la composición química de la atmósfera, en particular de la cantidad de gases de efecto invernadero que atrapan el calor, como ya hemos comentado previamente.

Un cambio global de un grado es significativo porque requiere una gran cantidad de calor para calentar a todos los océanos, la atmósfera y la tierra. En el pasado, un cambio de uno o dos grados era todo lo que se necesitaba para sumergir a la Tierra en la Pequeña Edad de Hielo. Una caída de cinco grados fue suficiente para enterrar una gran parte de América del Norte bajo una enorme masa de hielo hace 20,000 años.

El siguiente gráfico de línea muestra las anomalías anuales de temperatura desde 1880 hasta 2014 registradas por la NASA, la NOAA, la Agencia Meteorológica de Japón y el Met Office Hadley Centre (Reino Unido). Aunque hay variaciones menores de un año a

otro, los cuatro registros muestran picos y valles sincronizados entre sí. Todos muestran un calentamiento rápido en las últimas décadas, y todos muestran la última década como la más cálida.



**Figura 1.3.** Evolución de temperatura.  
Fuente: Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS)

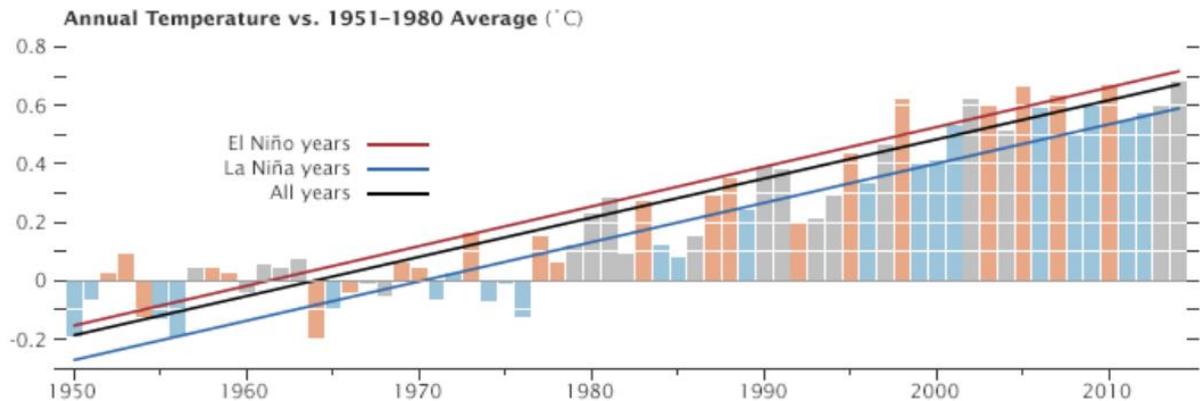
Destacar que, para realizar estos análisis, el GISS utiliza datos públicamente disponibles de 6.300 estaciones meteorológicas de todo el mundo. Los datos pueden provenir de observaciones de la temperatura de la superficie del mar basadas en boyas o mediciones de la estación de investigación antártica. Este conjunto de datos se carga en un programa de análisis informático, disponible para su descarga pública desde el sitio web de GISS, que calcula las tendencias de las anomalías de temperatura.

El objetivo, según los científicos de GISS, es proporcionar una estimación del cambio de temperatura que podría compararse con las predicciones del cambio climático global en respuesta al dióxido de carbono atmosférico, los aerosoles y los cambios en la actividad solar.

Como muestran los mapas, el calentamiento global no significa que las temperaturas aumentaran en todas partes en todo momento en un grado. Las temperaturas en un año o década determinada pueden aumentar 5 grados en una región y bajar 2 grados en otra. Los inviernos excepcionalmente fríos en una región pueden ser seguidos por veranos excepcionalmente cálidos. O un invierno frío en un área podría estar equilibrado por un invierno extremadamente cálido en otra parte del mundo.

En general, el calentamiento es mayor sobre la tierra que sobre los océanos porque el agua absorbe y libera calor más lentamente (inercia térmica). El calentamiento también puede diferir sustancialmente dentro de masas de tierra y cuencas oceánicas específicas. El siguiente gráfico muestra las tendencias de temperatura a largo plazo en relación con los eventos de El Niño o La Niña, que pueden sesgar las temperaturas más cálidas o más frías en cualquier año. Las barras naranjas representan anomalías de temperatura global en años de El Niño, con la línea roja mostrando la tendencia más larga. Las barras azules representan los años de La Niña, con una línea azul que muestra la tendencia. Los años

neutrales se muestran en gris, y la línea negra muestra la tendencia general de la temperatura desde 1950.



**Figura 1.4.** Evolución de temperatura.  
Fuente: *EarthObservatory* [2].

Antes de terminar con este apartado es necesario comentar que este cambio climático posee unos *feedbacks* positivos y otros negativos. Cuando hablamos de estos términos significa que debido al cambio climático se produce tanto una realimentación positiva, es decir, que refuerza el cambio, así como, una realimentación negativa. En este caso queremos centrarnos solo en la realimentación positiva, con la finalidad de ofrecer la visión de “que el mal llama al mal”. He aquí un listado de algunos de ellos.

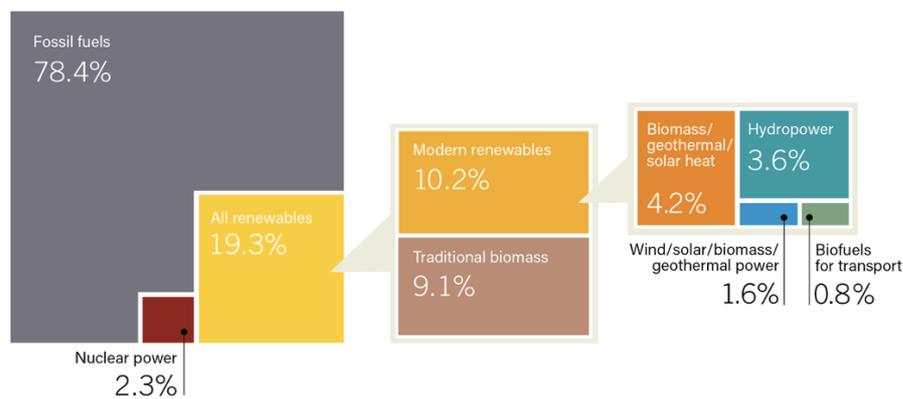
1. Vapor de agua: En caso de que la concentración de GHGs aumente en la atmósfera, esto implicará un aumento en la temperatura del planeta provocando, a su vez, un incremento de la evaporación del agua aumentando así más la temperatura.
2. Nubes altas: Si el vapor de agua resulta en la formación de nubes altas, éstas tienen el efecto de bloquear más la radiación infrarroja (IR) saliente que la luz visible entrante, por lo que implican un aumento de la temperatura.
3. Liberación de GHGs: Varios gases de efecto invernadero están atrapados en diferentes reservas, como por ejemplo en los océanos o en la tundra o *permafrost* siberiano. Un aumento de las temperaturas implicaría un deshielo acelerado de este *permafrost* y una mayor liberación de metano o una mayor liberación de  $CO_2$  contenido en los océanos, contribuiría al calentamiento global.
4. Deforestación: Sequías, fuegos y desertización son fenómenos que afectan a las masas forestales del planeta. Todos ellos implican la liberación de grandes reservas de  $CO_2$  fijadas en la vegetación a la atmósfera, lo que favorece el calentamiento global.

## 1.4. Energías Renovables visión global

Una vez aclarados conceptos importantes como cambio climático, efecto invernadero, desarrollo sostenible, etc., es momento de comenzar a hablar de las energías renovables. En primer lugar, vamos a hablar sobre la actualidad de estas energías a nivel mundial.

Para ponernos en situación debemos saber cuál es la cobertura a nivel mundial del consumo final de energía. En el siguiente esquema podemos ver el nivel porcentual de cada una de las energías a nivel mundial. Vemos que los combustibles fósiles predominan muy por encima del resto.

Estimated Renewable Energy Share of Total Final Energy Consumption, 2015



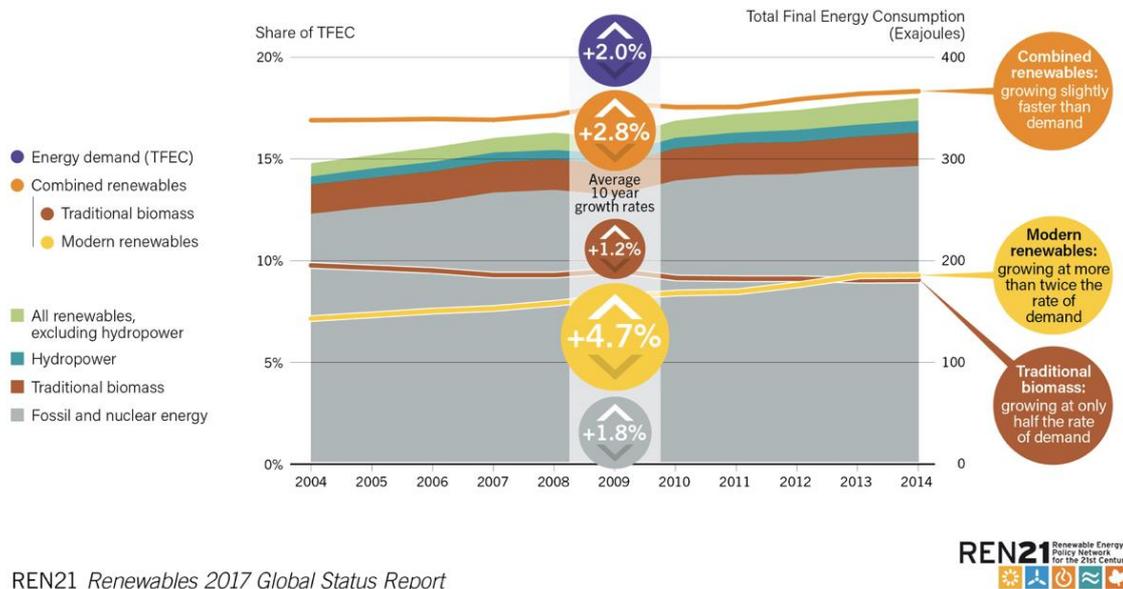
REN21 *Renewables 2017 Global Status Report*



**Figura 1.5.** Estimación de EERR en el total de la energía final.  
Fuente: *Ren21* [3].

Como se puede observar el 78.4% de cobertura mundial pertenece a los combustibles fósiles. La segunda fuente es la de energías renovables que ocupan un 19.3% del total. Dentro de estas energías renovables hay una división entre las renovables modernas (10.2%) y la biomasa tradicional (9.1%). La biomasa tradicional está asociada a usos de calefacción y cocina en lugares remotos o rurales o países en desarrollo, de ahí su alto porcentaje. A pesar de ser muy conocidas tanto la energía solar como la eólica vemos que aún tienen unos porcentajes que cuanto poco podemos considerar pequeños.

**Growth in Global Renewable Energy Compared to Total Final Energy Consumption, 2004-2014**



REN21 Renewables 2017 Global Status Report

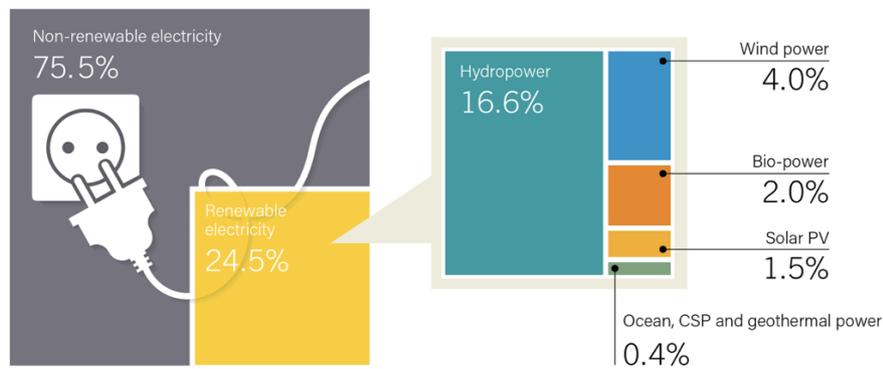


**Figura 1.6.** Crecimiento de las EERR con respecto a la consumición final de energía.  
Fuente: Ren21 [3].

En esta segunda figura podemos observar cómo ha sido el crecimiento de las energías renovables en los últimos años con respecto a la consumición total de energía. Vemos como todas ellas han aumentado, incluso los combustibles fósiles, lo que claramente indica que, a nivel mundial, año tras año, sigue aumentando el consumo de energía, una de las razones por las cuales las EERR van ganando peso, como previamente hemos explicado. También es significativo como la renovables modernas van incrementando con un porcentaje bastante mayor que al resto, dato muy halagüeño.

Destacar que en los gráficos anteriores nos referimos a todo el consumo final de energía. Sin embargo, si realizamos el mismo estudio, pero hablando solamente del consumo de energía eléctrica vemos que los porcentajes de contribución dentro de las EERR cambian notablemente.

**Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2016**



REN21 *Renewables 2017 Global Status Report*



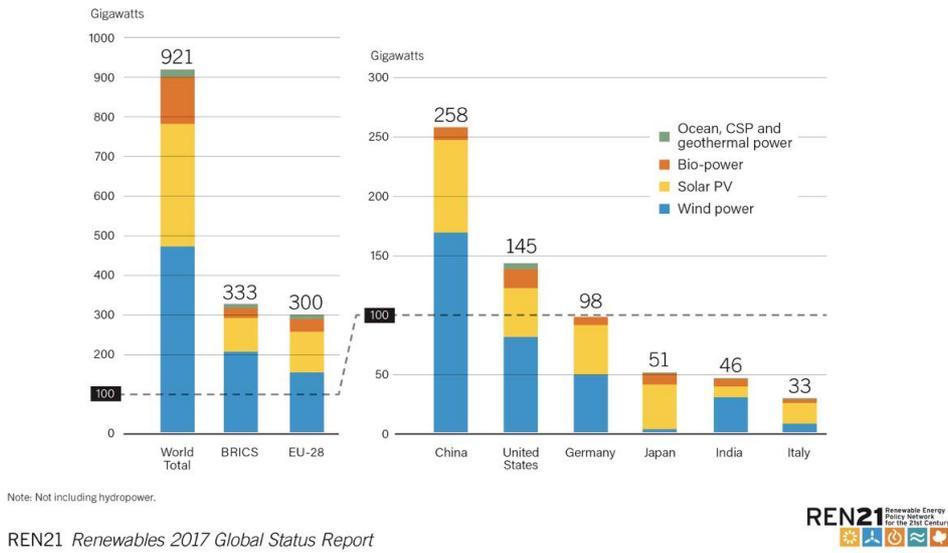
**Figura 1.7.** Estimación de EERR en el total de la producción de electricidad.  
Fuente: *Ren21* [3].

Como podemos observar ahora la energía que más cobertura aporta es la hidráulica, con valores más significativos de la eólica y la solar fotovoltaica (solar PV).

Una vez vistas las aportaciones a nivel mundial de cada una de las energías debemos observar cuál es la contribución energética renovable de los países más influyentes. En el siguiente gráfico, figura 1.8. podemos ver la capacidad de cada país considerando todas las energías renovables a excepción de la hidráulica. En este aspecto China sería la primera potencia mundial, seguida por los Estados Unidos, Alemania, Japón, India y en última estancia Italia.

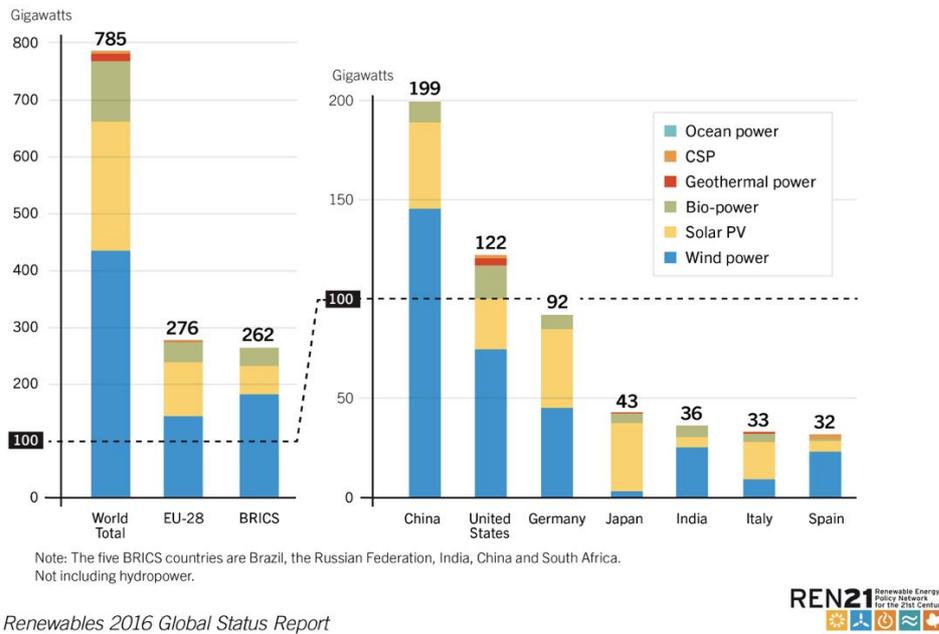
Cabe destacar que, si nos fijamos en gráficos de años anteriores, España se encontraba como una de las potencias mundiales, pero debido a una serie de factores que explicaremos más adelante ya no es así. En la figura 1.9., podemos ver el mismo esquema, pero en el año 2016.

**Renewable Power Capacities in World, BRICS, EU-28 and Top 6 Countries, 2016**



**Figura 1.8.** Capacidades de potencia renovables en el mundo en 2016.  
Fuente: Ren21 [3].

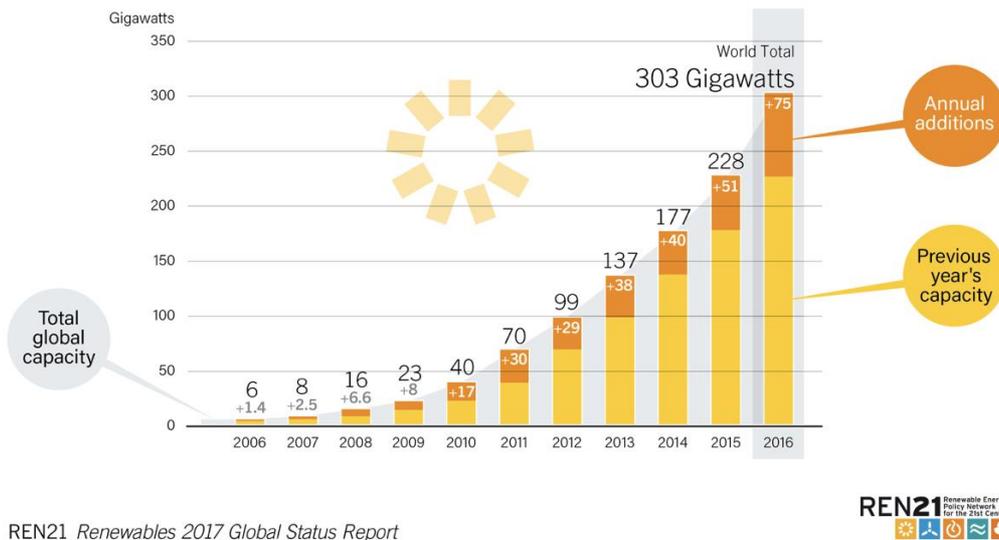
**Renewable Power Capacities in World, EU-28, BRICS and Top Seven Countries, End-2015**



**Figura 1.9.** Capacidades de potencia renovables en el mundo en 2016.  
Fuente: Ren21 [3].

Debido a que este proyecto va orientado al estudio de la influencia de las energías renovables eólica y fotovoltaica en sistemas BTSs, vamos a dejar unos gráficos que muestran la evolución hasta la actualidad de la capacidad de ambas energías.

Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2006-2016

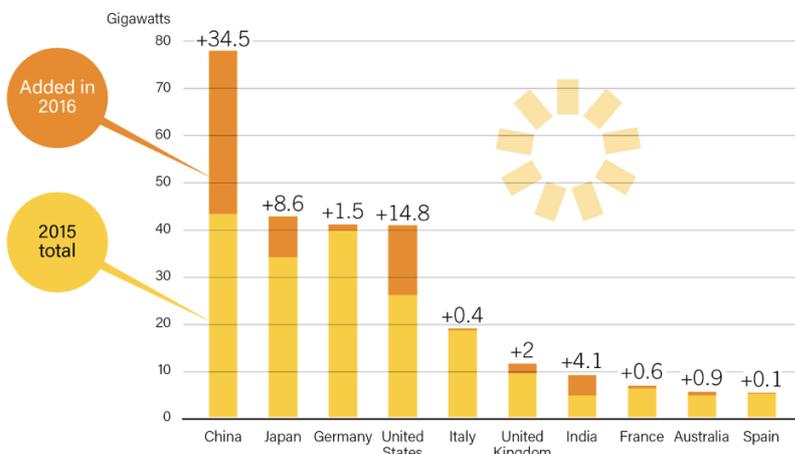


**Figura 1.10.** Capacidad solar entre los años 2006 y 2016.  
Fuente: Ren21 [3].

En la primera imagen podemos ver la evolución que ha sufrido la potencia solar fotovoltaica instalada en los últimos años. Podemos apreciar como cada año va aumentando la potencia añadida. Este crecimiento se lo podemos achacar a varios factores. Las tecnologías utilizadas en este tipo de energía son mucho más eficientes, ya que cada vez son más capaces de generar energía incluso en condiciones menos óptimas, como, por ejemplo, con baja irradiación solar. Esto, unido a que las tecnologías de almacenamiento de energía están mejorando rápidamente y a las políticas energéticas impulsadas en la UE, Estados Unidos y China, principalmente, han posibilitado un desplome en los precios de la energía produciendo este crecimiento exponencial. Según un estudio, que llevó a cabo en 2014 la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), los precios de los paneles solares fotovoltaicos descendieron entre un 65% y un 75% entre 2009 y 2013, y el precio de la energía lo hizo un 80% desde 2008, esta tendencia a la baja ha seguido hasta la actualidad en gran parte de los países.

En el siguiente gráfico podemos observar cuales son las potencias mundiales en este sector. Es curioso ver como Alemania, por ejemplo, que es un país con mucho menos recurso solar que España, está muy por encima de esta. Luego veremos el porqué del retroceso de España en este aspecto.

Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2016



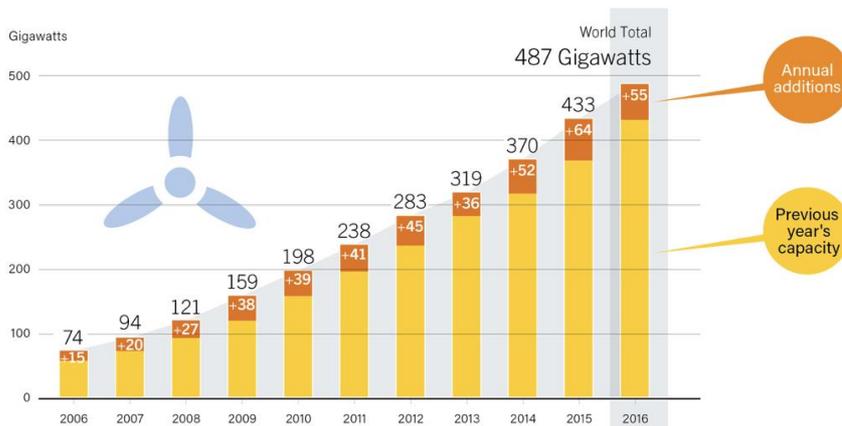
REN21 Renewables 2017 Global Status Report



**Figura 1.11.** Capacidad solar, 10 primeros países.  
Fuente: Ren21 [3].

Finalmente vamos a observar la evolución de la energía eólica. Obviamente vamos a observar que también está experimentando un crecimiento años tras año.

Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2006-2016



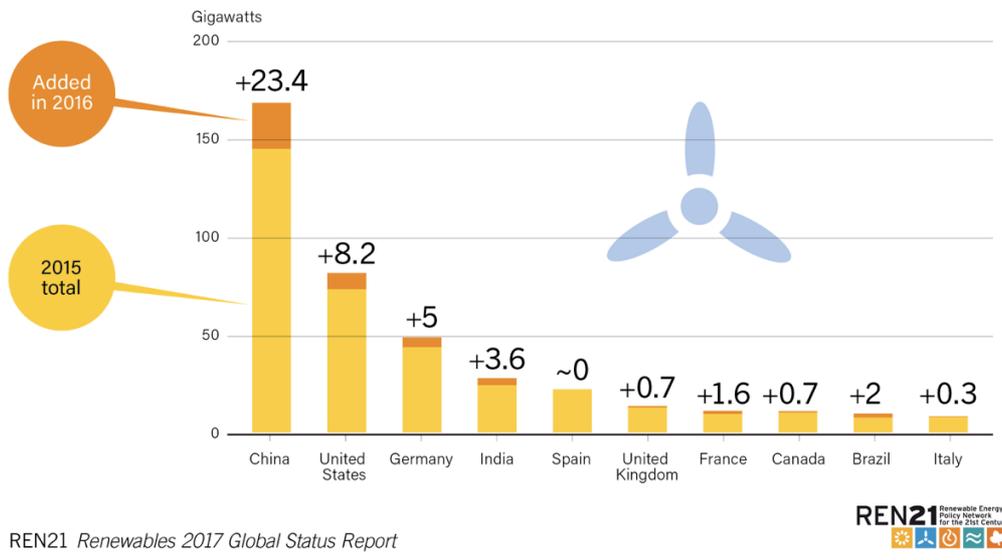
REN21 Renewables 2017 Global Status Report



**Figura 1.12.** Evolución de capacidad de potencia eólica mundial desde 2006 hasta 2016.  
Fuente: Ren21 [3].

Podemos apreciar de nuevo como España a pesar de que en los últimos años la adición de potencia sea prácticamente nula sigue siendo una potencia mundial.

Wind Power Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2016

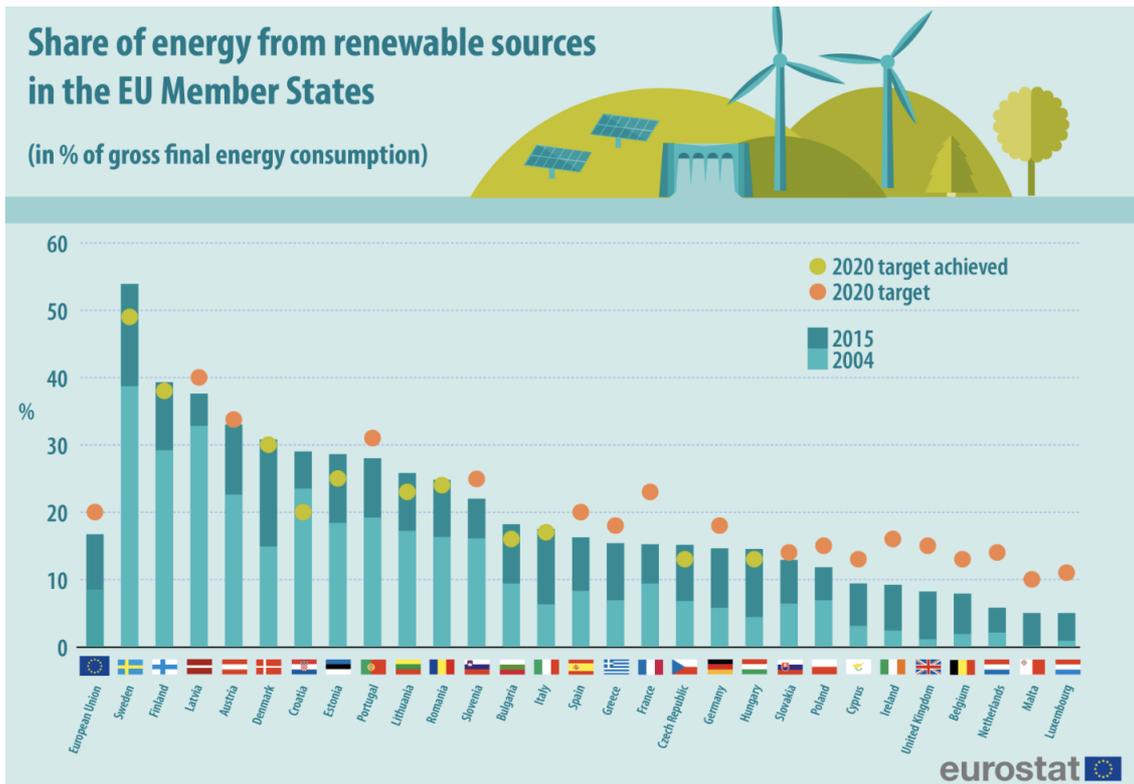


**Figura 1.13.** Capacidades de potencia eólica, primeros 10 países en 2016.  
Fuente: Ren21 [3].

## 1.5. Energías Renovables contexto europeo

Es momento de realizar un pequeño estudio sobre la situación existente en el marco europeo ya que resulta interesante compararlo con la situación actual de España. Destacar que van a existir grandes diferencias entre los distintos países habiendo varias causas, además de las políticas llevadas a cabo y el nivel de desarrollo tecnológico, como puede ser las distintas zonas geográficas que facilitarán distintos recursos naturales favorables para la utilización de las EERR.

En la siguiente figura se puede observar cómo ha sido la variación, de esta última década, con una estimación de futuro de la cobertura que tienen las EERR sobre la demanda de energía primaria para los diferentes países que conforman la UE (Unión Europea).

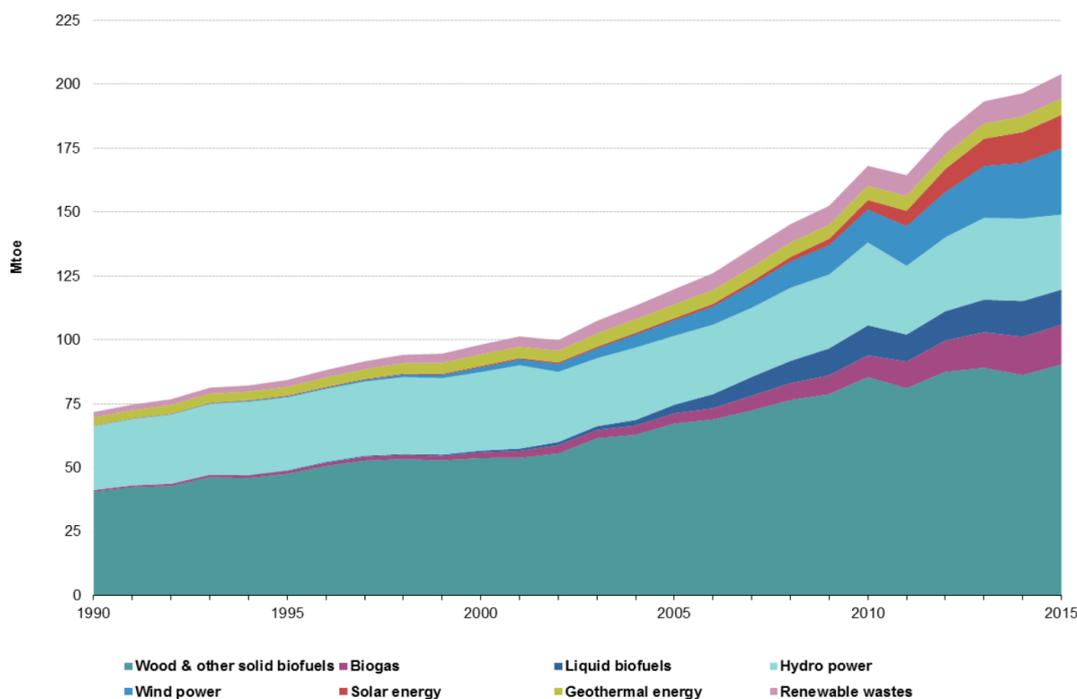


**Figura 1.14.** Contribución de las energías a la producción primaria de energía.  
Fuente: Eurostat.

La parte de la barra verde claro representa la cobertura existente en 2004, mientras que la barra verde oscuro el incremento que ha habido en el estudio realizado en el año 2015. Por otro lado, los puntos verdes representan el objetivo de cobertura que se esperaba superar para el año 2020 y que se ha superado. Finalmente, el punto naranja representa el objetivo marcado por cada país para 2020 pero que aún no se ha superado.

Vemos como España se encuentra en mitad de la tabla con una cobertura del 16% aproximadamente, sin embargo, resulta llamativo la gran diferencia existente con respecto a países como Suecia o Finlandia. En esta tabla también podríamos introducir a países como Islandia y Noruega (no pertenecientes a la UE) que tienen unas coberturas actuales del 77.1 y 69.2%, respectivamente.

A su vez, en la siguiente figura podemos observar cómo ha sido el crecimiento de estas energías renovables en la cobertura a la energía primaria.



**Figura 1.15.** Contribución de las EERR a la producción primaria de energía.  
Fuente: Eurostat.

Antes de continuar con el marco europeo es conveniente ver como Islandia ha conseguido tales porcentajes. Según la Autoridad Nacional de la Energía islandesa [44] prácticamente el 100% de la electricidad que consume este país de 350.000 habitantes proviene de fuentes de energía sostenibles y no contaminantes. 9 de cada 10 viviendas se calientan – y allí hace falta calentarse, y mucho– aprovechando la energía geotérmica del subsuelo, la misma que, junto con la de procedencia hidroeléctrica, abastece a numerosas industrias de elevadas necesidades energéticas. En total, en 2014 fue de origen renovable el 77.1% de toda la energía primaria empleada, según datos de la Autoridad Nacional de la Energía islandesa. Y de ella, en torno al 66% fue geotérmica. Solamente el transporte utiliza todavía combustibles fósiles a gran escala en la isla ártica.

El 75% de la generación eléctrica es hidroeléctrica, y el 25% restante, de origen geotérmico y para ello no hace falta pasar penurias ni vivir en el atraso tecnológico: los islandeses emplean mucha energía. De hecho, Islandia es el primer país del mundo en consumo energético per cápita, con 194,2 megavatios por hora (casi siete veces más que España). Sólo Qatar ha alcanzado recientemente niveles similares. Y, con enorme diferencia, el país nórdico es el primero del planeta en consumo de electricidad per cápita, con 54,7 (triplicando y cuadruplicando a los que le siguen, y casi 10 veces más que España). Pero en este caso los islandeses no contaminan nada para conseguirla. Es lo que tienen las energías renovables: que además de ser limpias y baratas, son inagotables.

Podemos decir que el país tiene la suerte de disponer del inagotable recurso del calor subterráneo que genera la enorme actividad volcánica islandesa, pero se podría decir lo mismo de bastantes otros lugares del planeta. En Islandia, la geotermia se utiliza, además de para generar electricidad, mediante grandes turbinas de vapor, para proporcionar otra gran cantidad de servicios como proporcionar calefacción a ciudades enteras mediante sistemas urbanos centralizados para derretir la nieve de las aceras, calentar piscinas,

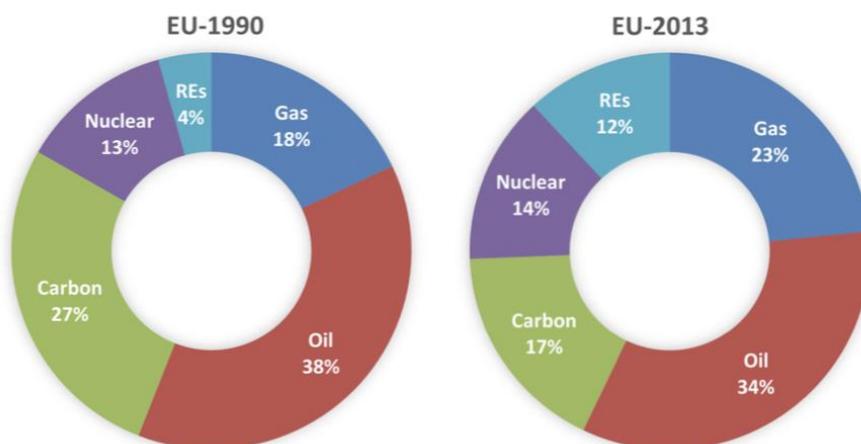
suministrar energía para la piscicultura, el cultivo en invernaderos y la elaboración de alimentos [45].

Pero hasta la década de los años 70 el uso de esta fuente energética era prácticamente residual y, como el resto del mundo, Islandia consumía –y en su caso, por tanto, importaba– enormes cantidades de petróleo y carbón. Sin embargo, incluso mucho antes de que llegaran las preocupaciones medioambientales y se confirmara la existencia del cambio climático, los islandeses ya llevaban tiempo pensando en cómo evitar una dependencia energética de un país externo.

Hasta esta misma época era considerado uno de los países más pobres de Europa. Cuarenta años más tarde es uno de los más avanzados y prósperos del globo, incluso después de la grave crisis financiera que lo llevó casi a la bancarrota en 2008. Y si la entonces pobre Islandia pudo, muchos otros países podrían: se calcula que el 25% de la población europea vive en zonas aptas para la instalación de calefacción centralizada de ciudades con energía geotérmica.

Con lo comentado anteriormente podemos retornar al comienzo de este apartado. Se puede decir que Islandia naturalmente tiene grandes recursos energéticos renovables, como la geotermia, esto se trata de una gran ventaja geográfica, pero también gracias a las políticas llevadas a cabo y el desarrollo tecnológico han conseguido no ser dependientes de ningún país, como es el caso de España, así como conseguir, por ejemplo, que sea un país casi en su totalidad libre de emisiones en lo que a la electricidad nos referimos.

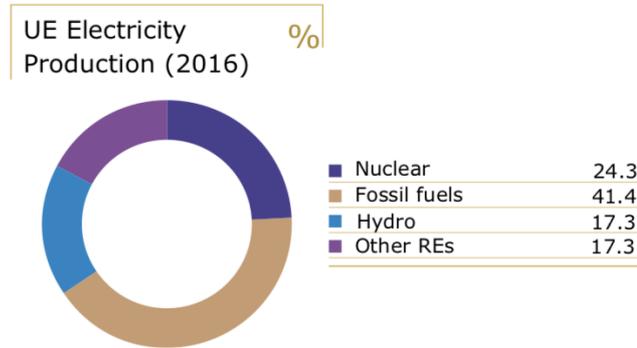
Al margen de estos datos, ahora vamos a observar la evolución de las distintas fuentes energéticas que dan cobertura a la demanda de energía primaria. La evolución en las últimas décadas ha sido significativa, reduciéndose el carbón y aumentando notablemente la contribución de las EERR.



**Figura 1.16.** Contribución final de energía en la UE según el tipo de energía.  
Fuente: Eurostat.

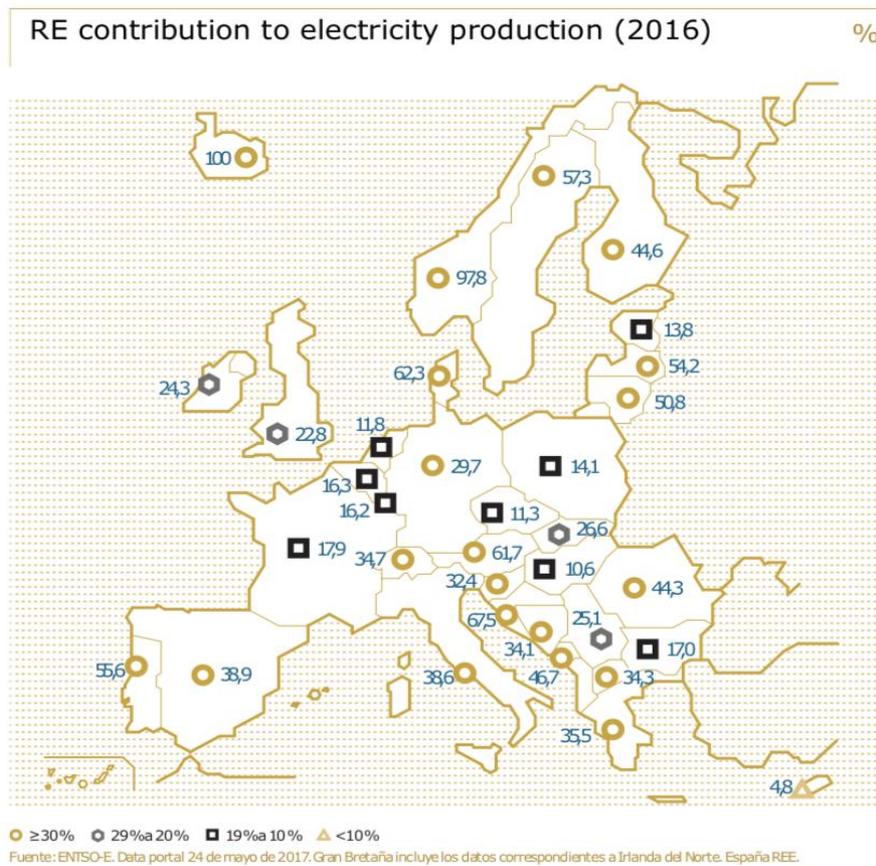
Finalmente, es necesario comentar la contribución a la producción eléctrica. Como se puede apreciar en la siguiente figura, los porcentajes cambian mucho que con respecto a

los gráficos de la anterior figura. La contribución de las energías nuclear y renovables son muy distintas en este caso.



**Figura 1.17.** Generación eléctrica en la UE según el tipo de energía (2016).  
Fuente: *ENTSO-E [46]*.

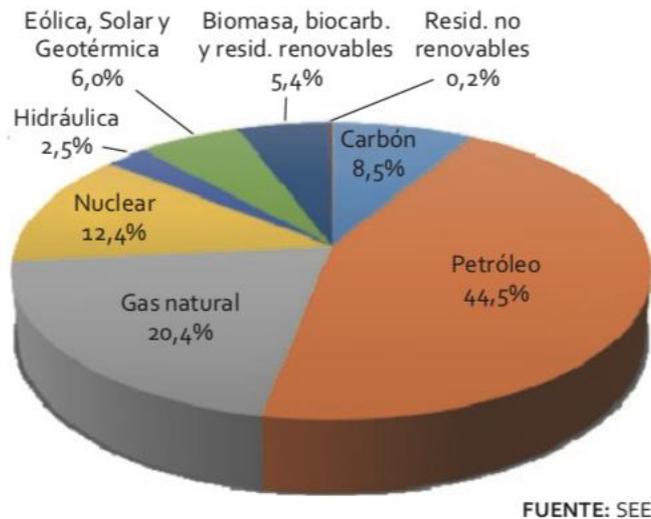
Destacar en este punto que España se encuentra entre los primeros países europeos en contribución de la EERR a la generación eléctrica con un 40% de aportación. En la siguiente imagen podemos observar la contribución de todos los países de la UE.



**Figura 1.18.** Generación eléctrica en la UE según el tipo de energía (2016).  
Fuente *ENTSO-E [46]*.

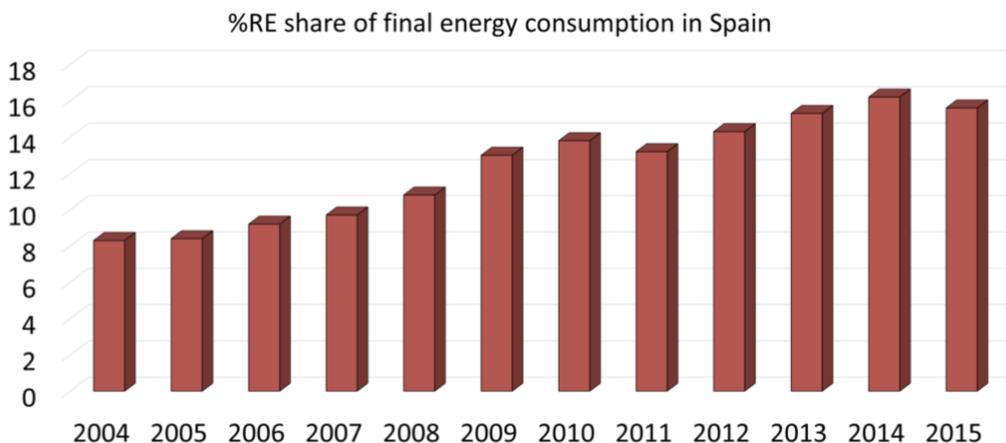
## 1.6. Energías Renovables en España

Como hemos realizado en los anteriores contextos es bueno, en primer lugar, realizar un pequeño estudio de la contribución de las energías en el consumo de energía primaria. En la siguiente imagen podemos observar como fue el consumo de energía primaria en España en el año 2016.



**Figura 1.19.** Consumo de energía primaria en 2016.  
Fuente: Ministerio de Industria Comercio y Turismo [47].

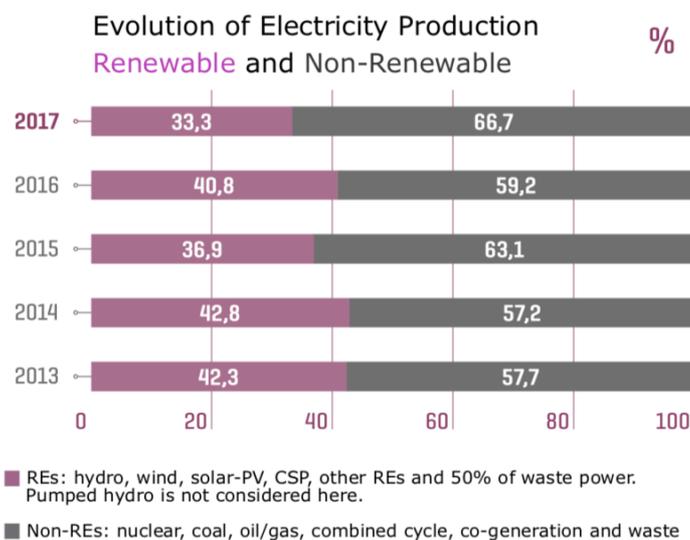
Por otro lado, se puede observar cómo ha sido la evolución de la cobertura mediante EERR del consumo bruto final en España. Se puede observar cómo ha habido un inquietante descenso en 2015 se ha pasado de un 16.2 en 2014 a un 15.6% en 2015, así como en 2016 a un 13.9%.



**Figura 1.20.** Evolución de la cobertura.  
Fuente: Eurostat.

De hecho, España no cumplió los objetivos que había establecido para el uso de energía limpia en 2015. El actual plan nacional de energías renovables del país, establecido por el IDEA, estableció que el 16,7% del consumo total de la energía proviniese de fuentes limpias.

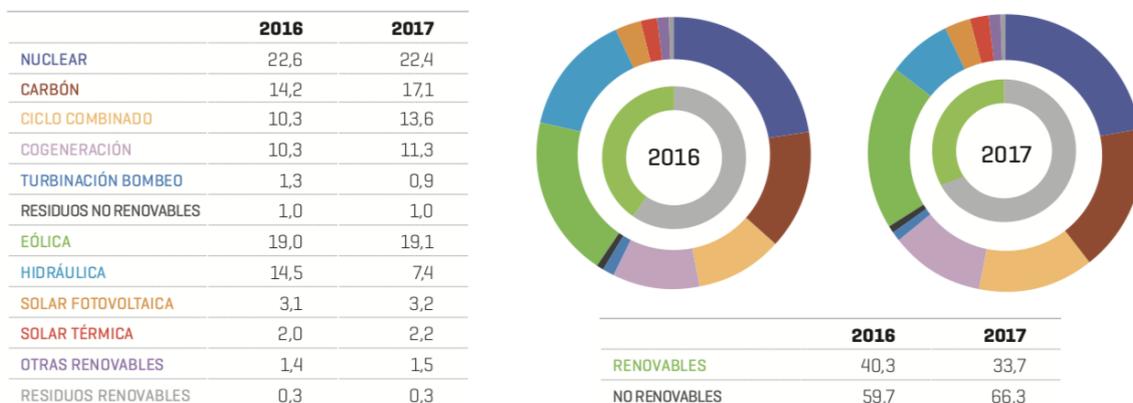
Fijándonos únicamente en la generación de la energía eléctrica podemos observar un cambio sustancial. Como se ha visto anteriormente las energías renovables tienen una cobertura del casi 40% en los últimos años. Sin embargo, en la siguiente figura podremos observar que de nuevo estos porcentajes de producción han disminuido en los últimos años.



**Figura 1.21.** Evolución de la contribución de fuentes renovables y no renovables.  
Fuente: REEE [48].

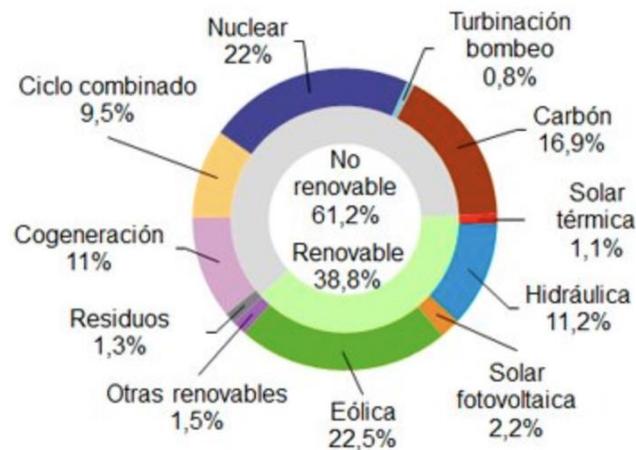
A continuación, podemos ver desglosadas las distintas contribuciones de cada una de las energías para los años 2016 y 2017.

**Estructura de la generación eléctrica peninsular en 2016 y 2017 [%]**



**Figura 1.22.** Estructura de generación de energía eléctrica anual.  
Fuente: REEE [48].

Para finalizar con la contribución a la energía eléctrica se puede hablar de cómo está evolucionando en este año (2018) la contribución de los distintos tipos de energía. Este primer tercio de año ha sido muy favorable para las energías renovables en España ya que han sido responsables del 38,5% de la producción total, frente a los combustibles fósiles que han aportado el 37,4% y la energía nuclear el 22%. La energía eólica está siendo la tecnología que más energía ha aportado al mercado español en lo que llevamos de año, según ha publicado Red Eléctrica. Esto muestra que en la actualidad parece que se está cambiando otra vez de dinámica.



**Figura 1.23.** Estructura de generación de energía eléctrica en el primer tercio de 2018.  
Fuente: REEE [48].

Finalmente, se va a concluir este apartado comentando el futuro más cercano de la energía fotovoltaica ya que en los últimos años ha sufrido un pequeño estancamiento.

Al finalizar 2018 se prevé que la energía fotovoltaica se desarrolle debido al abaratamiento de los costes, al alto volumen de recurso solar que posee nuestro país y el consenso de descarbonización. Actualmente, los módulos solares cuestan un 80% menos que hace 5 años.

Según un estudio de IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables) la electricidad que produce la energía fotovoltaica es la que más se ha abaratado de todas las energías renovables. Para finales de este 2018 las condiciones de mercado y el consenso político europeo alcanzado tras el Acuerdo de París, están atrayendo a los inversores hacia la energía solar fotovoltaica, pues la rentabilidad puede alcanzar el 7% de media.

El sector de las energías renovables es un sector pendiente de variaciones para poder cumplir con los objetivos europeos, según datos de la APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables). Existen negociaciones sobre la Nueva Directiva de Renovables 2020-2030 y trabajos sobre futura Ley de Cambio Climático y Transición Energética,

algo muy necesario para que la normativa de autoconsumo se adapte a las necesidades actuales. Además, en este 2018 todo apunta que el sector de las energías renovables se reactivará por las subastas e incremento de las inversiones. También algunas consecuencias de la sequía sufrida desde el 2017 han sido la causa de una mayor producción de otras tecnologías renovables como la eólica y la fotovoltaica (-5,4% global y -47,5 % generación hidráulica). Además, el consumo de biocarburantes siguió el alza en 2017 aunque estuvo muy por debajo de 2010.

## **1.7. Tendencias y perspectivas de futuro**

Otro punto importante a destacar es el futuro que se presenta en el mundo de las EERR en nuestro país. Para centrar de manera efectiva el marco que se nos avecina en los próximos años resulta de gran ayuda el informe, que se ha entregado al Gobierno, Análisis y propuestas para la descarbonización [49]. En este informe se destaca que la energía eólica y sobre todo la solar fotovoltaica van a ser las tecnologías clave para la generación de electricidad en la próxima década. Sin embargo, es necesario realizar un reparto de la carga fiscal en diferentes consumos para ayudar a que puedan crecer e implantarse en la totalidad del país.

Esta Comisión de Expertos para la Transición Energética ha realizado un esfuerzo de consenso ya que el grupo está integrado por personas con diferentes experiencias y sensibilidades, dispuestas a aportar que facilite el debate político sobre la transición energética.

Esta comisión aclara antes de todo que los escenarios analizados no constituyen una hoja de ruta, ni un pronóstico, ni mucho menos una propuesta de objetivos. Solamente se proporciona un marco para saber dónde estamos en relación a los objetivos a 2030 y 2050 de la agenda de energía y clima que están ahora a debate en la UE, y para identificar qué factores son relevantes para el cumplimiento de los retos en descarbonización, eficiencia energética, desarrollo de las renovables y competitividad y seguridad del suministro energético. Según estos expertos los escenarios permiten ver cómo las variaciones de unos y otros factores influyen en los resultados.

Una de las conclusiones relevantes a la que llego este claustro es que el futuro del sector energético es renovable, y que el sector eléctrico va a ser el eje de la descarbonización. La energía eólica y, sobre todo, la solar fotovoltaica van a ser las tecnologías clave para la generación de electricidad en la próxima década, y previsiblemente en las siguientes, con un coste medio de producción inferior incluso al mero coste variable de la energía térmica fósil a la que sustituyen. La comisión ha llegado a la conclusión de que, por una vez, la suma de tecnología y recursos energéticos nacionales (tenemos sol y viento) nos coloca en una posición privilegiada frente a nuestros competidores europeos.

Por otro lado, este informe recoge que, los escenarios planteados son muy ambiciosos en el protagonismo de las renovables porque está económicamente justificado avanzar tanto como sea técnicamente viable. Pero sin olvidar las restricciones técnicas derivadas de tener que disponer de capacidad para respaldar la variabilidad renovable y para aportar

inerencia, control de frecuencia y control de tensiones que mantengan estable el sistema en todo momento. Aunque también afirman que será necesario, durante un largo periodo, una potencia térmica firme y flexible, ya sea de gas, nuclear o de carbón, hasta que las tecnologías de almacenamiento, la gestión de la demanda, las interconexiones y otras herramientas la vayan haciendo prescindible.

Otro punto que recoge este informe es que, será necesario debatir el orden y el calendario de cierre de las centrales de carbón y nucleares, que acompañan a los ciclos combinados de gas natural y a la hidroeléctrica como potencia y energía de respaldo. Y que será necesario ponderar costes e impactos ambientales, sin impedir el consenso necesario para abordar la profunda transformación a largo plazo.

No obstante, descarbonizar el sector eléctrico no es suficiente para cumplir los compromisos con el clima, según confirman los expertos, porque la electricidad apenas representa el 25% del consumo de energía. Sería necesario consumir menos, con especial atención a la rehabilitación energética de edificios, el despliegue de bombas de calor, y la mejora de la eficiencia de los motores de combustión y de los procesos industriales. Según la conclusión comentan que sería necesario afrontar el gran reto de la transformación del transporte, para lo cual el informe aporta propuestas hacia una movilidad sostenible y una electrificación creciente, especialmente en las grandes ciudades, y alternativas transitorias con mayor peso del gas natural para el transporte terrestre pesado y el marítimo.

Además, la Comisión hace una propuesta ambiciosa, y polémica: una reordenación de la fiscalidad y de los peajes y cargos que gravan la energía, para que proporcionen señales de precios que orienten las decisiones de consumo e inversión hacia la descarbonización. Por un lado, se propone sustituir el actual batiburrillo de impuestos a la energía por otros que internalicen daños ambientales asociados a la generación y al consumo de energía, un impuesto al CO<sub>2</sub> y a otras emisiones contaminantes. La propuesta no plantea un aumento de la carga fiscal, que es otro debate, sino alterar el reparto de esa carga entre los diferentes consumos, poniendo más peso en los responsables de las emisiones que se desea reducir.

El informe propone también soluciones complementarias para que el sobrecoste de las renovables ya instaladas sea financiado por todos los consumos energéticos, y no solo los eléctricos, evitando que se frene la deseable sustitución de combustibles fósiles por electricidad. Y aboga por incluir mecanismos de compensación o exención para actividades intensivas en energía con riesgo de deslocalización o para determinados colectivos vulnerables.

Asimismo, se avanza en un diseño eficiente de los peajes de acceso al gas y a la electricidad. Adicionalmente, la desaparición del cargo transitorio al autoconsumo, la eliminación de otras barreras injustificadas y la participación agregada de la generación distribuida y de la demanda en los servicios al sistema fortalecerán el protagonismo de los consumidores.

Como aportación final al debate, la comisión ha concluido que es necesario la revisión del mercado eléctrico ya que la gran aportación renovable que se avecina va a hacer necesariamente que cambie. Ese mercado debe proporcionar señales económicas eficientes de inversión, operación y flexibilidad de la generación y de la demanda. La

programación de subastas específicas para la instalación de capacidad renovable que asegure la senda de descarbonización, así como para contar con la capacidad firme y flexible que el sistema necesita para asegurar su equilibrio y su estabilidad, y el fortalecimiento de los mercados de ajuste, habilitando una mayor participación de la generación renovable, el almacenamiento y la demanda, se apuntan como la orientación adecuada.

En todas las conclusiones que se han obtenido de este informe los expertos se han ceñido a los datos que se aprobaron en El Consejo Europeo el 23 y 24 de octubre de 2014, es decir, el marco de actuación de la Unión Europea en materia de energía y clima hasta el año 2030.

Este marco establece las principales orientaciones estratégicas y los elementos fundamentales de actuación, recogiendo los objetivos de la Unión en materia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, energías renovables, eficiencia energética e interconexiones. En las siguientes líneas podremos observar algunos de los objetivos que se fijaron en este marco.

En lo que refiere a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el marco estableció el objetivo, vinculante para la Unión europea, de una reducción de por lo menos un 40% para 2030 con respecto a los valores de 1990. Para lograr este objetivo las reducciones en los sectores sujetos y no sujetos al régimen de comercio de derechos de emisión deben concretarse en un 43 % y 30 %, respectivamente, en 2030 en comparación con 2005.

Es necesario destacar que la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero anuales vinculantes por parte de los Estados miembros de 2021 a 2030 para una Unión de la Energía y con objeto de cumplir los compromisos contraídos en el marco del Acuerdo de París y por el que se modifica el Reglamento (UE) n.º 525/2013, también conocida como el “Reglamento de reparto del esfuerzo” ya ha sido respaldada por el Pleno del Parlamento Europeo y por el Consejo de Medioambiente, quedando tan sólo pendiente su publicación en el Diario Oficial de la Unión Europea. Este Reglamento contempla para España un objetivo vinculante de reducción de emisiones en sectores difusos del 26%.

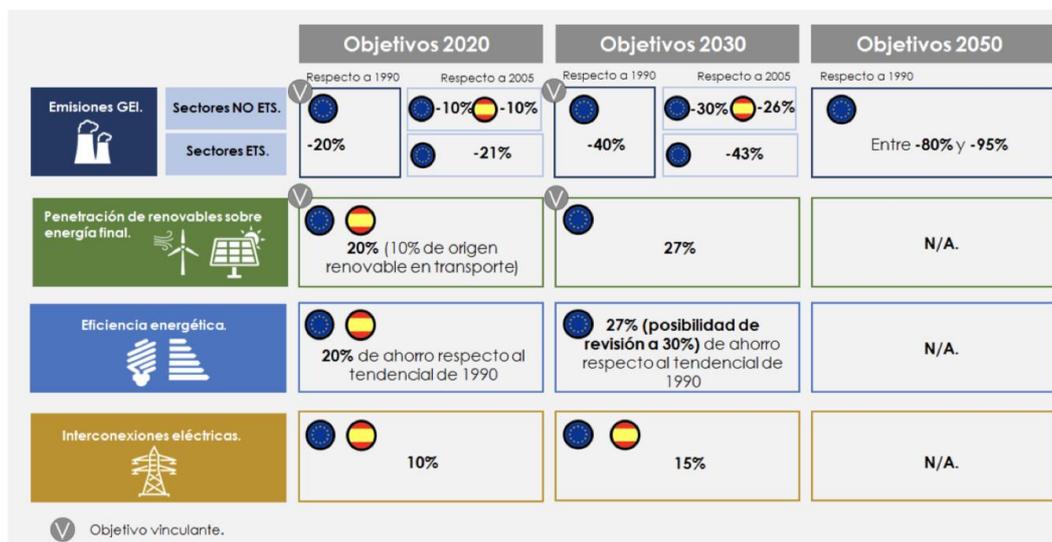
Por otra parte, las conclusiones del Consejo Europeo de 2014 recogían que la cuota de energías renovables dentro del consumo total de energía de la UE en 2030 debe ser como mínimo del 27 %.

En materia de eficiencia energética, se fijó en la UE un objetivo indicativo consistente al menos en un 27 % en 2030 con respecto a las previsiones de consumo energético futuro sobre la base de los criterios actuales, con posibilidad de revisión antes de 2020, y teniendo en mente un nivel del 30 %.

Posteriormente, durante la fase de tramitación del paquete legislativo “Energía limpia para todos los europeos”, que implica un procedimiento legislativo ordinario (antes denominado codecisión) el Consejo de la Unión Europea, en su configuración en energía, y el Parlamento Europeo han propuesto distintos objetivos, 27% y 35% en renovables, y 30% y 35 % en eficiencia energética (que se incrementa incluso al 40% en el Reglamento de Gobernanza), respectivamente. En el momento en el que la comisión estaba redactando

este informe, estaban en curso las negociaciones tripartitas (trílogos) entre la Comisión europea, el Parlamento Europeo y el Consejo Europeo.

En materia de interconexiones eléctricas, el objetivo recogido por el Consejo Europeo y la propuesta de Reglamento de Gobernanza es del 15%, el cual debe ser calculado según la nueva metodología propuesta por la Comisión.



**Figura 1.24.** Esquema de objetivos para España en el futuro  
Fuente: *El Consejo Europeo*.

## 1.8. Telecomunicaciones y Energías Renovables

Para finalizar con este primer capítulo es necesario realizar una pequeña visión sobre el vínculo existente entre las EERR y las telecomunicaciones. Si se piensa un principal nexo de unión, rápidamente se nos viene a la cabeza la alimentación necesaria en las BTS (Base Transceiver Station). Otros ejemplos más sofisticados pueden ser todos los sensores que utilizan algunas instalaciones renovables con la finalidad de monitorizar procesos y tener una información fiable en tiempo real.

### 1.8.1. Alimentación de sistemas de telecomunicaciones

Como ya hemos comentado anteriormente una de las relaciones más evidente es la de la utilización de energías renovables para realizar la alimentación de infraestructuras de telecomunicaciones, como estaciones base de telefonía móvil (BTS: *Base ...*), este tipo de solución mediante instalaciones fotovoltaicas o incluso micro-eólicas presentará importantes ventajas en algunos casos en los que el acceso a la red de transporte y distribución eléctrica sea complicado. Es más, es importante destacar que esta es la base de este proyecto: el estudio de cómo alimentar una BTS en puntos de difícil acceso con pequeñas instalaciones renovables.

En la siguiente imagen se puede apreciar una BTS en la que el tendido eléctrico no es accesible y que está alimentada por una pequeña instalación fotovoltaica y otra micro-eólica.



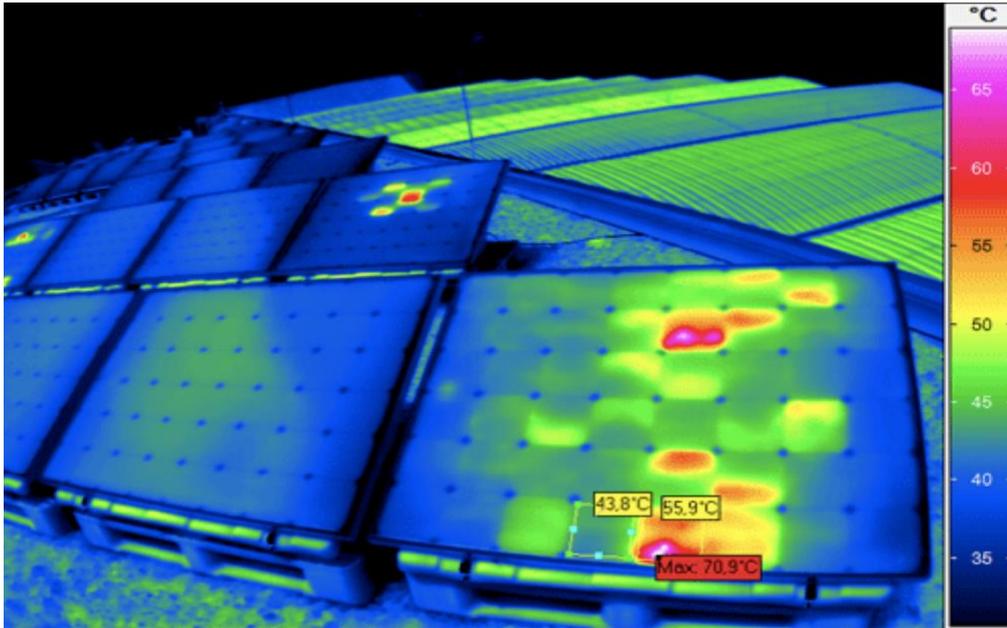
**Figura 1.25.** Ejemplo de instalación fotovoltaica y eólica vinculada a una estación TDT en Uceda (Guadalajara, España). Fuente: *Apuntes de Energía y Telecomunicaciones de la UC. Jesús Mirapeix. [50]*

### **1.8.2. Sensórica aplicada a infraestructuras renovables**

Aunque de manera natural se piensa en el tipo de instalaciones comentadas previamente como el nexo de unión entre telecomunicaciones y las EERR, existen otros muchos ejemplos de utilización de las telecomunicaciones en las energías renovables, como, por ejemplo, la utilización de sensores. Estos sensores pueden ser utilizados para monitorizar instalaciones renovables en tiempo real.

Un ejemplo típico de aplicación lo tenemos en la inspección de instalaciones FV mediante el uso de la termografía infrarroja. Esta tecnología se basa en el uso de cámaras con sensores que permiten capturar la radiación en el infrarrojo (IR). Como sabemos, esta radiación está asociada a cualquier cuerpo caliente que emite radiación infrarroja y a su emisividad correspondiente.

Destacar que esta técnica es muy útil ya que los puntos calientes suponen un serio problema para los módulos FV, siendo necesario la inspección periódica. En la siguiente imagen se puede ver una inspección termográfica de una instalación FV en un tejado. Puede apreciarse como la temperatura de algunas células es más elevada. Estos puntos calientes en vez de estar generando energía van a estar actuando como resistencias disipando energía en forma de calor y pudiendo dañar el módulo FV.



**Figura 1.26.** Ejemplo de inspección termográfica.

Fuente: *Apuntes de Energía y Telecomunicaciones de la UC. Jesús Mirapeix. [50]*

También existen ejemplos muy interesantes de monitorización asociados a otras EERR, como la energía eólica. Bien es sabido que el coste de un aerogenerador es muy elevado (podría estimarse en el entorno del millón de euros). Esta es una razón más que suficiente para asegurar la integridad estructural de este tipo de elementos, tanto para evitar un mal funcionamiento como para poder detectarlo con la suficiente antelación como para poder reaccionar y evitar situaciones catastróficas como la rotura o deterioro de elementos clave del aerogenerador, como el conjunto rotor/palas. Para evitar este tipo de situaciones se realizan distintos ensayos en los que típicamente se emplean sensores eléctricos que permiten medir la deformación sufrida por la pala. Sin embargo, existe tecnología basada en fibra óptica que permite medir en tiempo real y de manera distribuida, en todos los puntos de la fibra, la respuesta de la pala en cada momento. Se trata de un ejemplo de monitorización de una infraestructura renovable mediante un sistema sensor directamente relacionado con las telecomunicaciones. De hecho, el sistema sensor de fibra puede conectarse con la red de fibra de comunicaciones del parque eólico. En la figura 1.27 podemos ver un ejemplo de dicha instalación.

Otro ejemplo de aplicación se lleva a cabo en una tipología de parque eólico muy relevante en los últimos años, las instalaciones off-shore. Este término se refiere a conjuntos de aerogeneradores instalados no en emplazamientos terrestres sino en el mar, típicamente a unos pocos kilómetros de la costa. En estos parques cobra especial importancia el denominado cable de vertido que lleva la energía generada desde los aerogeneradores a la costa. Un problema en este cable implicará que perderá la energía generada. Gracias a la sensorica se podrá localizar el foco del problema. Estos sensores formaran un sistema distribuido de fibra óptica a lo largo del cable. Estos sistemas permiten, no solo la medida de deformaciones en estructuras, sino también de temperatura. Dado que un fallo en el cable de vertido se traducirá probablemente en un punto caliente (una rotura del cable también sería fácilmente detectable), estamos ante una solución óptima derivada del mundo de las telecomunicaciones.



**Figura 1.27.** Instalación de un sensor de fibra óptica en la pala de un aerogenerador.  
Fuente: *Apuntes de Energía y Telecomunicaciones de la UC. Jesús Mirapeix. [50]*

## **CAPITULO 2. Alimentación de infraestructuras de telecomunicación**

Se llevará a cabo un estudio sobre diferentes soluciones para la alimentación de infraestructuras de telecomunicación con energías renovables, como la eólica y solar.

## **2.1. Introducción**

En este segundo capítulo se va a hablar de las distintas soluciones que van a existir para realizar la alimentación a infraestructuras de telecomunicación. Como en este proyecto nos queremos centrar principalmente en las BTS, en primera instancia hablaremos principalmente de ellas. Se comentarán varios ejemplos específicos de aplicación en los que se utilicen energías renovables, tanto del tipo solar como eólica. Para finalizar con este capítulo también buscaremos otros ejemplos en los que distintas infraestructuras de telecomunicaciones estén alimentadas por sistemas renovables.

## **2.2. BTS alimentadas por EERR**

### **2.2.1. Introducción a las BTS**

En las últimas décadas se ha producido un crecimiento exponencial del número de usuarios de telefonía móvil, internet, etc. Sin ir más lejos a finales del año pasado (2017) se registró otro récord, el número de usuarios únicos de telefonía móvil alcanzó los 5.000 millones de usuarios. Por otro lado, se prevé que para el año 2025 el número siga creciendo llegando a 5.900 millones de usuarios. Para sostener este crecimiento es necesario que se vayan desplegando nuevas infraestructuras de red móvil, siendo las BTS el elemento más significativo y el que se necesita en mayor número.

Propiamente dicho, una estación base se trata de una instalación fija que nos permite realizar comunicaciones radio. Se utiliza para comunicar con una o más radios o teléfonos móviles. Estas estaciones sirven como un acceso punto de acceso a una red de comunicación fija, como, por ejemplo, la de internet o la de telefonía, o bien, para que dos terminales se comuniquen entre sí a través de esta.

En las redes inalámbricas, como, por ejemplo, la WiFi, una estación base funciona como un transmisor/receptor de radio que sirve como nexa (HUB) de la red de área local inalámbrica. También puede servir como pasarela entre las redes inalámbricas y fija.

- **2G/GSM:** 900 y 1800 MHz.
- **3G/WCDMA:** 900 (desde septiembre de 2011) y 2100 MHz.
- **4G/LTE:** 800 (desde abril de 2015), 1500 MHz (próximamente), 1800 MHz y 2600 MHz.
- **5G:** 700 MHz (a partir de 2020), 1500 MHz (próximamente), 3.500 MHz (próximamente).

La banda de 1500 MHz se encuentra en periodo de licencia, para usarse próximamente en servicios 4G/LTE únicamente en sentido descendente, como complemento a otras bandas 4G/LTE.

Por último, se utiliza la banda de los 3,5 GHz para **WiMAX** (IEEE 802.16).

En el contexto de la telefonía móvil, una estación base dispondrá de equipos transmisores/receptores de radio, que trabaja en distintas bandas de frecuencia. Por ejemplo, la banda de 900 y 1800 MHz está reservada para GSM, las bandas de 800 MHz, 1800 MHz y 2600 MHz están reservadas para LTE o 4G desde abril de 2015. En la actualidad se habla de que el 5G, que está por venir (2020), trabajará en las bandas de 700 MHz, 1500 MHz y 3500 MHz. Las antenas son tipo dipolo, no es momento de explicar lo que es, simplemente saber que se trata de un tipo de antena con una radiación específica y otras características propias [4]. Normalmente, está compuesta por un mástil al cual están unidas tres grupos de una o varias antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de caminos radioeléctricos que permite mejorar la recepción de la información, esto se trata de un complejo mundo de telecomunicaciones a nivel de capa física en el que se intenta siempre recibir la señal del mejor modo posible, con la mayor potencia posible, ya que a unos pocos centímetros que cambies la posición de una antena la potencia recibida puede variar en gran medida, así como las interferencias obtenidas, etc. Sin embargo, no es momento de entrar en este mundo, solo quería dar una breve aclaración sobre el tema.

Además, la Estación Base dispone de algún medio de transmisión, vía radio o cable, para efectuar el enlace con la Central de Conmutación de Telefonía Móvil Automática, que a su vez encamina la llamada hacia el teléfono destino, sea fijo o móvil. Por lo general estas estaciones disponen también de baterías eléctricas, para en todo momento asegurar el funcionamiento ininterrumpido del servicio.

Finalmente destacar el siguiente concepto: en zonas densamente pobladas como las ciudades, hay muchas estaciones base, próximas entre sí, lo que se denomina como micro células. Las frecuencias deben ser cuidadosamente reutilizadas, ya que son escasas, por lo que cada BTS transmite con poca potencia a fin de que no se produzcan interferencias de una célula con otra célula próxima que use las mismas frecuencias. En cambio, en las zonas de baja densidad las BTS están alejadas unas de otras y transmiten a elevada potencia para asegurar la cobertura en una célula extensa.

Una vez definido a groso modo lo que es una BTS y algunos de los tipos que nos podemos encontrar, resulta conveniente destacar que en muchas ocasiones el despliegue de estas infraestructuras se realiza en emplazamientos alejados de la red de transporte y distribución eléctrica. En este sentido, así como en países donde la calidad del suministro no sea la adecuada, las EERR pueden ser una solución óptima para la alimentación de los equipos involucrados.

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los países en vías de desarrollo es la falta de cobertura de la red eléctrica o su deficiente servicio, ya que ésta no es capaz de llegar ni al 70% de la población, en ciertos lugares mucho menos, por lo que en la gran mayoría de los casos no es posible alimentar a los nuevos sistemas de radio que se quieren instalar, y la única alternativa que tienen es la de utilizar fuentes de energía alternativas que puedan generar electricidad. Hasta no hace mucho la opción más útil era la de utilizar generadores diésel, una solución eficiente pero cara. Hoy en día gracias a la disminución del consumo de las BTS, mucho más eficiente que hace años, y a las mejoras de las tecnologías de las energías alternativas ya se utiliza, por ejemplo, la energía solar, la eólica, los biocombustibles, etc. Por otro lado, en los países más desarrollados en

poblaciones muy concentradas, se necesitan muchas BTS que trabajen a baja potencia, esto permite la utilización de dichas energías.

La energía solar fotovoltaica es quizá la solución más extendida y fácil de implementar. Hoy en día la tecnología fotovoltaica ha alcanzado ya un grado de madurez elevado y su rendimiento es bastante aceptable. En este ámbito, el de las BTS, con una instalación reducida se puede obtener la potencia suficiente para su alimentación, siempre que se instale en un lugar con suficiente radiación solar, (aclarar que las células solares en caso de que el cielo esté nublado siguen produciendo energía, aunque su rendimiento decae significativamente). Evidentemente, para dar servicio durante la noche se requiere de baterías que recarguen durante el día, acumulando la energía. Su instalación es sencilla, pudiéndose colocar sobre el mismo mástil y, prácticamente, no requieren de mantenimiento (el único que puede requerir es el de su limpieza, para que no baje el rendimiento por la suciedad acumulada en los paneles. Por otro lado, una solución menos extendida es la de la utilización de generadores eólicos (aerogeneradores). El problema principal es la dependencia del recurso en el emplazamiento seleccionado. También se pueden colocar en el propio mástil y existen soluciones con palas o turbinas eólicas verticales. Al igual que sucede con las instalaciones solares, hay que disponer de baterías para los momentos en que no se genere electricidad. Finalmente, los biocombustibles son una fuente de energía alternativa, que puede sustituir al diésel. En muchos casos se pueden utilizar con los mismos generadores, sin necesidad de adaptación alguna. Su principal ventaja es que no son tan nocivos con el medio ambiente y pueden obtenerse de cultivos locales, lo que evita la dependencia de importaciones de petróleo. Destacar que existirán soluciones en las que se aplique tanto energía solar como eólica conjuntamente.

### **2.2.2. Ejemplos de aplicación**

Un claro ejemplo de país en vías de desarrollo que está en continuo crecimiento es la India, para promover la penetración rural y contribuir al crecimiento han ido tomando varias iniciativas ya que, por un lado, la energía procedente de la red eléctrica es muy poco estable, y en muchos casos en estas zonas rurales no está disponible y, por otro lado, las BTS requieren energía constante e ininterrumpida para el correcto funcionamiento. En el pasado estas BTS, como ya se ha comentado anteriormente a título informativo, han utilizado generadores diésel, sin embargo, el consumo de este resultaba muy elevado, hoy en día debido a políticas gubernamentales explicadas a continuación, y debido al crecimiento del número de BTS hoy por hoy resulta inviable.

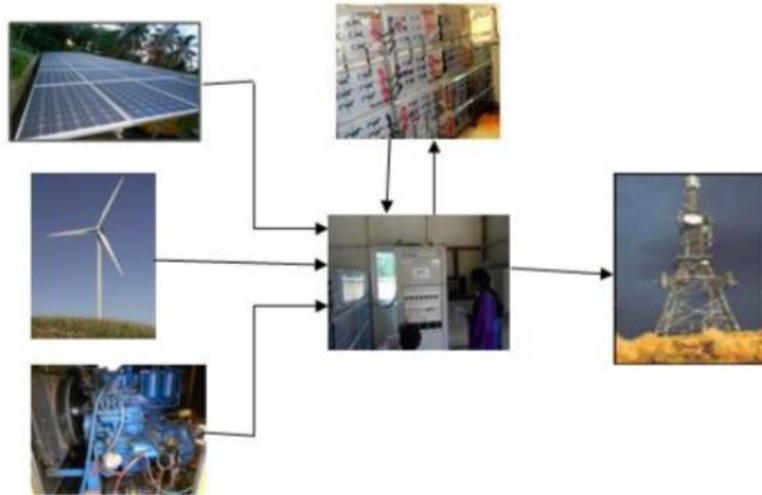
Estas iniciativas por parte del gobierno indio se han basado en proporcionar incentivos para el uso de energía renovable en estos proyectos y disminuir los subsidios a los combustibles derivados del petróleo. El Ministerio de Energías Renovables publicó una serie de pautas para aplicaciones solares descentralizadas y fuera de red, proporcionando un subsidio de hasta el 30% del costo de capital que suponen la creación y mantenimiento de estos sistemas. Otorgando un subsidio máximo de 90 INR (Rupias) por vatio pico que traducido a nuestra moneda supone 1,5 euros para sistemas que usan baterías y de 70 INR por vatio pico, 1,1 euros, para sistemas que no integran baterías. Alternativamente también se ofrece una serie de préstamos “blandos” los cuales tienen un interés del 5% siempre y cuando se trate de un proyecto de este tipo. Estas son algunas de las ventajas que ofrece el Gobierno Indio para utilizar las energías renovables. Por otro lado, como ya

hemos comentado, estas políticas de facilidades con respecto a las EERR se ven reforzadas por penalizaciones dirigidas a los combustibles fósiles. Por ejemplo, el Gobierno eliminó las ayudas que existían para la utilización de la gasolina, así como para el diésel. Esto ha permitido que la utilización de estos combustibles se vea muy mermada debido a su elevado coste produciendo que, a su vez, los operadores decidan realizar proyectos en los que las BTS sean alimentadas por energías renovables, como, por ejemplo, la energía solar.

Un ejemplo de aplicación en este mismo país lo podemos encontrar en un artículo científico muy interesante, *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER* [5]. En él se explica cómo hasta 2014 se utilizaban los generadores diésel, pero debido a su alto coste y a la alta emisión de dióxido de carbono de todas las BTS juntas, que a esa fecha el artículo estima alrededor de 4 millones, se decide buscar otras alternativas y realizar el estudio de coste final de los distintos modelos. Antes de seguir es necesario destacar que todas estas BTS, las de tecnología más arcaica, requerían una potencia de entre 1000 y 3000 vatios. En la India alrededor del 40% de las BTS eran alimentadas por la red eléctrica mientras que el 60% con generadores diésel por lo que haciendo cuentas en esa época quemaban aproximadamente 2 billones de litros de diésel (alrededor de 500 millones de barriles) anualmente lo que suponía un coste de 18,232 millones de dólares. Por otro lado, la emisión de dióxido de carbono era alrededor de 13 millones de toneladas sumando el consumo por parte de los generadores y la red eléctrica.

Debido a las razones previamente mencionadas varios científicos, mencionados en el artículo, decidieron investigar en crear una BTS utilizando el sistema HOMER con la finalidad de optimizar la energía utilizada por la estación utilizando energía híbrida en una región remota de la India, comparando con otras configuraciones de alimentación y viendo si realmente valdría la pena. Estos sistemas híbridos consisten en la utilización tanto del combustible diésel, como de la energía solar y eólica. Antes de proseguir destacar que HOMER es un sistema que se encarga de realizar un estudio durante un año sobre las necesidades de alimentación que necesita una BTS, se encarga de comparar la demanda eléctrica con la energía que el sistema puede suministrar por hora, calculando y haciendo estimaciones anuales. Tras este estudio se puede estimar si una instalación es viable o no utilizando las distintas fuentes de alimentación. Para más información se puede visitar el artículo [5].

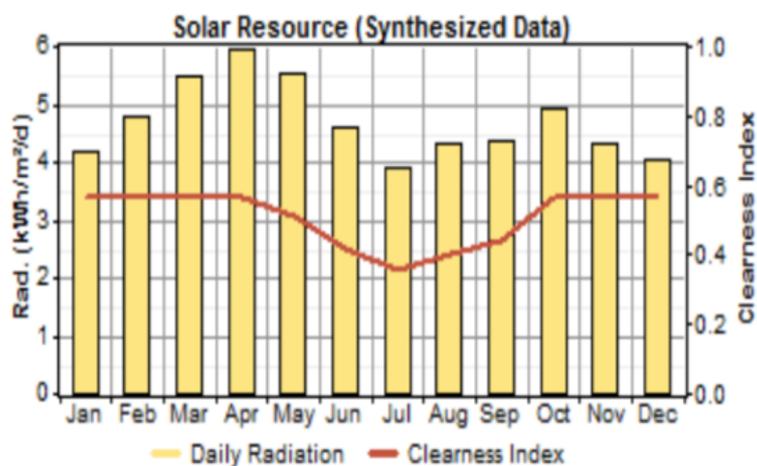
Mencionado lo anterior es momento de hablar el tipo de alimentación que puede llevar esta estación. La alimentación va a poder provenir de distintas tecnologías, dos de ellas de energías renovables como son la solar y la eólica, y finalmente de generadores alimentados por combustible diésel. Se asegura así máxima disponibilidad a pesar de posibles periodos de no funcionamiento de las distintas fuentes, ya que tanto la energía solar como la eólica no siempre estará en funcionamiento, es en estos momentos cuando los generadores diésel entrarían en acción única y exclusivamente.



**Figura 2.1.** Esquema que muestra las distintas fuentes de alimentación de la BTS  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

Destacar que la energía generada por el sistema alimenta a la BTS a través de un regulador de carga y una unidad de baterías. Las baterías en estos sistemas son bastante importantes ya que se utilizan para suministrar la energía suficiente durante periodos de baja producción energética o durante, por ejemplo, la noche donde solo existe la posibilidad de que trabaje la turbina eólica.

Para estos sistemas híbridos han sido necesario realizar, también, un estudio, entre muchos otros, sobre la radiación solar y la velocidad del viento, estos datos se han importado de la NASA. La figura 2.2 muestra la variación de la radiación solar y el índice de claridad del sitio. Tras realizar un sencillo cálculo se obtiene que la radiación solar promedio es de 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/día.



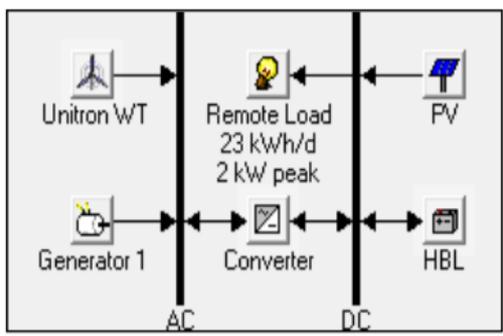
**Figura 2.2.** Gráfica de la variación de la radiación solar  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

Antes de comenzar a comparar los distintos sistemas que pueden alimentar a la BTS, es necesario tener en cuenta los datos que se observan en la figura 2.3. En caso de utilizar un única BTS la potencia necesaria por hora requerida será de 1.14 kW mientras que la que necesite al día será de 27.36 kW.

No of BTS	Power consumption/h	Power consumption/day
1	1.14 kW/h	27.36 kW (Actual av. 22.7 kW)
2	2.28 kW/h	55.0 kW
3	3.42 kW/h	83 kW

**Figura 2.3.** Tabla que muestra la potencia necesaria en función del nº de BTS.  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

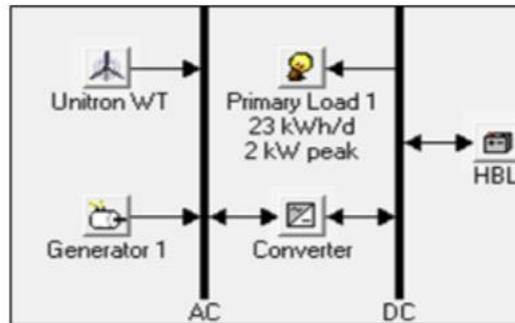
Es momento de observar los posibles sistemas de alimentación que podemos implementar. El primero de ellos va a ser una configuración en la que vamos a tener tres tipos distintos de fuente de energía, una instalación fotovoltaica, una turbina eólica, y un generador diésel. Tras este en las siguientes figuras veremos, también el resto de posibilidades que podremos realizar. Todas las combinaciones posibles. Destacar que este primero va a ser el punto de partida ya que parece ser que se trata del más completo y a priori podemos pensar que sea el mejor en todas las configuraciones de potencia. Finalmente, en la figura 2.9. podremos visualizar una tabla en la que se establece una estimación del precio de la energía para cada sistema.



**Figura 2.4.** Sistema híbrido formado por generador panel solar y turbina eólica.  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

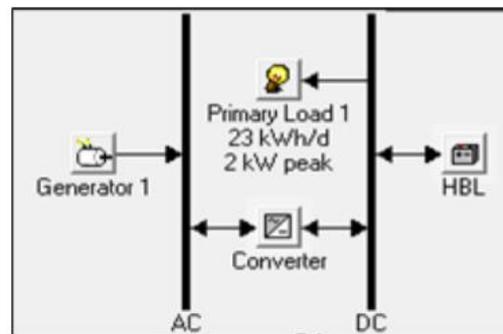
En este primer sistema, gracias al sistema HOMER se llegó a la conclusión de que la forma de optimizar lo máximo posible era llevando a cabo la incorporación de una matriz de paneles fotovoltaicos de 10 kW, 24 baterías en una sola cadena, un generador de 8 kW y un convertidor de 12 kW. Como podremos observar en la figura 2.9. el costo de la energía del este sistema es de 0.839 \$/kWh, más elevado, por ejemplo, que el sistema de

viento más generador, sin embargo, a una carga mayor, es decir, utilizando dos y tres BTS resulta mucho más eficiente



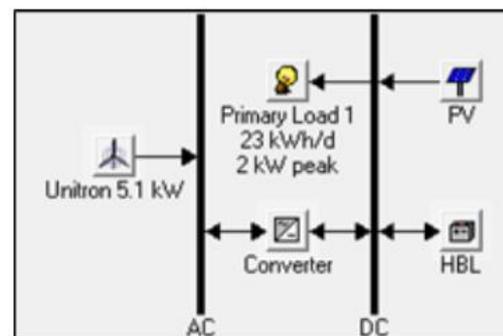
**Figura 2.5.** Sistema híbrido, formado por turbina eólica y un generador.

Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*



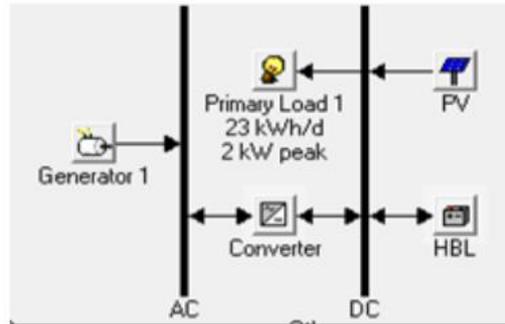
**Figura 2.6.** Sistema integrado únicamente por un generador.

Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*



**Figura 2.7.** Sistema formado por un único generador eólico.

Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*



**Figura 2.8.** Sistema híbrido, formado por un panel solar y un generador.  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

Systems	Parameters	Load, kWh/d		
		22.7	55	83
Solar-wind-DG	Cost of Energy (COE), \$/kWh	0.839	0.552	0.506
	Net Present Cost, \$	79,755	127,091	175,725
	Operating cost, \$/year	1,607	5,173	9,413
	Excess electricity production/year, %	45.2%	2.73%	1.10%
Wind-DG	Cost of Energy (COE), \$/kWh	0.787	0.590	0.536
	Net Present Cost, \$	74,823	135,934	186,186
	Operating cost, \$/year	4,981	10,308	14,129
	Excess electricity production/year, %	0.36	0	0
Solar-DG	Cost of Energy (COE), \$/kWh	0.851	0.609	0.539
	Net Present Cost, \$	80,853	140,213	187,285
	Operating cost, \$/year	1845	6460	10564
	Excess electricity production/year, %	31.7	1.04	0.35
DG only	Cost of Energy (COE), \$/kWh	0.966	0.648	0.568
	Net Present Cost, \$	91,786	156,042	197,343
	Operating cost, \$/year	6603	11,644	15,245
	Excess electricity production/year, %	0	0	0

**Figura 2.9.** Coste de los distintos sistemas para distintas cargas.  
Fuente: *Cost Analysis of Solar/Wind/Diesel Hybrid Energy Systems for Telecom Tower by Using HOMER [5]*

Tras observar la figura 2.9. se llega a una conclusión muy clara. Los científicos que desarrollaron este estudio, gracias al software HOMER, tenían razón de antemano, los generadores diésel resultan muy costosos, son inviables. En estas zonas donde no llega la red eléctrica, el mejor sistema sería el primero comentando, el que mezcla la energía solar, la eólica, y la del generador. Sin embargo, el sistema formado por la turbina eólica y el generador sería el más barato cuando queramos utilizar la configuración de potencia más baja, es decir, para una única BTS. Esto unido a que estos sistemas son más respetuosos con el medio ambiente que los generadores diésel es evidente que el futuro de las BTS pasa por estos innovadores sistemas.

### **2.2.3. Soluciones basadas en aerogeneradores**

Otro ejemplo que nos podemos encontrar en el mundo de la alimentación de las BTS mediante energías renovables es el de las turbinas eólicas, que aprovechan el viento para alimentar la estación base. Indagando en distintas fuentes de información hemos encontrado un artículo científico en el que se habla de la implantación de esta tecnología para la alimentación de estos sistemas, “*Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily*” [6]. Este estudio se realiza en la región de Sicilia, una zona que, aparte de ser muy soleada, también sufre vientos constantes, como luego comentaremos, haciendo idónea la implementación de esta tecnología. Dicho estudio se realizó en el año 2014 y se debió a varios factores casi idénticos a los explicados en el anterior ejemplo. El primero de ellos fue la concienciación con el medio ambiente: los científicos encargados de realizar un estudio previo al que nos atañe calcularon que la mayoría de las tecnologías de EERR no producen gases de efecto invernadero en la fase de utilización y que emiten en su totalidad mucha menos contaminación en comparación con los combustibles fósiles. La intensidad media de los gases de efecto invernadero en los sistemas hidroeléctricos es de 15 g de CO<sub>2</sub> / kWh en promedio, 20 g de CO<sub>2</sub> / kWh en el caso de las turbinas eólicas, y 100 g de CO<sub>2</sub> / kWh para la energía fotovoltaica, mientras que en los sistemas térmicos clásicos como la quema de gas natural es de alrededor de 577 g de CO<sub>2</sub> / kWh (ciclo combinado) o 750 g de CO<sub>2</sub> / kWh (ciclo abierto) y en la quema de carbón negro los valores son superiores a 860 g de CO<sub>2</sub> / kWh. Otra razón clave es que las fuentes de energía que utilizan las EERR es gratuita salvo posibles impuestos. Los datos de los costes, aproximados, ya los hemos comentado en el anterior ejemplo. Otra razón importante consiste en que muchas de las BTS en esta parte de Sicilia están situadas en emplazamientos de una geografía muy complicada y alejada de la red eléctrica, por lo que resulta imprescindible buscar otras fuentes de alimentación.

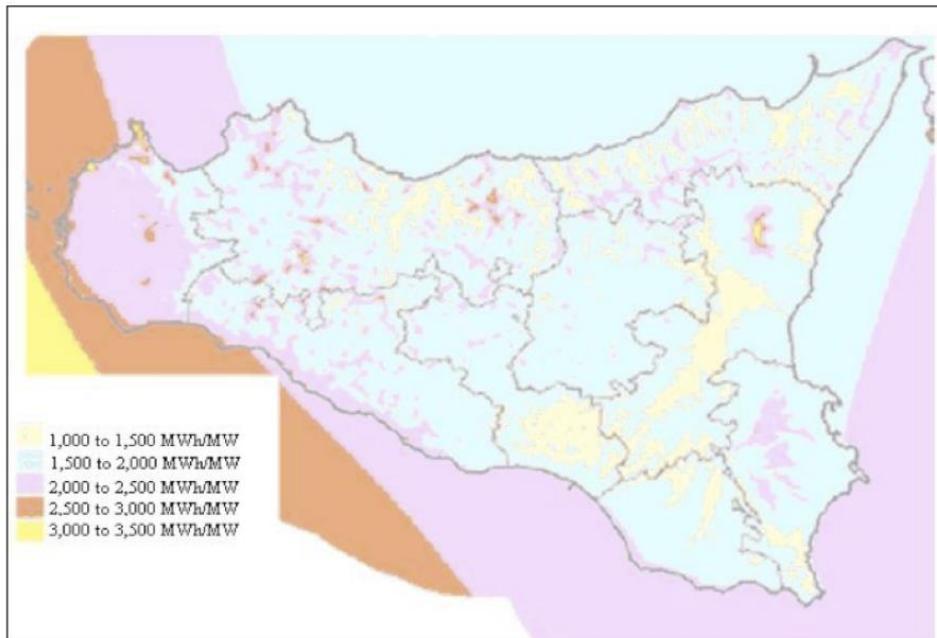
Cambiando de tercio en este tipo de estudios, siempre, antes de elegir algún tipo de tecnología es necesario saber cuánto consume la estación base. En este caso no resulta del todo sencillo, una solución es utilizar las facturas de consumo que ha ido teniendo una BTS durante un año. Esta es una solución fiable, sin embargo, se deberá de realizar un estudio un poco más extenso y con un mayor número de BTS debido a que la gran parte del equipamiento de la BTS siempre nos consumirá la misma energía, pero en el caso del sistema de refrigeración no, depende de varios factores, uno de ellos y muy importante es la temperatura ambiente. En la siguiente figura podemos visualizar un ejemplo de factura que se ha utilizado para realizar el estudio. Podemos observar como aproximadamente la BTS requerirá de 11000 kWh.

Bimonthly Intervals		Bimonthly Consumption (kWh)	Daily Consumption (kWh)	Total Bill (€)
11/01/2008	08/03/2008	1,672	29.86	271.22
08/03/2008	08/05/2008	1,821	29.85	284.83
08/05/2008	09/07/2008	1,851	29.85	210.62
09/07/2008	08/09/2008	1,821	29.85	207.41
08/09/2008	08/11/2008	1,821	29.85	183.71
08/11/2008	11/01/2009	1,940	30.31	191.61
<b>TOTAL YEAR 2008</b>		<b>10,926</b>		<b>1,349.4</b>

**Figura 2.10.** Consumo de energía de una BTS

Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily [6]*

Una vez se sabe cuál es el consumo que se requiere es momento de elegir la tecnología que se va a utilizar. En este proyecto se han decantado por los aerogeneradores ya que la productividad de los paneles por metro cuadrado, según este estudio, era mucho menor que en el caso de las turbinas. Sin embargo, se encontraron con el problema de que el viento es mucho menos predecible que el Sol, debido a muchos factores, como la geografía, la posición, la climatología, etc., por ello se requirió realizar un complejo estudio llevado a cabo por el centro de investigación CESI y el Departamento de Física de la Universidad de Génova. La figura 2.11 corresponde al primer estudio que se llevó a cabo, muestra un mapa de la producibilidad específica de Sicilia para una altura de 50 metros sobre el nivel del mar. El concepto producibilidad de una turbina eólica se define como la productividad media anual dividida por su potencia nominal. Si la producibilidad media anual se expresa en MWh y la potencia nominal se expresa en MW también, entonces la producibilidad específica se expresa en horas y puede interpretarse como el número equivalente de horas de operación de la turbina con potencia nominal máxima. Para el Atlas del viento italiano, la producibilidad específica se obtuvo teniendo en cuenta el valor medio calculado en un grupo de 15 aerogeneradores comerciales diferentes con una altura 50 metros. Una gran parte de la isla parece tener disponibilidad de recursos entre 1.500 y 2.000 MWh / MW instalados, mientras que algunas áreas superan los 3.500 MWh / MW (Monte Etna). Por otro lado, para obtener una estimación aún más precisa de la posible producción de energía de una turbina eólica fue importante instalar estaciones de medición de viento en los emplazamientos en los que querían realizar la instalación y medir al menos un año entero la dirección y la velocidad del viento. La figura 2.12. proporciona información sobre el comportamiento típico de mini aerogeneradores, dispuestos tanto en eje horizontal como vertical, en función de la intensidad del viento. A pesar de la mala calidad de la foto por lo que se piden disculpas, esta tabla de rango de funcionamiento resulta muy importante para saber a partir de que velocidades generamos energía.



**Figura 2.11.** Mapa sobre la producibilidad de las turbinas en Sicilia.  
Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily [6]*

Windiness Typical value	Aerogenerator reply
0-2 m/s	Zero rotation
2-4 m/s	Beginning of the rotation, generation=0
4-6 m/s	Beginning of the generation
Annual average < 5 m/s	Unsuitable site (insufficient energy output)
Annual average = 5-6 m/s	Quite good site (sufficient energy output)
Annual average = 7-9 m/s	Good site
20 m/s	Maximum power
25-30 m/s	No power production
40-50 m/s	Damage danger

**Figura 2.12.** Rangos de funcionamiento de los aerogeneradores.  
Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily [6]*

A parte de estos dos estudios, también es necesario saber cómo funciona el viento a nivel de velocidades ya que como hemos visto en la figura 2.12. a algunas velocidades va a funcionar la turbina, es decir, generar energía, y a otras no. Destacar que el estudio de la velocidad del viento es muy complejo y es necesario llevar a cabo numerosas aproximaciones. En este proyecto se han utilizado distintos modelos de funciones de distribución de probabilidad con la finalidad de establecer una probabilidad para cada uno de los intervalos de velocidad, este estudio está desarrollado con claridad en el proyecto [6]. Destacar que todos estos estudios no resultan de gran interés para este tipo de

proyecto, sin embargo, queremos hacer ver que implementar este tipo de tecnologías no es tan trivial como podemos pensar, sino que, requiere de grandes estudios, debido a que tanto la energía que podemos obtener del sol y del viento nunca son constantes, se trata de variables aleatorias.

Como hemos comentado anteriormente con una serie de estudios se consigue calcular la probabilidad existente para cada una de las velocidades del viento. Gracias a esta función de distribución se calcula en el estudio el número de horas para cada velocidad de viento por año y de ese modo mediante la media de las especificaciones estándar aportadas por fabricantes de distintas turbinas asociar cada velocidad con la energía que puede dar la turbina que se vaya a instalar. Finalmente, esta productibilidad de la turbina fue multiplicada por un factor de corrección igual a 0,9 para tener en cuenta periodos de inactividad debido a mantenimiento. Podemos observar que con este estudio se demuestra que una turbina de tipo estándar va a poder implantarse en esta zona ya que el viento que vamos a tener en Sicilia nos lo permite

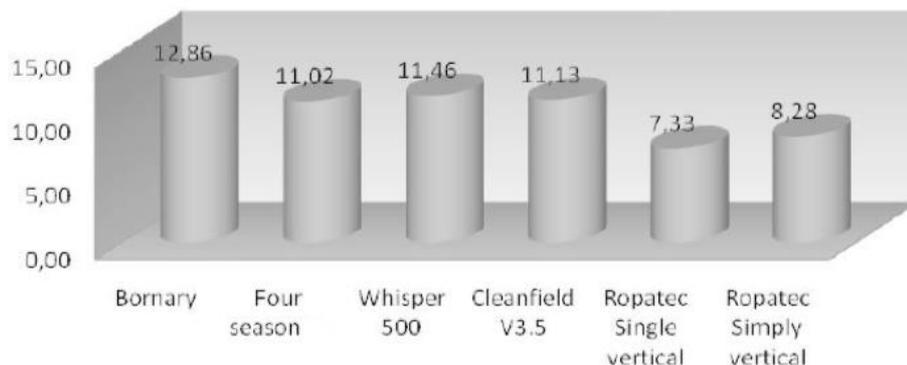
Classes (m/s)	Power (kW)	Absolute frequency (hours/year)	Energy (kWh)	Classes (m/s)	Power (kW)	Absolute frequency (hours/year)	Energy (kWh)
0	0	0	0	6.5	0.65	255.29	165.94
0.5	0	68.25	0	7	0.8	254.55	203.64
1	0	107.10	0	7.5	0.95	252.30	239.68
1.5	0	138.02	0	8	1.1	248.70	273.57
2	0	163.71	0	8.5	1.3	243.92	317.09
2.5	0.05	185.29	9.26	9	1.5	238.10	357.16
3	0.1	203.33	20.33	9.5	1.8	231.40	416.53
3.5	0.15	218.23	32.73	10	2.1	223.96	470.31
4	0.2	230.28	46.06	10.5	2.5	215.90	539.75
4.5	0.3	239.72	71.92	11	2.9	207.35	601.32
5	0.4	246.75	98.70	11.5	3.4	198.43	674.66
5.5	0.45	251.56	113.20	12	3.9	189.24	738.04
6	0.5	254.35	127.18	12.5	4.4	179.88	791.49

Classes (m/s)	Power (kW)	Absolute frequency (hours/year)	Energy (kWh)	Classes (m/s)	Power (kW)	Absolute frequency (hours/year)	Energy (kWh)
13	4.9	170.45	835.19	19.5	5.8	65.83	381.82
13.5	5.4	161.01	869.45	20	5.8	60.14	348.84
14	5.9	151.64	894.69	20.5	5.8	54.83	318.00
14.5	5.9	142.41	840.22	21	5.8	49.87	289.26
15	5.9	133.37	786.86	21.5	5.8	45.27	262.55
15.5	5.85	124.56	728.65	22	5.8	41.00	237.80
16	5.8	116.02	672.91	22.5	5.8	37.06	214.93
16.5	5.8	107.79	625.16	23	5.8	33.42	193.86
17	5.8	99.89	579.33	23.5	5.8	30.09	174.50
17.5	5.8	92.33	535.53	24	5.8	27.03	156.76
18	5.8	85.14	493.84	24.5	5.8	24.23	140.55
18.5	5.8	78.33	454.31	25	5.8	21.68	125.76
19	5.8	71.89	416.97	25.5	0	19.36	0
						Tot. kWh/year	17,886.31
						c.f. xTot kWh/year	16,097.67

**Figura 2.13.** Productibilidad de una turbina estándar.

Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily* [6]

Tras mostrarnos todos estos estudios, que repito son muy complejos, y requieren de más líneas para su correcta y plena explicación [6], pero a su vez importantes para realizar el dimensionamiento de la BTS, es momento de ver qué tipo de turbinas nos pueden servir. Destacar que vamos a tener varios modelos más que válidos para una potencia nominal de 3 kW que van a superar los 10,9 MWh de requerimiento anual calculado que necesita la BTS. De la siguiente turbina podemos observar que la turbina de eje horizontal que produce más energía es el “*Bornary*” mientras que de eje vertical la primera de ellas es el “*Cleanfield V3.5*”.

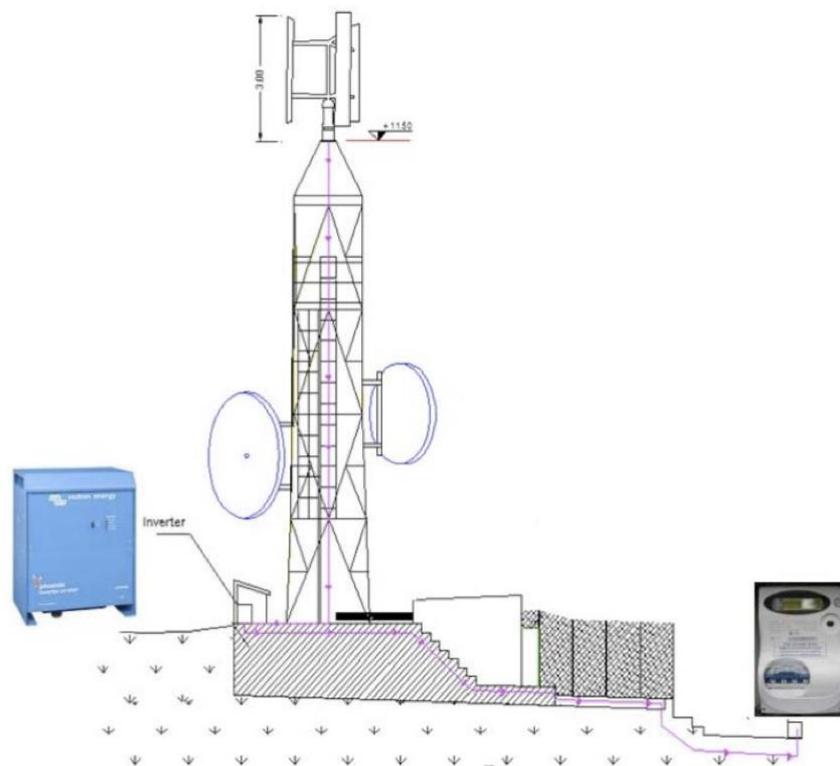


**Figura 2.14.** Comparación de las distintas turbinas, productibilidad.

Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily* [6]

Tras haber realizado los anteriores estudios finalmente se puede llegar a la implementación de la BTS. Una cosa importante a destacar es que, debido a la variabilidad de la velocidad del viento que produce que la turbina tenga distintos niveles de corriente alterna cuya frecuencia y voltaje no son constantes, es necesario utilizar un convertidor electrónico trifásico (inversor), que genere energía eléctrica con una amplitud de tensión nominal de 220 V a una frecuencia de 50 Hz. Por otro lado, este sistema también requiere de un dispositivo de protección que es necesario en caso de fallo o mal funcionamiento en la red de distribución. Este sistema puede desconectar automáticamente la turbina cuando el voltaje o la frecuencia principal se desvían de los valores nominales, como, por ejemplo, un generador diésel.

En las siguientes figuras podemos observar tanto el esquema *layout* de cómo quedaría la implementación de la turbina. En este caso se ha cogido una de eje vertical, en la BTS y el antes y después de una BTS real anteriormente alimentada por un generador diésel y actualmente por dicha turbina de eje vertical.



**Figura 2.15.** Layout de la BTS que se ha realizado en el proyecto.  
*Fuente: Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily [6]*



**Figura 2.16.** BTS antes y después de utilizar una turbina eólica de eje vertical.  
Fuente: *Wind Turbines to Power Telecommunication Systems: A Case Study in Sicily* [6]

### **2.3. Tecnologías ligadas a las telecomunicaciones alimentadas por EERR**

Una vez hemos visto una política evidente en la India del fomento de uso de energías renovables para alimentar estaciones base, así como dos estudios realizados para la alimentación de dos BTS en distintos enclaves, en los que se han comentado estudios muy exhaustivos y técnicos de implementación, es momento de buscar ejemplos de otras aplicaciones referentes al mundo de las telecomunicaciones que van a ser alimentados por energías renovables. Simplemente comentaremos algunos ejemplos de forma rápida sin adentrarnos en complejas especificaciones y teorías. Este apartado tiene una finalidad divulgativa para dar una pequeña perspectiva de que existen múltiples elementos del mundo de las telecomunicaciones que están siendo alimentados por energías “limpias”.

#### **2.3.1. Estaciones meteorológicas**

Un primer ejemplo típico y al que se suele prestar poca atención, es la alimentación de una estación meteorológica mediante un panel solar. Este tipo de alimentación ya está muy arraigado en este mundo de las estaciones meteorológicas. La estación MKIII de Rainwise [7] es un claro ejemplo de estación autosuficiente ya que contiene sensores que son capaces de medir velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, presión atmosférica, punto de rocío y sensación térmica, así como un pluviómetro. Todos estos sensores están alimentados mediante un simple panel fotovoltaico el cuál no debemos instalar ni entender nada sobre él, simplemente deberemos de colocarlo con un determinado ángulo de inclinación en función de la latitud donde nos encontremos, adjuntado en la siguiente figura.

Latitud	Panel Angle (from vertical)
0° - 22.5°	60°
22.5° - 55°	30°
55° - 90°	15°

**Figura 2.17.** Tabla que muestra el ángulo de colocación del panel en función de la latitud.  
Fuente: *Provierto* [7]



**Figura 2.18.** Estructura de la estación meteorológica.  
Fuente: *Provierto* [7]

### **2.3.2. Automóviles inteligentes autosuficientes**

Otro tema muy recurrente hoy en día y que está en continua investigación por varias universidades, empresas automovilísticas, incluso empresas telefónicas (Apple), es la de desarrollar coches inteligentes que sean autónomos gracias a la energía que se obtiene del sol mediante la utilización de paneles fotovoltaicos. Hoy en día no se encuentran en el mercado este tipo de automóviles, pero sí que existen varios modelos que tienen grandes prestaciones. Se puede decir que están cerca de aparecer en el mercado siempre y cuando las políticas y los intereses asociados lo permitan.

Un ejemplo de estos prototipos existentes se trata del coche que lleva por nombre “Dawn”, un proyecto del laboratorio de prototipos de vehículos PROVE Lab de la Universidad Estatal Politécnica de California [8]. Este coche ha sido diseñado para que consiga alcanzar los 100 km/h a través del uso de paneles fotovoltaicos y sin la necesidad de utilizar baterías. En cuanto a características técnicas se puede decir que este prototipo tiene un peso de 200 kilogramos con el conductor en su interior. Está totalmente

alimentado por una matriz de 605 celdas solares para un total de 2,5 kW. Según los científicos este tipo de motor es capaz de aprovechar el 97% de la energía generada.



**Figura 2.19.** Prototipo de coche autosuficiente “Dawn” alimentado por energía solar.  
Fuente: *Xataka [8]*

Sin embargo, nos podemos preguntar qué tiene que ver esto con las telecomunicaciones, en este caso en concreto nada, lo podemos englobar en otros ámbitos de la ingeniería, simplemente se habla de este caso porque es de los más actuales. Sin embargo, otros muchos modelos de coches autosuficientes aún en estudio están, tecnológicamente hablando, más equipados con sensores de todos los tipos, contra golpes, contra obstáculos, sensores de frenada, anti salida de carretera, etc., y todo esto está alimentado por la energía solar. Lo que se debe de dejar claro es que este tipo de coches los vamos a encontrar tarde o temprano, aunque aún necesitan un periodo de estudio, y de mejora, como, por ejemplo, de la eficiencia de los paneles solares que quizás pueda mejorarse con las emergentes tecnologías de 3ª generación, como las perovskitas.



**Figura 2.20.** Interior de coche autosuficiente.  
Fuente: <https://www.coches.net/noticias/sono-sion>

### 2.3.3. Radares de velocidad

Otra aplicación que nos podemos encontrar es la de los radares de tráfico. Cada vez son más los radares que están alimentados por energías 100% limpias. Destacar que es mucho más común ver radares que están alimentados por energía solar que por energía eólica, sin embargo, luego veremos un prototipo de los varios que existen en el que se instalaron radares alimentados con micro turbinas eólicas.

Un simple ejemplo de radar alimentado por energía solar es el modelo “Radar Medidor de Velocidad de Matriz Completa TC-600” [9]. Se trata, simplemente, de un radar disuasorio de velocidad cuyo panel solar tiene una potencia de salida de 40 W. Por otro lado, va a contener también una serie de baterías para periodos de inactividad solar. También requiere de un regulador de carga que gestione el flujo de energía entre el panel, la batería y la carga.



**Figura 2.21.** Estructura de radar disuasorio alimentado por energía solar.  
Fuente: *Radarsign* [9]

Como se ha comentado con anterioridad, la empresa “Indra” implementó, para el Servicio Catalán de Tráfico (SCT, un sistema híbrido de alimentación renovable [10]. Se trató de un modelo pionero en Europa el cual combinaba energía solar y la eólica. Fue utilizado para puntos de difícil geografía donde no llegaba la electricidad. Estaban equipados con un sistema de alimentación híbrido, por un lado, mediante el empleo de la energía eólica con una tradicional turbina eólica y, por otro lado, con energía solar fotovoltaica.

La empresa “Bornay” [11] fue quien suministró la micro turbina eólica, un generador eólico de pequeña potencia denominado el “Bee 800”.



**Figura 2.22.** Aerogenerador Bee 800.  
Fuente: *Bornay [11]*.

### **CAPITULO 3. Soluciones de telecomunicación para las comunicaciones de infraestructuras renovables**

Se llevará a cabo un pequeño estudio sobre la actualidad del marco legal vigente para la monitorización de infraestructuras renovables, así como soluciones para mantener estas infraestructuras monitorizadas a tiempo real.

### **3.1. Introducción**

Hasta este momento se ha hablado sobre la actualidad de las EERR, los porcentajes existentes a nivel mundial con respecto a los otros tipos de obtención de energía, el grado de madurez, etc., así como, de infraestructuras de las telecomunicaciones que cada vez de forma más generalizada se están alimentando por energías renovables, debido a distintos factores, intereses, y de cómo los gobiernos están apoyando estas medidas. No obstante, es momento de dar un pequeño giro a este proyecto y comenzar un nuevo bloque de temas sobre los que informarnos, este no es otro que el de la incidencia que tienen las telecomunicaciones sobre las energías renovables. En este capítulo se realizará un estudio sobre las distintas tecnologías existentes en el mundo de las telecomunicaciones que son utilizadas para mejorar la obtención de estas energías renovables y mantener una comunicación a tiempo real. Cuando nos referimos a mejorar engloba muchos aspectos como pueden ser, la monitorización a tiempo real de complejos como parques eólicos, mejorar la seguridad de estos, incrementar al máximo la eficiencia de las distintas tecnologías existentes para la obtención de la energía, etc.

Desde el punto de vista de grandes parques eólicos o solares, por ejemplo, hoy en día se está llevando a cabo una masiva introducción de sensores que continuamente están vertiendo información sobre una centralita vía inalámbrica o cableada, normalmente con la utilización de fibra óptica, esto está permitiendo que desde una centralita se pueda llevar a cabo la monitorización de los parques a tiempo real, haciendo a estos lugares más seguros, más eficientes, y más transparentes, en cuanto a información se refiere, que en la antigüedad. Aunque solamente se ha mencionado la energía solar y la eólica, la utilización de sensores es muy común en todas estas tecnologías y los encontraremos en todos los lugares de obtención de energía limpia, desde una presa hidráulica hasta una central de energía solar térmica de alta temperatura, siempre es necesario una red de sensores que nos permitan tener información verídica a tiempo real, y por supuesto una red ya sea inalámbrica o cableada para transmitir dicha información a un procesador de datos. Sin embargo, el tema de sensores será comentado en el siguiente capítulo.

Una vez se ha puesto al lector en situación es momento de comentar que en este capítulo en primer lugar se comentará distintas soluciones de telecomunicaciones utilizadas en parques eólicos como puede ser las redes de fibra óptica o soluciones inalámbricas como ZigBee. En segundo lugar, estudiaremos comunicaciones en instalaciones fotovoltaicas. Finalmente se mencionará varios ejemplos que permiten la monitorización de distintas instalaciones.

### **3.2. Comunicaciones en parques eólicos**

#### **3.2.1. Centros de Control de los parques eólicos**

En primer lugar, vamos a hablar sobre las comunicaciones en los parques eólicos ya que en estos lugares debe de existir una buena y fiable red de comunicaciones ya que esta información es enviada en tiempo real en los Centros de Control Eléctricos (Cecoel) a

través del Cece que es la unidad operativa dentro de este centro de control. Este flujo de información continuo está estipulado por ley. Según la ley en 2005, que se estableció por primera vez, y finalmente se ratificó por el RD 413/2014, establece que las instalaciones con una potencia superior a 10 MW deben de estar obligadas a registrarse en un Centro de Control de Generación (CCG) que este a su vez, debe estar autorizado previamente como interlocutor con Red Eléctrica como operador del sistema. El Real Decreto RD 413/2014 estableció que a partir de junio de 2015 este límite de capacidad de potencia se redujera a 5 MW. Por tanto, podemos decir que el Cece se encarga de monitorear y controlar la producción de instalaciones o grupos de instalaciones de generación renovable, de capacidades iguales o superiores a 5 MW.

En la siguiente figura podemos observar un esquema para hacernos una visión global de donde están centrados los centros de control y de cómo se relaciona cada fuente de energía la red eléctrica, el consumidor final y el CCG.



**Figura 3.1.** Esquema de las fuentes de energía que generan la electricidad y un CCG  
Fuente: *acciona.com* [13]

Centrándose más a fondo en los CCG, ya mencionados anteriormente, son centros que tienen suficiente capacidad de control, comando y monitoreo para actuar como agregadores de información, y que están autorizados como interlocutores, deben de proporcionar al Cece información en tiempo real cada aproximadamente 12 segundos sobre cada una de las instalaciones mediante telemetría a tiempo real con respecto al estado de la conexión, la producción de potencia activa y reactiva, así como la tensión en el punto de conexión, entre otros. Toda esta información es recogida por el sistema de control de Red Eléctrica de España haciéndola accesible a los operadores de Cece las 24 horas del día, permitiendo de este modo un análisis en tiempo real del escenario actual a realizar, previendo así las medidas operativas necesarias para que el sistema permanezca en un estado seguro y se emita, si se detectan situaciones inaceptables en el sistema, órdenes a instalaciones de generación renovable no manejable que limitan su producción.

Como conclusión, por tanto, podemos decir que el Cetre posibilita una mayor integración de las energías renovables con la Red Eléctrica, reduciéndose así la cantidad en emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y permitiendo cubrir la demanda mediante el uso de energías renovables variables, sin poner en riesgo la seguridad y calidad del suministro.

Antes de proseguir es necesario destacar que los CCG no solo deben tener suficiente capacidad de control, comando y monitoreo en las estaciones de generación que gestiona, como se ha comentado anteriormente, sino que también deben tener una conexión adecuada con el centro de control de Red Eléctrica. Adicionalmente, deben contar con una fuerza de trabajo con la capacitación adecuada para garantizar una comunicación segura con Red Eléctrica y garantizar el funcionamiento del centro las 24 horas del día, los 365 días del año. Por ello es necesario cumplir los requisitos y obligaciones de los centros de control de generación establecidos actualmente en el artículo 7 del RD 413/2014 y en los procedimientos operativos P.O. 8.2 y P.O. 9. Por un lado, el RD 413/2014 establece los requisitos necesarios para obtener la autorización de Red Eléctrica para poner en servicio una instalación de generación, y para su posterior registro en el Registro Gubernamental de Estaciones de Generación de Energía de Régimen Especial. Por otro lado, el procedimiento operativo P.O. 3.2 establece los criterios para la generación de programación en general y el P.O. 3.7 establece criterios adicionales para programar la generación renovable no manejable. Para una información más exhausta es recomendable visitar la página REE.es en ella se puede encontrar el RD 413/2014, el P.O. 8.2. y el P.O. 9. Explicados con detenimiento [12].

### **3.2.2. Ejemplo de Centros de Control de los parques eólicos y más tecnologías**

Cambiando de tercio, un ejemplo claro de centro de control lo podemos encontrar en la Comunidad Foral de Navarra, estamos hablando del Centro de Control de Energías Renovables de ACCIONA ENERGÍA (CECOER), se trata de unos de los mayores centros de control de energías renovables del mundo. Este centro supervisa en tiempo real el funcionamiento de instalaciones de energías renovables que suman 13,689 MW, gestionando datos procedentes de más de 400 instalaciones eólicas, hidroeléctricas, fotovoltaicas y termosolares que aparte de pertenecer muchas de ellas a ACCIONA, algunos serán propiedad de terceros. Dicho centro también constara de dos delegaciones, una en Ciudad de México y la otra en Chicago, esto se debe a que no solo trabaja como centro de control en España, sino que todos los parques que gestiona están distribuidos alrededor del mundo, en concreto alrededor de 19 países de los cinco continentes.

El CECOER registra más de 500.000 incidencias al año relativas al funcionamiento de las instalaciones controladas, de las cuales se solucionan en remoto más del 60%, y el resto se resuelven en coordinación con los servicios de mantenimiento que se encuentran en los propios parques. Como ya se ha comentado anteriormente con carácter general la labor del CECOER incide directamente en lograr altas tasas de disponibilidad de las instalaciones que opera el centro de control y también bajas tasas de desvío entre la producción real y la previamente programada y comunicada al operador del sistema eléctrico. El CECOER está atendido por un cualificado equipo de 80 personas, que permiten su funcionamiento durante 24 horas al día, 365 días al año. Las principales funciones que desarrolla este centro de control son las siguientes:

- Supervisión y control en tiempo real del funcionamiento de instalaciones de generación eléctrica que pueden proceder de parques eólicos, de centrales hidroeléctricas, de la biomasa, de parques de paneles fotovoltaicos y finalmente de centrales termosolares.
- Operación de incidencias, se encarga de detectar de inmediato las incidencias que se produzcan en cualquier instalación, agilizando la correspondiente corrección, por vía remota o con una actuación sobre el terreno.
- Gestión de energía eléctrica: a partir de modelos propios de predicción, el centro envía al operador del sistema (Red Eléctrica de España) miles de programaciones de producción del año.
- Realizar una interacción con el Operador del Sistema (OS). El CECOER se encarga de enviar al operador del sistema, la Red Eléctrica de España, datos en tiempo real de cada instalación de generación, lo que permite a éste calcular la producción eléctrica integrable y maximizar la penetración de las energías renovables del sistema. Gracias a esta comunicación la REE puede exigir en tiempo real acciones a los parques de energía renovables. Por poner un ejemplo, si hay un exceso de electricidad en la red la REE puede pedir al centro de control que ciertos parques eólicos reduzcan la producción de electricidad.
- Registro de datos, análisis y demás. Se encarga de registrar y analizar la información operativa con la finalidad de optimizar la eficiencia de las instalaciones. También se encarga de operar en las subestaciones y líneas de alta tensión garantizando la evacuación de la energía.

En la siguiente figura podemos observar como es este centro de control por dentro.



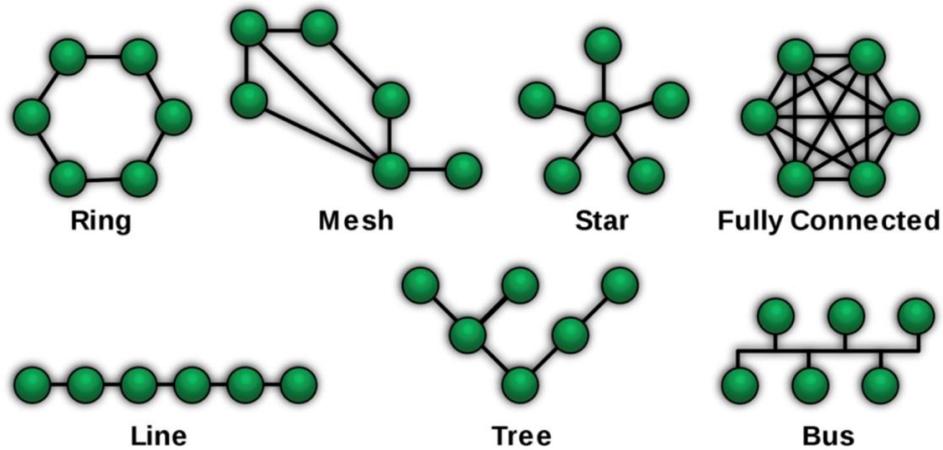
**Figura 3.2.** Esquema de las fuentes de energía que generan la electricidad y un CCG  
Fuente: *acciona.com* [14]

Para obtener una información más exhaustiva se puede visitar la página oficial de acciona donde se explica aún con más detenimiento el funcionamiento de este centro de control [14].

### **3.2.3. Redes de comunicación mediante fibra óptica**

Un aspecto muy importante a tener en cuenta sobre este tema es que para que se pueda llevar a cabo una monitorización a tiempo real de los parques eólicos mediante sus correspondientes centros de control de generación es necesario la utilización de numerosos sensores repartidos a lo largo del parque eólico y sobre todo en los aerogeneradores. Para después transmitir esta información hasta las centralitas de los parques y posteriormente a los centros de control es necesario que existan redes de comunicación fiables, suficientemente rápidas, y suficientemente dimensionadas para poder albergar dicho flujo de transmisión de manera eficiente. Aquí es donde entran en juego las redes de comunicación de fibra óptica. Sin embargo, también, existen otros formatos de redes de comunicación como puede ser ZigBee, que realiza la transmisión de datos de forma inalámbrica (en el siguiente apartado estudiaremos algún ejemplo de aplicación). Ahora es momento de hablar sobre algunos ejemplos de aplicación de redes de fibra óptica en parques eólicos.

Antes de entrar a comentar algunos ejemplos de aplicación parece necesario explicar los distintos tipos de distribución de redes que nos podemos encontrar hoy en día. A simple vista parece que esto no está relacionado con lo el hilo del tema, sin embargo, un correcto dimensionamiento en la distribución resulta imprescindible. Existen distintas topologías de red como pueden ser la topología en malla, estrella, árbol, bus y anillo. En la antigüedad lo más habitual era la de utilizar la topología en bus o lineal, pero este tipo de topologías resultan bastante ineficientes en caso de producirse algún tipo de error o fallo. Por ejemplo, en la topología bus, si por un motivo cualquiera se viene abajo la fibra central a la que se van conectando todos los nodos, el sistema ya no funcionará: una gran mayoría de los nodos, dependiendo de la posición donde se produzca el fallo, no podrán transmitir la información. En la topología de línea aún es más restrictivo: en caso de fallo de un solo nodo toda la información de los nodos que le preceden (incluido este) no podrá ser enviada y se perderá. Estamos viendo dos ejemplos de topología que no eran altamente fiables contra los fallos y debido a que la monitorización de los parques eólicos no puede fallar en ningún momento se han ido implantando distintas topologías como la de anillo o doble anillo. La topología de anillo ya es bastante más fiable ya que en caso de que falle un nodo siempre existirá otro camino para llegar a la centralita. Esta fiabilidad puede aumentarse aún más en caso de utilizar doble anillo. Por otro lado, tenemos topologías estrella y *fully connected*; sin embargo, este tipo de topologías resultan muy caras ya que es necesario “tirar” mucho cable. Por tanto, hoy en día para realizar el dimensionamiento de las redes de comunicación lo habitual es utilizar una topología en anillo ya que tiene un alto grado de fiabilidad contra errores. Sin embargo, hay que destacar que cada proyecto es un mundo y nos podemos encontrar con redes que tienen distintas topologías a las de anillo ya que cada red tiene sus necesidades y objetivos.



**Figura 3.2.** Diferentes tipos de topología de red.

Fuente: <http://culturacion.com/topologia-de-red-malla-estrella-arbol-bus-y-anillo/>

### 3.2.4. Ejemplo de proyecto real de las funciones que se pueden monitorizar gracias a una red de comunicaciones óptica

Una vez mencionado los tipos de redes que podemos encontrarnos es momento de hablar de algunos ejemplos de aplicación. En el siguiente apartado hablaremos sobre las aplicaciones que se pueden llegar a obtener en el proceso de monitorización de un proyecto de este tipo.

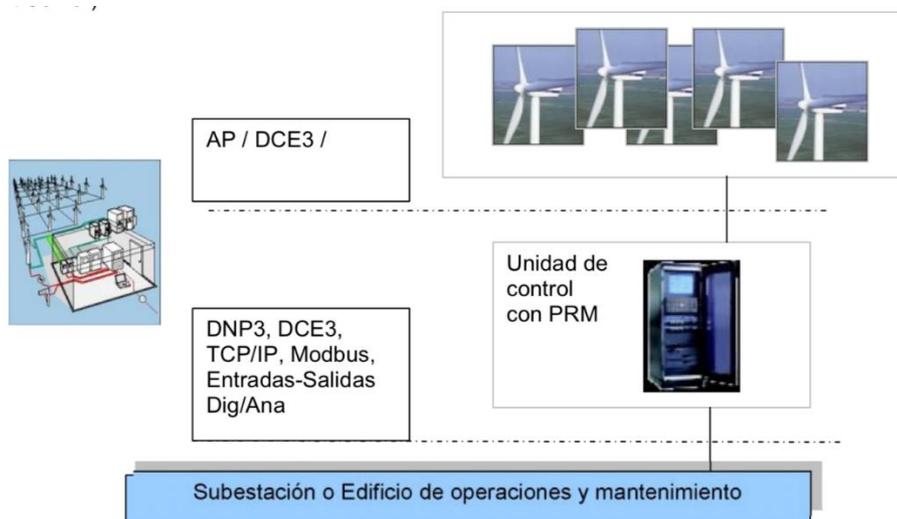
Un primer proyecto que podemos mencionar se trata de la instalación de una red de comunicación en el parque eólico ‘La Yesca Baja’, en Tenerife. Aunque este proyecto data ya de hace unos 10 años, es un claro ejemplo de aplicación del cual debemos hablar. Destacar que a pesar de tener varios años ya en su día todos los sensores que monitorizaban el parque nos daban información suficiente como, por ejemplo, el estado de funcionamiento de los aerogeneradores, las temperaturas de todo el aerogenerador, los contadores de producción, etc. También debemos destacar que cada aerogenerador posee una estación meteorológica que aporta información adicional a tiempo real como la presión, la temperatura ambiente, la velocidad y dirección del viento, entre otros. Gracias a la información de estos sensores y a la red de comunicación de fibra óptica, el centro de control del parque puede realizar una monitorización de datos en línea, puede realizar un control sobre el aerogenerador y realizar presentación de informes. Antes de proseguir se debe comentar que el encargado del sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) es VestasOnline Business. Esta empresa realiza tres funciones determinantes:

- Cliente VestasOnline Business. La aplicación cliente de VestasOnline Business es la interfaz de usuario que el operador utiliza para visualizar datos inmediatos, así como para acceder a los datos recogidos de todas las unidades del parque eólico y procesarlos; también sirve para visualizar datos instantáneos desde las unidades. Dicha aplicación funciona con un

sistema de comunicaciones a través de una red local, una red de área extensa (WAN) o por conexión vía módem.

- Servidor VestasOnline Business. El servidor VestasOnline Business gestiona todos los datos que se generan continuamente en las unidades del parque eólico. Los datos recogidos se almacenan en una base de datos central y se utilizan para la gestión y la operación del parque eólico.
- Red de comunicaciones del parque eólico. La red gestiona y ejecuta la comunicación entre el sistema de comunicación y las unidades del parque eólico.

Entre todas las funciones de monitorización de las que podemos hablar detenidamente, en este proyecto nos vamos a centrar en el hecho de poder controlar la producción de una central de energía desde un centro de control. Si el lector desea observar más funciones detalladas puede visitar el documento del proyecto donde salen detalladas de manera clara y concisa [15]. El *Power Plant Control* (PRM – control de la central de energía) se encarga de controlar la producción de una central de energía tal y como se define en los ajustes, que pueden ser de naturaleza estática o dinámica. La siguiente figura muestra la posición del PRM en la central. Destacar que este PRM está situado en el Servidor del Parque Eólico (PPS – *Power Plant Server*).



**Figura 3.4.** Esquema de la red de comunicación.  
Fuente: *Gobierno de Canarias [15]*.

El objetivo principal del PRM es mantener la producción solicitada de la central lo más próxima a este ajuste como sea posible. La producción se controla o bien a base de enviar puntos de ajuste al aerogenerador, o bien con otros equipos que pueden contribuir al mantenimiento de la producción. El método básico para mantener la producción se lleva

a cabo a través de un controlador de realimentación. El controlador de realimentación se encarga de comparar la producción real con la producción solicitada y da instrucciones a las unidades controlables mediante nuevos puntos de ajuste independientes por cada unidad. Esta unidad de control tiene la capacidad controlar la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia. En el caso de la potencia activa, la información se envía a los aerogeneradores con una petición de giro de pala, o bien diciéndoles que entren en el estado de pausa o de marcha. Es controlable tanto si los aerogeneradores deberían pararse o girar, o ambas cosas, lo cual implica que recibirán una señal de pausa si la referencia solicitada no puede alcanzarse y los aerogeneradores han llegado a su punto de ajuste mínimo. Se solicitará a los aerogeneradores que se vuelvan a poner en marcha cuando el bucle considere que el aerogenerador puede hacerlo y que aún puede cumplir con la referencia. En el caso del control reactivo, el PRM puede enviar solicitudes a los aerogeneradores, si tienen la posibilidad de cumplir con las solicitudes, o a otros equipos de compensación.

Finalmente hay que destacar que este PRM comparte información con el equipo externo usando servidores OPC (OLE for Process Control). Siempre que haya un servidor OPC instalado, el PRM podrá comunicarse con el dispositivo. Los servidores OPC compatibles para esta unidad son el Modbus, AP, DCE3, DNP3, E/S.

### **3.2.5. Desarrollo de un sistema de monitorización utilizando fibra óptica**

Por otro lado, ahora es momento de hablar sobre un ejemplo de aplicación donde se utiliza una red de fibra óptica para realizar un sistema de comunicación y monitorización que permita la adecuada operación de tres turbinas eólicas, y dos generadores de biomasa. Este proyecto ha sido realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, Argentina. Esta mini central de generación tenía previsto abastecer a todo el campus universitario totalizando 1,5 MW instalados. El principal objetivo por parte de la Universidad era realizar un análisis y un desarrollo adecuado de un sistema de control y telemetría, SCADA. También se diseñó la correspondiente topología de todos los dispositivos a utilizar, desde el PLC (Controlador Lógico Programable), sensores, actuadores y software de visualización de variables de proceso. De esta manera se esperaba realizar un diseño óptimo, seleccionando dispositivos industriales existentes en el mercado, mostrando una estimación económica para la implementación del sistema de control y telemetría para dar una visión de los precios que rondan este tipo de instalaciones.

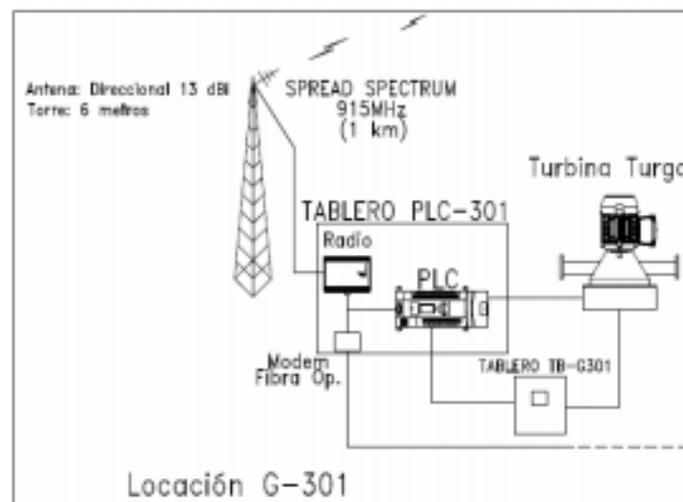
Una vez se ha explicado de manera resumida el objetivo de este proyecto es momento de entrar en materia. Antes de proseguir es necesario aclarar que no nos encontramos ante un parque eólico en el sentido estricto de la palabra. Sin embargo, una vez nos hemos informado el sistema de comunicación que se ha creado en este proyecto, éste es perfectamente aplicable a un parque eólico, a mayor escala. En este proyecto se decidió utilizar las turbinas eólicas del tipo “Darrieus Troposkien”, una de ellas con una potencia de 5 kW y la otra de 150 kW. Por otro lado, se utilizó una turbina hidráulica de eje vertical de tipo “Turgo”, de 3 a 5 kW. Para finalizar en este sistema de generación de energía se utiliza un generador de biomasa y otro de biodiesel con vistas a posibles errores o periodos donde no se genere suficiente energía con las alternativas renovables. En definitiva, el sistema contará con los siguientes componentes que se pueden observar en la figura, con su correspondiente red de fibra óptica.

Elemento	Cantidad
Turbinas "Darrius Troposkien"	2
Turbina Turgo	1
Generador por Biomasa	1
Generador por Biodiesel	1
Central Meteorológica	1
Sala de Supervision	1
Sala de Supervision y Control	1

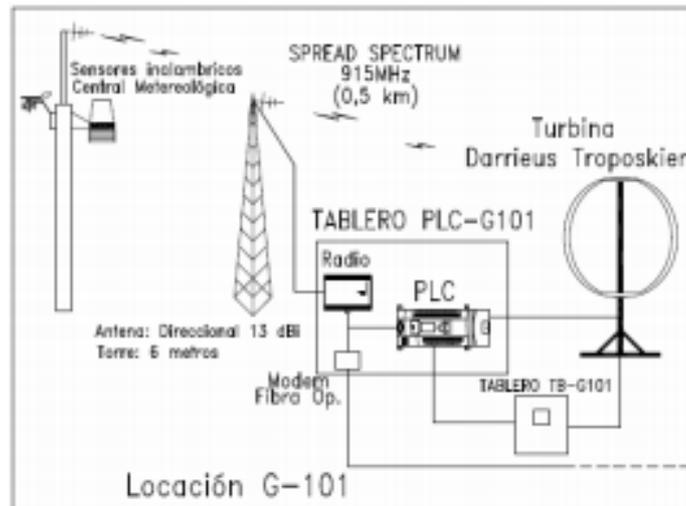
**Figura 3.4.** Componentes que conforman la red de comunicaciones  
Fuente: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].

Una vez mencionados los componentes que integran la red de comunicación, es momento de hablar sobre el sistema de telemetría y control. En primer lugar, antes de proseguir, debemos destacar que este sistema a parte de la red de fibra óptica tiene otra red en vistas a momentos en que la red cableada no funcione, es decir, una red de emergencia que en este caso será de tipo inalámbrica.

Las turbinas tipo Darrius y Turgo se conectan a este doble sistema de F.O (Fibra Óptica) e inalámbrico como se indica en las siguientes figuras. En las figuras 3.5. y 3.6. observamos la red integrada por la F.O. Se puede apreciar como la turbinas, tanto la Turgo como la Darrius Troposkien, están conectadas con la fibra con los PLC's, es decir, los sensores colocados en las turbinas envían los datos por esta vía hasta el PLC. Tras ello este PLC establece una comunicación con el SCADA mediante la misma vía, la F.O., y este centro de control ya se encarga de procesar todos los datos pertinentes y de enviar los datos y las órdenes oportunas tras realizar el correspondiente procesado. Los datos enviados por parte del PLC al SCADA son mandados utilizando el protocolo RS232, es decir, sin la utilización de módems [16]. Sin embargo, este centro de control del parque enviará los datos al correspondiente centro de control vía inalámbrica utilizando el protocolo TCP [18].

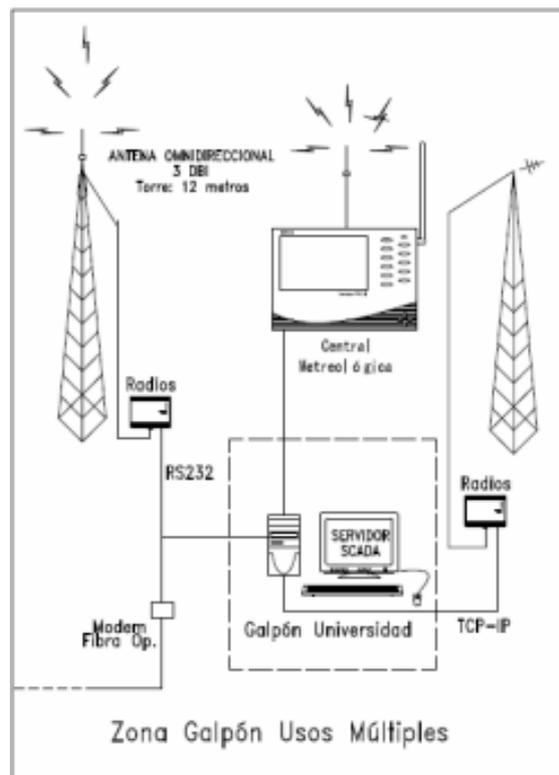


**Figura 3.5.** Esquema de la red de comunicación para la turbina Turgo.  
Fuente: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].



**Figura 3.6.** Esquema de la red de comunicación para la turbina Darrieus Troposkien.  
Fuente: *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].*

En caso de que este sistema de fibra óptica tenga errores en momentos determinados, como ya se ha comentado anteriormente, se diseñó un sistema de comunicación alternativo con un sistema de radioenlaces. En la siguiente figura se puede observar un pequeño esquema. No entraremos en más profundidad sobre protocolos y demás, simplemente se quiere dar una visión generalizada de este sistema con errores.



**Figura 3.7.** Esquema de la red de comunicación inalámbrica de emergencia.  
Fuente: *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].*

Las principales variables que va a monitorizar este sistema en las turbinas serán las siguientes.

Por parte de la turbina “Darrieus Troposkien”:

- Voltaje y corriente en bornes de generador
- Corriente de salida del generador
- Factor de potencia
- Velocidad del generador
- Temperatura cojinete superior e inferior y multiplicadores

Por parte de la turbina “Turgo”:

- Voltaje y corriente en Bornes de Generador
- Corriente de salida del generador
- Factor de potencia
- Caudal de entrada y de salida
- Temperatura generador

En función del estado de los componentes del sistema, en este caso las turbinas, se desarrollarán las estrategias de control para mantener el sistema generando energía dentro de los límites de seguridad de la planta, así como la posibilidad de realizar un paro de emergencia de la/s turbina/s, con la activación total o no de los frenos aerodinámicos, y freno a disco. Para esta tarea se implementan dichas estrategias mediante el diseño de un sistema de control con un PLC en cada turbina y el sistema SCADA, que ya hemos mencionado con anterioridad.

Sin más dilación, una vez explicado el funcionamiento del sistema de comunicación, es momento de dar una visión de manera global de los costes que tiene realizar un proyecto de esta clase. Los costes que se van a ver a continuación son estimados y corresponden solo a los materiales, pudiendo cambiar de acuerdo a la marca y fabricantes de los dispositivos a utilizar. A estos componentes habría que sumarles gastos añadidos como por ejemplo los metros de cable de F.O. Por un lado, en la figura 3.8. observamos los costes de monitorizar las turbinas.

G-101 Turbina DT			G-301 Turbina Turgo		
	Costo	Cantidad		Costo	Cantidad
PLC + Módulos	USD 2.000,00	1	PLC + Módulos	USD 2.000,00	1
Radio	USD 2.500,00	1	Radio	USD 2.500,00	1
Modem Fibra Óptica	USD 1.500,00	1	Modem Fibra Óptica	USD 1.500,00	1
Torre 12mts + antena	USD 1.000,00	1	Torre 12mts + antena	USD 1.000,00	1
Tablero PLC	USD 1.000,00	1	Tablero PLC	USD 1.000,00	1
Tablero Eléctrico	USD 2.000,00	1	Tablero Eléctrico	USD 2.000,00	1
Multímetro Digital	USD 400,00	1	Multímetro Digital	USD 400,00	1
Sensor de vibración	USD 300,00	1	Sensor de vibración	USD 300,00	1
Sensor Velocidad	USD 600,00	1	Sensor Velocidad	USD 600,00	1
Transductor de Temperatura	USD 300,00	4	Transductor de Temperatura	USD 300,00	2
Actuador Freno aerodinámico	USD 600,00	2	Sensor de Nivel de reservorio	USD 1.100,00	1
Actuador Freno a Disco	USD 500,00	1	Caudalímetro	USD 1.200,00	2
Panel Solar	USD 200,00	2	Válvula de bloqueo	USD 1.000,00	2
Fuente Reguladora	USD 200,00	1	Panel Solar	USD 200,00	2
Baterías Backup	USD 100,00	2	Fuente Reguladora	USD 200,00	1
			Baterías Backup	USD 100,00	2

**Figura 3.8.** Coste de los componentes que monitorizan las turbinas.

Fuente: *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].*

Sala Supervisión y Control		
	Costo	Cantidad
Computadora de Escritorio	USD 1.000,00	1
UPS	USD 400,00	1
Servidor SCADA	USD 3.500,00	1
Driver Modbus	USD 3.000,00	1
Ciente SCADA p/Visualización	USD 2.500,00	1
Mobiliario	USD 800,00	1
Radio	USD 2.500,00	2
Torre 12mts + antena	USD 1.000,00	1
Sala Supervisión Secundaria		
	Costo	Cantidad
Computadora de Escritorio	USD 1.000,00	1
UPS	USD 400,00	1
Ciente SCADA p/Visualización	USD 2.500,00	1
Radio	USD 2.500,00	2
Torre 12mts + antena	USD 1.000,00	1
Central Meteorológica		
	Costo	Cantidad
Central Vantage PRO 2 (Davis) Sensores Inalámbricos+ MOD232	USD 4.200,00	1

**Figura 3.9.** Coste de los componentes que componen el resto de red.  
Fuente: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue [17].

Teniendo en cuenta estos valores y suponiendo la instalación de dos Turbinas Darrieus y una Turbina Turgo, el costo estimado de materiales asciende a unos USD80.000, que al cambio serían alrededor de 70.000 euros. Recalcar de nuevo que aquí faltaría introducir gastos adicionales como la F.O. que dependiendo del tipo es necesario tenerla muy en cuenta a la hora de realizar un presupuesto.

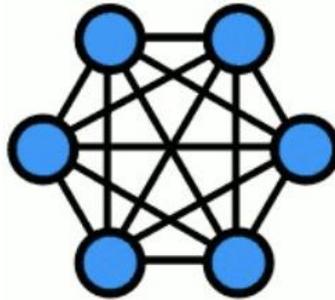
### 3.2.6. Comentarios a destacar en redes de comunicación con F.O.

Una vez finalizado la exposición de varios ejemplos de sistemas que utilizan F.O. y de las topologías de redes de comunicación que existen es recomendable acudir a alguna fuente de información y observar los tipos de cables de fibra óptica que son utilizados en este tipo de infraestructuras. Por ello en la siguiente referencia se puede acceder a una página web de una empresa dedicada a la realización de esta clase de proyectos donde explica detalladamente los distintos cables utilizados para cada función dentro de un parque eólico [19].

### 3.2.7. Red de comunicación utilizando ZigBee

Como ya se ha visto anteriormente, no solo este tipo de redes de comunicación se realiza con fibra óptica, sino que existen otras variantes como las comunicaciones inalámbricas. Aquí es donde entra el papel por ejemplo de protocolos como ZigBee. ZigBee da nombre a una especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para permitir la comunicación por radiodifusión digital de bajo consumo, conocido vulgarmente como inalámbrica. Este protocolo está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN) y su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y

maximización de la vida útil de sus baterías. Una información más detallada de esta especificación puede encontrarse en la siguiente referencia [20]. Antes de seguir debemos de destacar que se trata de una red altamente protegida contra fallos del sistema ya que la topología que utiliza ZigBee es de tipo malla, es decir, todos los nodos están conectados entre sí por lo que siempre existirán varios caminos por los que la información puede viajar desde el emisor hasta el receptor.



**Figura 3.10.** Esquema de una topología tipo malla.

Fuente: [https://moodle2017-18.ua.es/moodle/pluginfile.php/39723/mod\\_resource/content/7/conexiones/page\\_08.htm](https://moodle2017-18.ua.es/moodle/pluginfile.php/39723/mod_resource/content/7/conexiones/page_08.htm)

### **3.2.8. Ejemplo de sistema que se apoya en el protocolo ZigBee**

En este apartado vamos a hablar sobre la ventajas y funcionalidad que tiene el sistema iMod, un sistema comercial [39] el cual realiza una transferencia de datos de manera inalámbrica.

Una aplicación que relaciona los parques eólicos y el protocolo ZigBee es el ordenador industrial iMod. Con este ordenador y utilizando el protocolo previamente mencionado se puede realizar una supervisión y control de aerogeneradores y de los parques eólicos. Este sistema de monitorización permite recoger, almacenar y enviar datos como la eficiencia de los aerogeneradores y los parámetros de funcionamiento, entre otros. Estos datos al igual que en las redes de fibra, se pueden observar en tiempo real por el centro de control ya que estos datos se transfieren por radiofrecuencia por radiomódems externos o directamente mediante el módem GPRS/3G integrado por el propio ordenador.

El ordenador iMod que integra ZigBee tiene muchas ventajas frente a sus competidores directos y es momento de mencionar algunas de ellas. Este protocolo es perfecto para utilizarlo en parques eólicos donde exista un gran número de aerogeneradores ya que este tipo de redes poseen un consumo ínfimo y permite enviar información a largas distancias sin “tirar” ningún tipo de cable, lo que se traduce en ahorro de dinero. Se debe destacar que la topología de la red ZigBee al ser de tipo malla cada unidad iMod con un módem ZigBee integrado funciona como receptor y transmisor que envía información al resto de módems o nodos, así como a un punto central del sistema. Otra de las ventajas de la utilización de este protocolo con el iMod es que la base de datos SQL y el servidor Apache integrado permiten la creación de páginas web dedicadas, por otro lado, gracias a la tecnología de transmisión de datos 3G y al protocolo TCP/IP, el administrador del sistema puede controlar en tiempo real todos los parámetros del aerogenerador a través de una página web. En resumidas cuentas, el servicio iModCloud permite controlar los dispositivos a través de internet. También se debe mencionar que esta transmisión de datos es muy segura ya que se basa en las VPN [21].

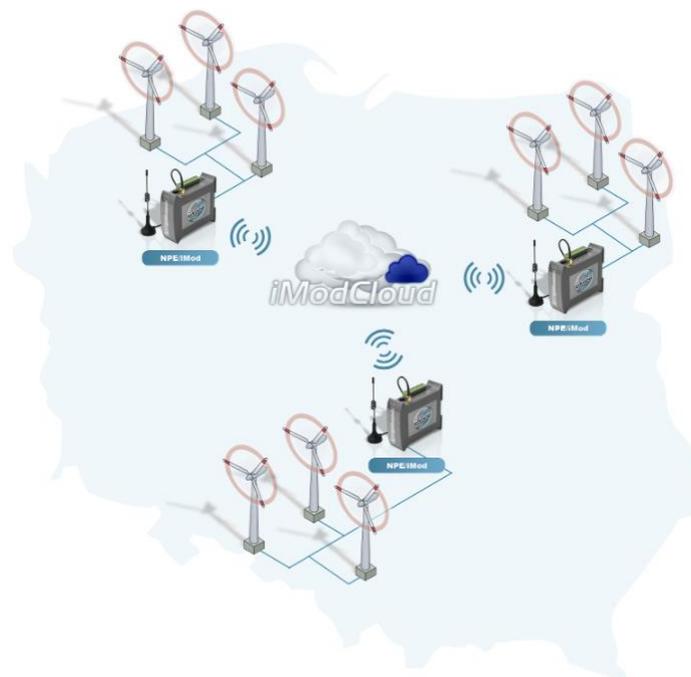
Con el iModCloud se puede controlar cualquier número de dispositivos distribuidos en una zona como si fueran una sola red. Por esa razón se pueden cambiar los parámetros de funcionamiento de todos los aerogeneradores con un simple clic, por ejemplo, se pueden desconectar si se excede la máxima velocidad de viento permitida. Se puede hacer con cualquier dispositivo con conexión a Internet, por ejemplo, un Smartphone o una tableta.

El iMod puede optimizar el funcionamiento de todo el sistema de aerogeneradores, basándose en el análisis de datos para maximizar el rendimiento. Por ejemplo, podría controlar el mecanismo responsable de la orientación y el ajuste del ángulo adecuado del rotor/palas del aerogenerador según la dirección del viento. Se podría implementar la lógica mediante la funcionalidad de PLC y de sensores adecuadamente seleccionados, conectados al módulo iMod. Esto aumenta el rendimiento y la eficiencia eléctrica del aerogenerador.

Otra función importante es el informe de errores y la localización de los lugares donde se producen los fallos, particularmente en los grandes parques eólicos. El módulo GPS integrado permite enviar alarmas con la situación exacta del error. Se pueden enviar alarmas a destinatarios predefinidos vía SMS o email. Esta solución reduce el tiempo necesario para restaurar el adecuado funcionamiento del sistema.

Para finalizar una última función es que pueden predecir muchos factores que reducen el rendimiento, lo cual ayuda a reducir la pérdida de eficiencia, por tanto, podemos concluir que el módulo iMod optimiza el coste y aumenta el rendimiento de los aerogeneradores.

En la siguiente figura se puede observar un pequeño esquema de lo que viene siendo la red de comunicación entre los distintos módems (nodos) y el ordenador central donde almacena los datos en la base datos.



**Figura 3.11.** Esquema de una red de comunicación integrada por módems iMod.  
Fuente: *Techbase.eu* [22].

### **3.3. Comunicaciones en instalaciones fotovoltaicas**

#### **3.3.1. Inversor en instalaciones fotovoltaicas**

Una vez se ha hablado de las redes de comunicación y de algunos ejemplos existentes en los parques eólicos, es momento de explicar los componentes utilizados para realizar una monitorización en instalaciones fotovoltaicas. En primer lugar, debemos mencionar que las redes de comunicación que se puedan establecer en una instalación fotovoltaica van a ser más sencillas que la que se instale en un parque eólico, ya que este requiere de mayor seguridad, porque pueden producirse deformaciones estructurales y la caída de aerogeneradores debido a condiciones climatológicas adversas, y de mayor monitorización para mejorar la eficiencia en la generación de la energía.

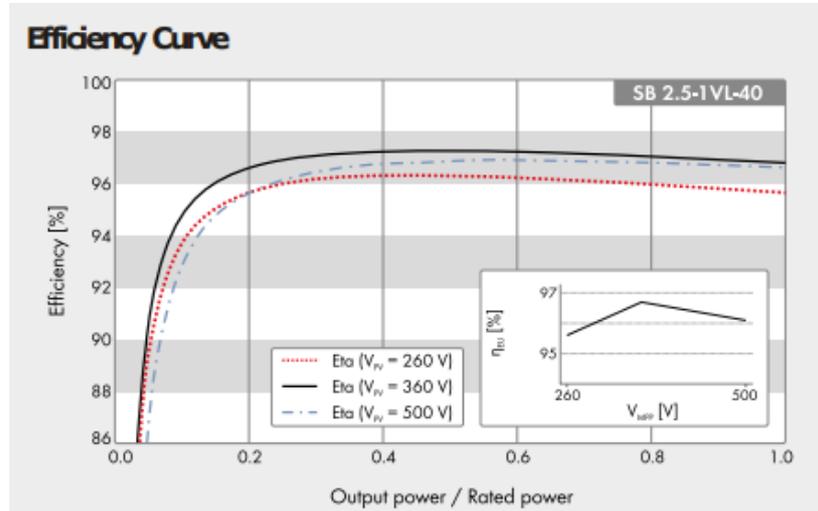
En este apartado solamente nos vamos a centrar en un componente de monitorización dentro las instalaciones fotovoltaicas. Un inversor tradicionalmente ha tenido una función principal: convertir la corriente continua DC, que es la que tenemos a la salida de un módulo fotovoltaico cualquiera, a corriente alterna AC. La gran mayoría de las instalaciones utilizan este componente tanto para uso particular/doméstico como para instalaciones conectadas a la red. En este último caso es necesario que la calidad de la onda generada sea muy alta, es decir, que el inversor sea de alta calidad y nos pueda generar una onda sinusoidal pura.

No obstante, un inversor no tiene esta única función de convertir ondas de DC (corriente continua) a AC (corriente alterna) sino que va a ser el encargado de realizar más tareas, en particular para una instalación que esté conectada a la red. Algunas de estas tareas serán las siguientes:

- Conseguir una alta eficiencia, mayor o igual del 95%, para un amplio rango de potencias de trabajo.
- Inyectar la corriente de manera síncrona con la frecuencia de red.
- Realizar un seguimiento del punto de trabajo óptimo, punto de máxima potencia.
- Monitorizar la red para evitar una posible situación de trabajo de trabajo de la instalación FV aislada de la red.
- Implementaciones de medidas de protección eléctrica
- Gestión de los datos de la instalación para su monitorización a través de la interfaz.

Tras haber explicado las distintas funciones que puede realizar un inversor, resulta muy importante explicar el concepto de eficiencia. La eficiencia de un inversor resulta ser un parámetro imprescindible, ya que es clave convertir el máximo de energía que genera el conjunto de paneles fotovoltaicos. La eficiencia en un inversor es definida como la potencia alterna de salida dividida entre la potencia continua de entrada. Esta relación ha de ser máxima, siendo hoy en día común conseguir eficiencias superiores al 95%. Normalmente en las hojas de características del fabricante (refiriéndonos al inversor) se incluye una curva de eficiencia. Destacar que esta eficiencia depende de la potencia generada y de la tensión de trabajo. En la siguiente figura podemos ver la curva de

eficiencia en un inversor, se puede apreciar como la eficiencia es menor a potencias bajas, a medida que va aumentando esta potencia va creciendo la eficiencia hasta alcanzar un pico máximo y a partir de ese punto va disminuyendo suavemente a medida que aumentan la potencia de trabajo.

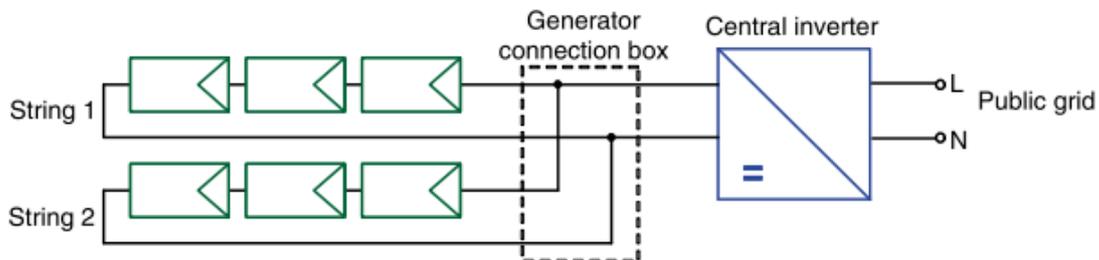


**Figura 3.12.** Ejemplo de curva de eficiencia para el inversor SMA Sunny Boy.  
Fuente: Universidad de Cantabria. Apuntes de Energía y Telecomunicaciones. Jesús María Mirapeix. [40]

Otro aspecto a destacar es las distintas configuraciones que se pueden llevar a cabo a la hora de diseñar y dimensionar un sistema FV.

Las topologías más comunes a emplear son los siguientes:

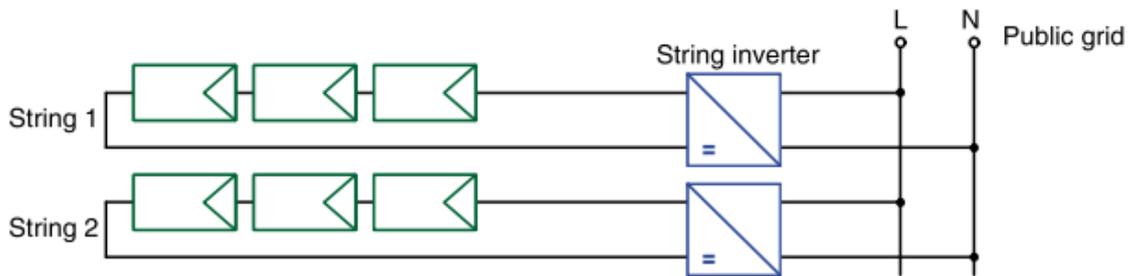
- Inversor central: Una instalación con varios módulos distribuidos en varias cadenas. El inversor central se emplea de manera única para gestionar diferentes cadenas. Una de las ventajas es que sólo se necesita un inversor, sin embargo, una desventaja es que, si una de las cadenas recibe por ejemplo sombreado, implicará pérdidas en todo el generador al encontrarse las cadenas dispuestas en paralelo.



**Figura 3.13.** Representación esquemática de la configuración de inversor central.  
Fuente: Universidad de Cantabria. Apuntes de Energía y Telecomunicaciones. Jesús María Mirapeix. [40]

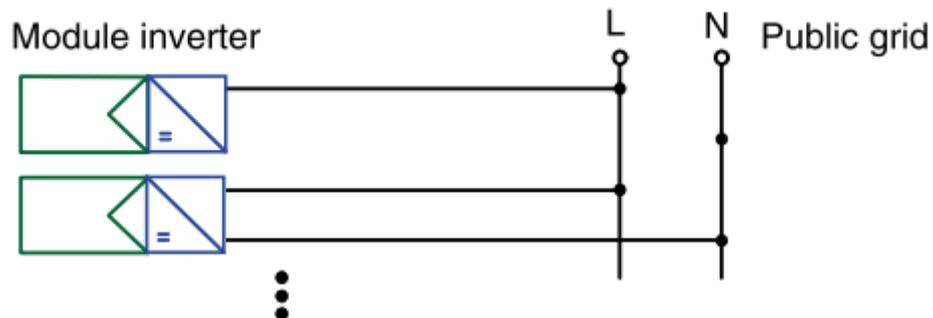
- Inversor de cadena: Se trata de una configuración que contiene un mayor número de inversores por lo que es más caro, sin embargo, es capaz de llevar a cabo una

gestión más eficaz del generador FV. Cada cadena estará asociada a un único inversor y, de este modo, se realizará un eficiente seguimiento del MPP (seguimiento del punto de máxima potencia) de la cadena.



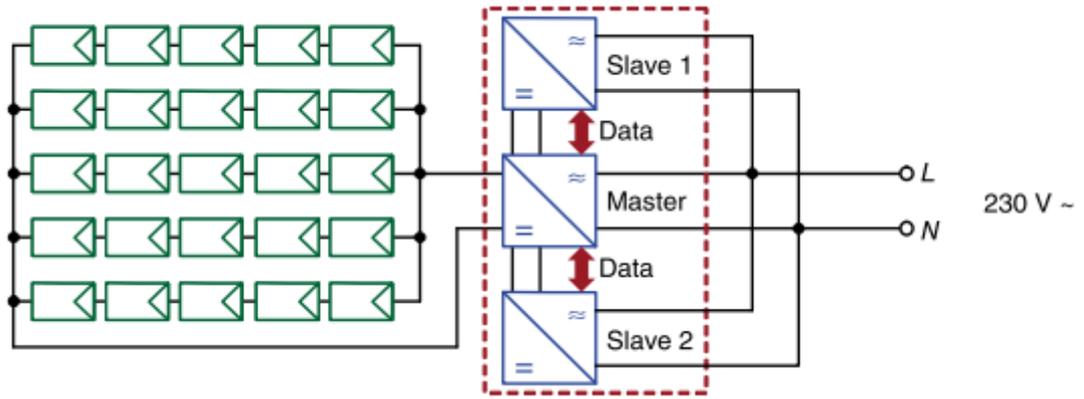
**Figura 3.14.** Representación esquemática de la configuración de inversor de cadena.  
Fuente: Universidad de Cantabria. Apuntes de Energía y Telecomunicaciones. Jesús María Mirapeix. [40]

- Inversor de módulo: En este tipo de configuración el inversor está directamente asociado a un módulo, esto permite que cada módulo pueda estar en su MPPT, sin embargo, existen inconvenientes, como que el inversor ya no podrá estar protegido, sino que se encuentra en la intemperie junta al panel acortando su vida útil. Por otro lado, en caso de avería del panel o el inversor habría que cambiar ambos componentes, con el consiguiente coste económico.



**Figura 3.15.** Representación esquemática de la configuración de inversor de módulo.  
Fuente: Universidad de Cantabria. Apuntes de Energía y Telecomunicaciones. Jesús María Mirapeix. [40]

- Inversor Maestro-Esclavo: Esta configuración es muy interesante para instalaciones que tengan un tamaño ya considerable, por ejemplo, superiores a los 30KWp. Esta configuración basa su lógica en que, en momentos de poca generación, como atardeceres y días nublados, sólo está operativo el inversor “maestro”, consiguiendo así una carga elevada y una mejor eficiencia. Si la generación va en aumento y el inversor “maestro” no puede gestionarla, entraría en operación el inversor “esclavo-1” y así sucesivamente los siguientes inversores.



**Figura 3.16.** Representación esquemática de la configuración de inversor Maestro-Esclavo.  
Fuente: *Universidad de Cantabria. Apuntes de Energía y Telecomunicaciones. Jesús María Mirapeix. [40]*

Una vez se ha explicado el principal componente de monitorización existente en las instalaciones fotovoltaicas, el inversor, cuya información se ha recogido de manera íntegra de la siguiente referencia [40], es momento de hablar sobre algunos de ellos que se aplican en el mundo real y algunas de sus funciones de monitorización dentro de la instalación.

### **3.3.2. Inversores en monitorización de instalaciones fotovoltaicas**

Un primer ejemplo de aplicación del que se puede hablar es la aplicación SenNet Solar, se trata de una solución de monitorización de instalaciones fotovoltaicas creada por Satel Spain y que permite conocer en tiempo real varios datos como los siguientes mencionados:

- Producción en base a inversores y contadores.
- Meteorología.
- Funcionamiento de los strings de paneles fotovoltaicos.
- Estado de los Centros de Transformación.
- Operación de los seguidores.

Este sistema envía los datos vía inalámbrica, para ser más exactos mediante comunicación por radiofrecuencia. El módem, figura 3.17., que hace posible esta comunicación es el SATELLINE 1870E. Esta aplicación permite la monitorización de inversores, contadores, series de paneles, seguidores (MTTP), centros de transformación, estaciones meteorológicas, etc.



**Figura 3.16.** Módem utilizado en la aplicación SenNet Solar para la monitorización del sistema.  
Fuente: SenNet. [41]

Dentro de esta aplicación se pueden implementar distintas configuraciones según el tamaño de la instalación y el alcance de la monitorización.

La primera implementación es la SenNet Solar Dual. Se trata de una solución de monitorización de medianas y pequeñas plantas, consiguiendo integrar la captura de datos de inversores, contadores y sondas meteorológicas. Esta monitorización incluye herramientas de supervisión con actualización remota del software y parámetros de funcionamiento, y gracias a sus interfaces de comunicaciones RS232, RS485 y Ethernet, permite comunicarse con cualquier tipo de inversor o contador y su consiguiente monitorización completa y profesional.

La segunda implementación se trata de SenNet Solar Basic, una solución completa de monitorización de pequeñas plantas fotovoltaicas, operando por GPRS con cualquier operador, sin requerir el envío de datos a un servidor ya que se trata de un sistema autónomo. Al ser un sistema autónomo esta implementación los datos pueden ser enviados de varias maneras:

- Envío por email de resumen de producción con la periodicidad que se define.
- Envío online por SMS de alarmas generadas por el inversor.
- Petición por SMS de envío de SMS con el estado de la instalación.
- Acceso a la web de los datos online de potencia, voltaje e intensidad en continua y alterna, estado, energía acumulada, frecuencia, temperatura del inversor y demás funciones.

Finalmente, esta aplicación nos va a permitir la implementación de otra configuración SenNet Solar Advanced, solución que se puede implementar en cualquier instalación independientemente del tamaño que tenga ya que esta arquitectura es escalable. Esto se implementa instalando en el centro de control de la planta un concentrador de datos dedicado a cada tipo de dispositivos a monitorizar.

Para una información más específica se puede visitar la página web de Satel Iberia [42].

Otro ejemplo de monitorización de instalaciones fotovoltaicas es el módulo de monitorización y gestión remota Conext Combox de Schneider [43]. Esta aplicación realiza la transmisión de los correspondientes datos a través de red local, WiFi, pudiendo recibir esta información en aplicaciones compatibles para tabletas con sistema operativo Android. Este dispositivo de comunicación y control es una aplicación multifunción que permite obtener una visión general del rendimiento de los sistemas de control de energía, siempre hablando en el marco residencial, es decir, esta aplicación solo es utilizada para pequeñas instalaciones fotovoltaicas.

Mediante esta aplicación el usuario de la instalación puede configurar los dispositivos y el sistema, controlar el rendimiento y acceder a los registros de datos mediante la interfaz de usuario web. Los instaladores pueden modificar los ajustes de los dispositivos de los inversores SW, XW, MPPT 60-150, MPPT 80-600, AGS y SCP durante la puesta en marcha y responder a distancia a las alertas del sistema las 24 horas del día.

Otras funciones que permite esta aplicación pueden ser las siguientes:

- Compatibilidad. Este controlador se puede conectar directamente a dispositivos con tecnología Xanbus.
- Memoria no volátil. Permite conservar la configuración más reciente de Conext Combox si se interrumpe el suministro eléctrico o la comunicación de la red.
- Capacidad de actualización y almacenamiento de firmware. Con esta aplicación se puede actualizar o volver a una versión anterior del firmware de los dispositivos con tecnología Xanbus de la red.



**Figura 3.16.** Módem utilizado en la aplicación Conext Combox para la monitorización del sistema.  
Fuente: *Techno Sun.* [43]

Para finalizar con esta aplicación debemos mencionar los componentes Xanbus que pueden ser compatibles con varios productos de Schneider Electric:

- Cargadores/inversores XW.
- Panel de control del sistema (SCP) XW.

- Módulo de arranque de generador automático (AGS) XW.
- Cargadores de carga solar MPPT 60-150.
- Cargadores de carga solar MPPT 80-600.
- Inversores solares para conexión a red Conext TX.
- Inversores solares para conexión a red de la serie para conexión a red de AUS.

## **CAPITULO 4. Telecomunicaciones y Renovables: soluciones de telecomunicación para la monitorización de infraestructuras renovables.**

Se llevará a cabo un pequeño estudio las soluciones y tecnologías existentes para realizar la monitorización de instalaciones generadoras de energía renovable.

## **4.1. Introducción**

Una vez se ha comentado la importancia de las redes de comunicación dentro de las instalaciones generadoras de energías renovables para su correspondiente monitorización, es momento de entrar a investigar sobre algunos de los sensores que permiten que estas redes de comunicación puedan enviar datos en tiempo real del estado de la instalación. En primer lugar, se mencionarán sensores utilizados en las instalaciones fotovoltaicas como pueden ser los basados en la termografía infrarroja para la detección de los *hot-spots* en los paneles, uno de los principales problemas que pueden aparecer en las instalaciones fotovoltaicas. Posteriormente, se mencionarán los sensores utilizados en los aerogeneradores de los parques eólicos, entre otros, se comentarán los sensores FBG (Fiber Bragg Grating), que son redes de difracción grabadas en el interior de una fibra óptica y que actúan como ‘filtros’ o ‘espejos’ de una determinada longitud de onda que dependerá de la temperatura y deformación (*strain*) de la fibra en ese punto. Finalmente se llevará a cabo un pequeño estudio sobre los sensores que pueden utilizarse en los parques eólicos *off-shore* para la detección de posibles errores, entre otros, sensores para detectar errores en el cable de vertido que une la instalación *off-shore* con la planta ubicada en tierra firme.

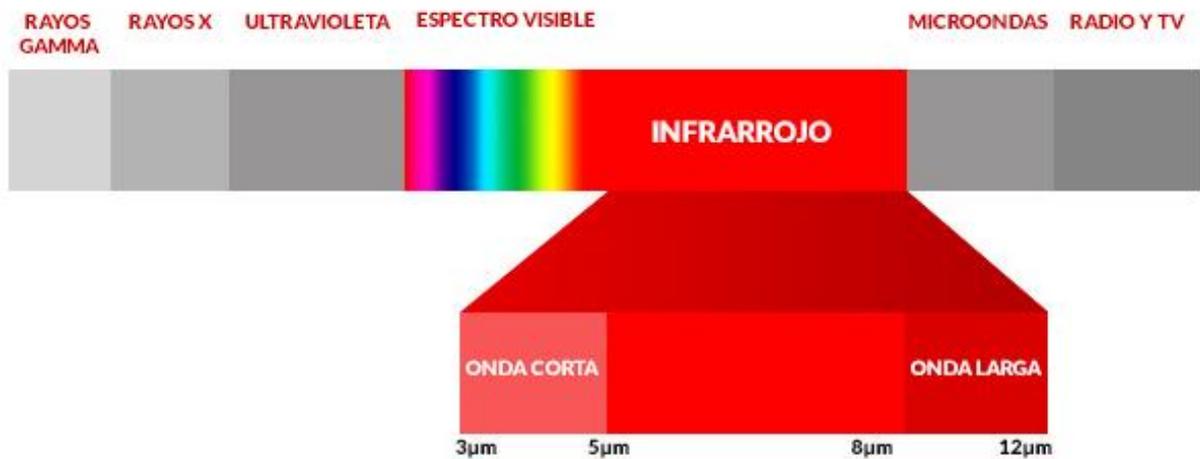
## **4.2. Sensores utilizados en las instalaciones fotovoltaicas**

Dentro del mundo de sensores utilizados en las instalaciones fotovoltaicas debemos de hablar de sensores utilizados para la inspección de instalaciones fotovoltaicas mediante el uso de la termografía infrarroja. Antes de proseguir resulta necesario explicar ciertos aspectos de esta tecnología. La termografía consiste en una técnica que permite determinar temperaturas a distancia sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Se trata de captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético. La radiación infrarroja es una radiación electromagnética que posee una longitud de onda superior a la de la luz que podemos ver, pero menor que la de las microondas (Figura 4.1). Esto equivale a una menor frecuencia que la luz visible, su rango de frecuencias oscila entre los 0,7 y los 1000 micrómetros. Esta radiación es emitida por todos los cuerpos cuya temperatura sea superior a los 0 grados Kelvin [23]. Puede consultar más información acerca de la radiación infrarroja en la siguiente referencia [24]. Volviendo al hilo, conociendo varios factores entre los que se encuentra la emisividad del propio objeto, es posible convertir la energía radiada, detectada por la cámara termográfica, elemento básico para captar la radiación, en valores de temperatura. En una termografía, cada pixel corresponde con un valor de medición de la radiación con un valor de temperatura. A esa imagen se le puede definir como radiométrica. Para finalizar se puede destacar que esta técnica es usada en múltiples campos entre los que están:

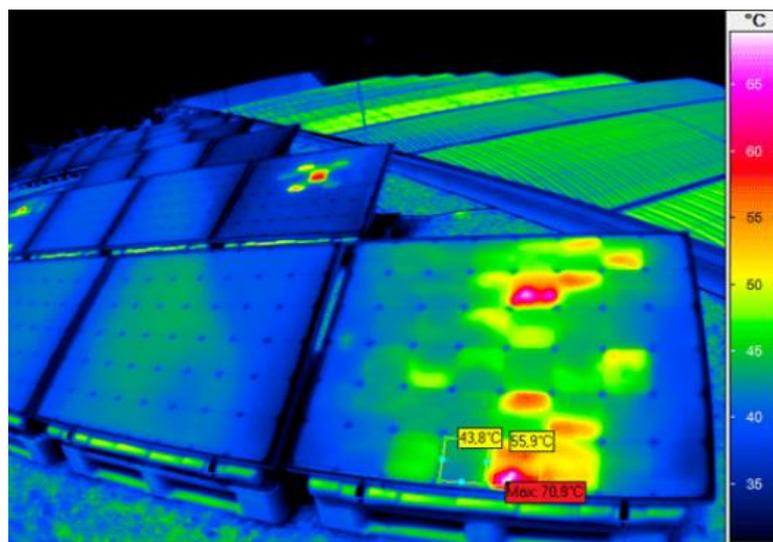
- Observación del espacio
- Mantenimiento predictivo de maquinaria industrial
- Detección de patologías en edificación
- Estudio de pérdidas energéticas en edificación
- Salvamento de accidentados
- Detección de gases
- Medicina

- Meteorología
- Tareas militares y de seguridad

Debemos destacar que los puntos calientes o *hot-spots* suponen un serio problema para los módulos FV (fotovoltaicos), por lo que supone imprescindible realizar inspecciones periódicas. En la figura 4.2., podemos observar cómo mediante una cámara termográfica infrarroja se puede observar las distintas temperaturas que tienen las distintas células que componen el panel fotovoltaico. Hay temperaturas que están excediendo su máximo como podemos ver, produciendo que estas celdas en vez de generar energía estén actuando como resistencias disipando energía en forma e calor.



**Figura 4.1.** Espectro electromagnético.  
Fuente: *Enerheating* [25].



**Figura 4.2.** Termografía de un panel fotovoltaico.  
Fuente: *Droniter* [26].

Un ejemplo específico, bastante innovador y útil es la utilización de la termografía con drones en estas instalaciones fotovoltaicas. Estos usan cámaras termográficas y con solo

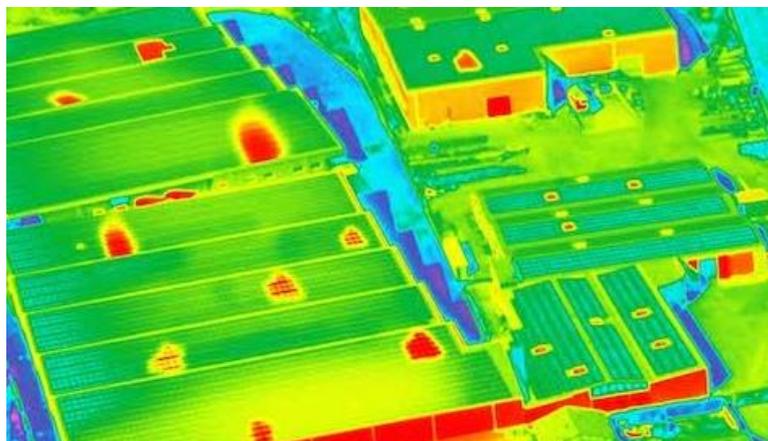
sobrevolar la instalación son capaces de detectar los hot-spots. Las cámaras termográficas para la inspección de instalaciones con estos drones suelen estar integradas por un sensor que opera en un ancho de banda de 7 a 14 micrómetros. En esta región del espectro, el vidrio no es transparente, por lo que, si realizamos la inspección de forma frontal, el sensor termográfico es capaz de observar la distribución del calor en la superficie del vidrio y sólo de manera indirecta la distribución de calor en las células solares. Por lo tanto, las diferencias de temperatura que pueden medirse y observarse en la superficie de vidrio de los paneles fotovoltaicos, son pequeñas. Para que estas diferencias sean visibles, la cámara de imagen térmica utilizada para estas inspecciones debe tener una sensibilidad térmica inferior a los 0,08 grados Kelvin. Para más detalles se puede visitar la web de Droniter donde se detalla con más exhaustividad los componentes y las características de estos [26].

En cuanto a las condiciones ambientales y de medición las inspecciones termográficas deben realizarse en días donde el cielo se encuentre despejado, ya que las nubes reducen la radiación directa que incide sobre las placas FV y además se introduce interferencias por reflexión o por sombreados. Cuanto menor sea la **temperatura del aire**, mayor será el posible contraste térmico y es preferible que no haya viento, ya que las corrientes de aire circulando sobre la superficie del panel fotovoltaico producirán un enfriamiento por convección y el gradiente térmico se reducirá. A pesar de estas premisas siempre pueden producirse errores de medición; los más típicos se pueden deber a un ángulo de observación inadecuado, cambios en la radiación solar mientras se realiza la medida, reflejos infrarrojos o sombreados parciales del ambiente.

Para concluir con este tipo de dispositivos debemos de resumir cuatro puntos clave para realizar una correcta captura:

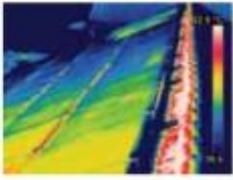
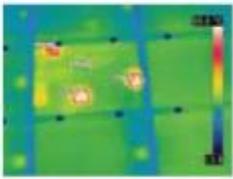
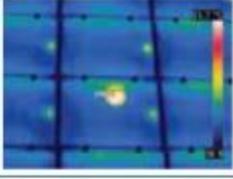
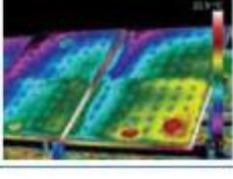
- Debe utilizarse una cámara de imagen térmica adecuada, con los accesorios correctos.
- Se necesita una radiación solar suficiente (como mínimo  $500 \text{ W/m}^2$ ; preferiblemente más de  $700 \text{ W/m}^2$ ).
- El ángulo de observación debe estar comprendido entre los límites seguros (entre los  $5^\circ$  y los  $60^\circ$ ).
- Deben evitarse el sombreado y las reflexiones.

En la siguiente figura podemos observar la captura vía dron de una instalación en la que se pueden apreciar paneles con temperaturas fuera de lo común lo que indica la existencia de puntos calientes.



**Figura 4.3.** Termografía de una instalación fotovoltaica mediante un dron.  
Fuente: *Droniter* [26].

Los resultados obtenidos por las capturas que realizan las cámaras termográficas de estos drones muestran con claridad si algunas partes de los módulos fotovoltaicos están más calientes que otras. Según la forma y la ubicación en el módulo se pueden establecer qué tipo de problema está produciendo el sobrecalentamiento. Estos problemas se pueden deber desde un simple excremento de ave o sombra, hasta un defecto de fabricación, pasando por interconexiones defectuosas o diodos de derivación defectuosos. En la figura 4.4. obtenida de un informe realizado por el “Grupo Álava Ingenieros” [27], se pueden observar las distintas casuísticas de defectos que estas cámaras pueden detectar. Destacar que, aunque no tenga buena resolución se ha decidido utilizar esta tabla ya que resulta muy útil observar como son los hot-spots producidos por distintas causas. Es recomendable observarla en la referencia adjuntada.

Tipo de error	Ejemplo	Aparece en la imagen térmica como	Thermogramm
Defecto de fabricación	Impurezas y bolsas de gas	Un «punto caliente» o un «punto frío»	
	Grietas en las células	Calentamiento de las células, forma principalmente alargada	
Avería	Grietas	Calentamiento de las células, forma principalmente alargada	
	Grietas en las células	Una parte de una célula aparece más caliente	
Sombreado temporal	Contaminación	Puntos calientes	
	Excrementos de pájaros		
	Humedad		
Diodo de derivación defectuoso (causa cortocircuitos y reduce la protección del circuito)	N.d.	Un «patrón en parches»	
Interconexiones defectuosas	Módulo o serie de módulos no conectados	Un módulo o una serie de módulos está constantemente más caliente	

**Figura 4.4.** Esquema de los errores que pueden observarse con una termografía.  
Fuente: Grupo Álava Ingenieros [27].

No obstante, una solución más clásica y más aplicable a instalaciones fotovoltaicas de menor envergadura es la de utilizar cámaras termográficas de mano como la cámara térmica PCE-TC 34, un elemento comercial que se puede adquirir con facilidad. En cuanto a sus especificaciones, podemos destacar que trabaja en un rango de temperatura de -20 a +350 grados centígrados, con una resolución de temperatura de 0,05 grados centígrados y un rango espectral de 7,5 a 14 micrómetros. En la siguiente referencia podemos acceder a la dirección web de esta cámara en particular y observar sus especificaciones con más detalle [28].



**Figura 4.5.** Cámara termográfica.  
Fuente: *PCE Ibérica* [28].

### **4.3. Sensores utilizados en instalaciones eólicas**

Los aerogeneradores son estructuras muy costosas, (podría aproximarse su coste genérico en torno al millón de euros), por lo que requieren de la utilización de tecnologías que permitan asegurar su integridad estructural y que, en caso de existir anomalías o periodos de mal funcionamiento, posibiliten emprender acciones de inmediato. Existe un gran número de sensores utilizados en los aerogeneradores que permiten monitorizar los parques eólicos permitiendo prevenir potenciales situaciones de riesgo. En las instalaciones eólicas son muchas las variables que se pueden llegar a monitorizar. Como se ha comentado con anterioridad resulta imprescindible mantener el correcto funcionamiento de los aerogeneradores, por ello existen decenas de variables que se miden en un aerogenerador comercial, como pueden ser la velocidad del viento, dirección, humedad, nivel del aceite, posición del rotor, ángulo de giro de las palas, tensión que sufren las palas, corrientes, etc. Todas estas variables van a ser medidas gracias a la incorporación de sensores de distintos tipos.

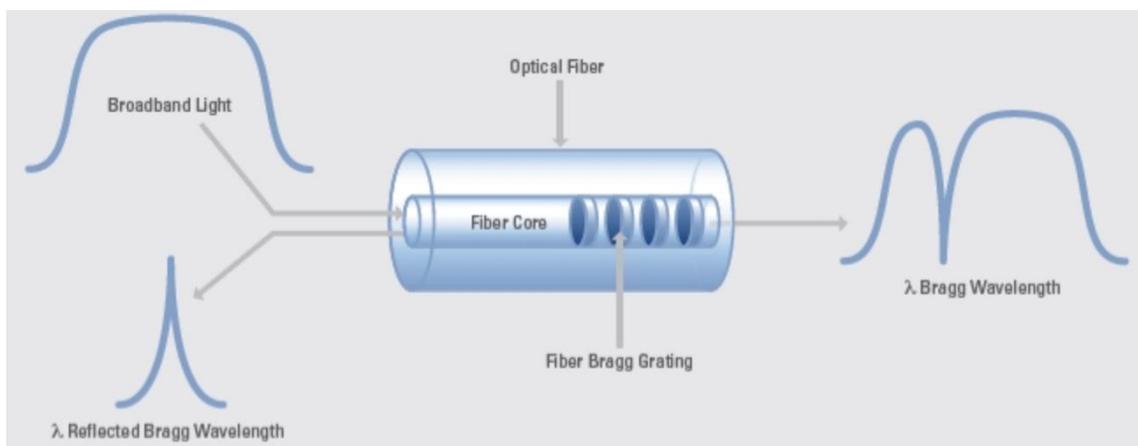
Dentro del mundo de los sensores que se pueden utilizar en un aerogenerador en primer lugar vamos a hablar sobre los sensores de fibra óptica. Estos sensores pueden ser utilizados para múltiples funciones como medir presión, temperatura, vibración, movimiento, etc. Además, destacan por tener un gran número de ventajas como fiabilidad, bajo coste, alto rango de medidas, etc. Destacar que la luz que se transmite a través de estas fibras ópticas puede ser caracterizada por parámetros como la intensidad, longitud de onda, fase y polarización. La magnitud a medir por el sensor óptico generará una variación o modulación de alguno de estos parámetros.

Existen varios tipos de clasificaciones de sensores de fibra óptica, teniendo en cuenta el tipo de modulación usada se dividen los sensores en amplitud, fase o interferométricos, polarimétricos y espectroscópicos. Dentro de los últimos, los espectroscópicos, existen varias tecnologías organizadas en diferentes ramas, por ejemplo, los sensores basados en las redes de Bragg (FBG), y, por otro lado, los basados en cavidad Fabry-Perot.

#### 4.3.1. Sensores FBG

Uno de los sensores ópticos más usados y ampliamente desplegados es el Fiber Bragg Grating (FBG). Este básicamente funciona reflejando una longitud de onda de luz específica que se transmite en respuesta a distintas variaciones como temperatura o tensión mecánica (*strain*), esta onda es conocida como la onda de Bragg. Se puede decir que fundamentan su funcionamiento en la medida de las deformaciones que se producen en la fibra óptica. Como cabe de esperar la longitud de la onda que es reflejada depende del periodo de variación o modulación del índice de refracción que está grabado sobre el núcleo. Detallándolo más en profundidad, cuando un rayo de luz con un amplio espectro se envía a un FBG, las reflexiones de cada segmento al alternar el índice de refracción interfieren de un modo positivo para una única longitud de onda específica de luz, la onda de Bragg. Esto provoca que el FBG refleje tan solo una frecuencia específica de luz al transmitir todo el espectro. En la siguiente ecuación se describe la longitud de onda Bragg, donde  $n$  es el índice de refracción efectivo del núcleo de la fibra y  $\Lambda$  es la separación entre las redes, conocido como el periodo de red.

$$\lambda_b = 2n\Lambda \quad (1)$$



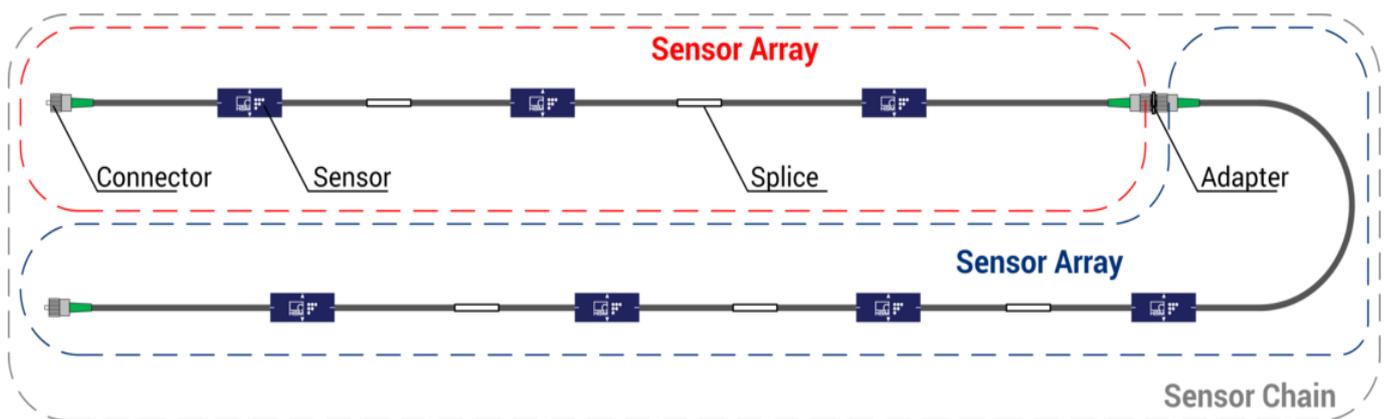
**Figura 4.6.** Esquema de operación de un sensor óptico FBG.  
Fuente: *National Instruments [29]*.

Si se producen cambios en la fibra de temperatura, tensión o deformación, la longitud de la onda reflejada cambia su valor. Cuando el FBG es estirado o comprimido, el periodo cambia y el índice de refracción efectivo del FBG también cambia debido al efecto fotoelástico, esto produce una deformación que conlleva un desplazamiento de la longitud de la onda reflejada. El cambio de longitud de onda de un FBG debido a tensión y temperatura se puede calcular con la ecuación (2).

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = (1 - p_e) * \varepsilon + (\alpha_\lambda + \alpha_n) * \Delta T \quad (2)$$

$\Delta\lambda$  es el incremento de la longitud de onda y  $\lambda_0$  es la longitud de onda inicial. Por otro lado, la primera de las expresiones describe el impacto de tensión en el cambio de longitud de la onda, donde  $p_e$  es el coeficiente de tensión óptica y  $\varepsilon$  es la tensión experimentada por la red. La segunda expresión describe el impacto de temperatura en el cambio de longitud de onda, donde  $\alpha_\lambda$  es el coeficiente de expansión térmica y  $\alpha_n$  es el coeficiente óptico térmico.  $\alpha_n$  describe el cambio en el índice refractivo y  $\alpha_\lambda$  describe la expansión de la red, ambos debido a la temperatura.

Una gran ventaja que tiene esta tecnología es que se puede realizar multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Esto es aprovechado para realizar el método de interrogación (detectar varias longitudes de onda), que permite la posibilidad de utilizar varios sensores con diferentes longitudes de onda Bragg en una única fibra. Cada sensor FBG tendrá un rango único de longitud de onda en el espectro de luz y con un ancho de banda determinado. En la siguiente figura podemos observar un ejemplo de multiplexación de varios sensores en un único cable de fibra [30]. Tras la instalación, los sensores y/o las cadenas se pueden conectar a uno de los canales ópticos de un interrogador. Ahora bien, se debe prestar atención a la selección de las longitudes de onda y a la pérdida de potencia de las señales derivada de las conexiones y de la longitud de los cables para realizar un correcto dimensionamiento.

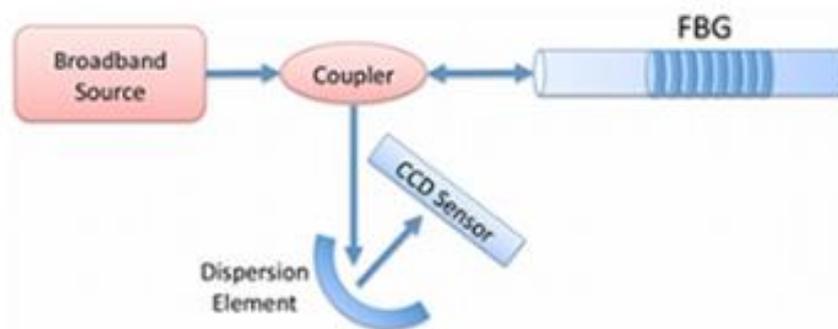


**Figura 4.7.** Esquema de un array de sensores ópticos FBG.  
Fuente: HBM [30].

Por otro lado, destacar que, debido a la naturaleza de la longitud de onda de los FBGs, las medidas de sensor mantienen la precisión aún hasta con grandes atenuaciones provocadas por la flexión del cable o la propia transmisión. El número de sensores que puede incorporar en una única fibra dependerá de los anchos de banda de las longitudes de onda

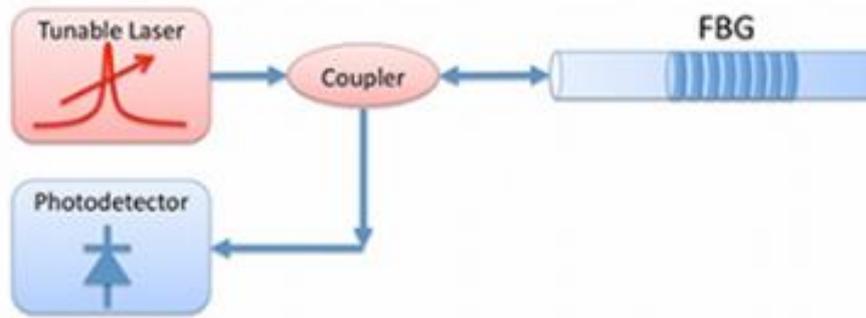
de cada sensor. Destacar que las variaciones en las longitudes de onda debido a la tensión son generalmente más pronunciadas que por temperatura (los sensores de tensión FBG por lo general ofrecen un rango de 5 nm). Los interrogadores proporcionan un rango de medición de 60 a 80 nm, por lo que, en el peor de los casos, longitudes de onda debido a tensión, el canal óptico de un interrogador puede albergar varios sensores. No obstante, es necesario realizar un pequeño estudio para que no exista un solapamiento entre las distintas longitudes de onda de los distintos sensores.

Un posible método robusto de interrogación involucra el uso de un sensor tipo CCD (*Charged Coupled Device*) y un elemento dispersivo fijo, este método es conocido como conversión de posición de longitud de onda. Con este método una fuente de banda ancha ilumina el FBG, o varios, esta onda de luz, u ondas, se refleja y pasa a través del elemento dispersivo que distribuye las diferentes componentes de longitud de onda de la reflexión a distintas ubicaciones en un sensor CCD como podemos observar en la siguiente figura.



**Figura 4.8.** Método de conversión de posición de longitud de onda.  
Fuente: *National Instruments* [29].

Este método es capaz de realizar varias medidas a la vez de manera muy rápida de los FBGs. Sin embargo, ofrece una resolución muy limitada y una relación señal a ruido (SNR) muy baja. Por estos motivos el método de interrogación más utilizado utiliza un filtro Fabry-Perot para crear un láser con una alta potencia y reemplazar así la fuente de luz de banda ancha tradicional. Este láser va a ser capaz de generar fuentes de luz con un ancho de banda ínfimo concentrando así la energía en muy poco espacio y permitiendo que la SNR aumente. Esta fuente de luz con una gran potencia óptica permite que esta única fuente sea conectada a múltiples canales de fibra reduciendo así el coste y la complejidad para los interrogadores con varios canales. En este caso los interrogadores se encargarán de barrer una banda de luz muy pequeña en torno a la longitud de onda de interés y utilizando un foto-detector se medirán las reflexiones desde los FBGs. Cuando la longitud de onda del láser iguala la longitud de onda Bragg del FBG el foto-detector detecta la correspondiente respuesta. La longitud de onda a la cual ocurre esta respuesta corresponde a la temperatura y/o tensión del FBG. Este método proporciona una precisión de picómetros; por otro lado, también permite que las medidas se puedan realizar a distancias más largas de hasta 10 km gracias a la gran potencia óptica del láser.



**Figura 4.9.** Método de interrogación utilizando un filtro Fabry-Perot.  
Fuente: *National Instruments* [29].

En cuanto a las ventajas que ofrecen los sensores basados en **redes de Bragg** se pueden resumir en el siguiente listado:

- Bajo consumo de los sensores.
- Posibilidad de conexión en serie de sensores a un canal de medida.
- No hay señales eléctricas - seguridad intrínseca.
- Al no haber señales eléctricas, son inmunes a campos electromagnéticos ni ruidos en señal.
- Transmisión de datos a decenas de kilómetros.
- Menor complejidad de las redes de sensores al poder realizar multiplexado.

Antes de comentar otros puntos resulta interesante mencionar un sistema de monitorización de palas de aerogeneradores que utiliza este tipo de sensores. Se trata de WindMETER, desarrollado por la empresa HBM [31]. Este sistema está integrado por un sistema óptico de monitorización de palas de aerogeneradores, que a su vez está formado por un interrogador optoelectrónico de bajo consumo y de un juego de sensores de temperatura y deformación de fibra con rejilla de Bragg. Este sistema puede integrar un amplio rango de aplicaciones como:

- Control de paso de pala (pitch).
- Monitorización de estado.
- Evaluación descarga.
- Validación del diseño de palas.
- Detección de hielo.

Es recomendable visitar la página web y ver alguna de las instalaciones que se han realizado con este sistema [31]. Por ejemplo, en la siguiente figura podemos observar el estudio, con este sistema, de los rangos de deformación de una pala del aerogenerador.



**Figura 4.10.** Pala de aerogenerador monitorizada para estudiar las deformaciones que puede sufrir.  
Fuente: *HBM* [31].

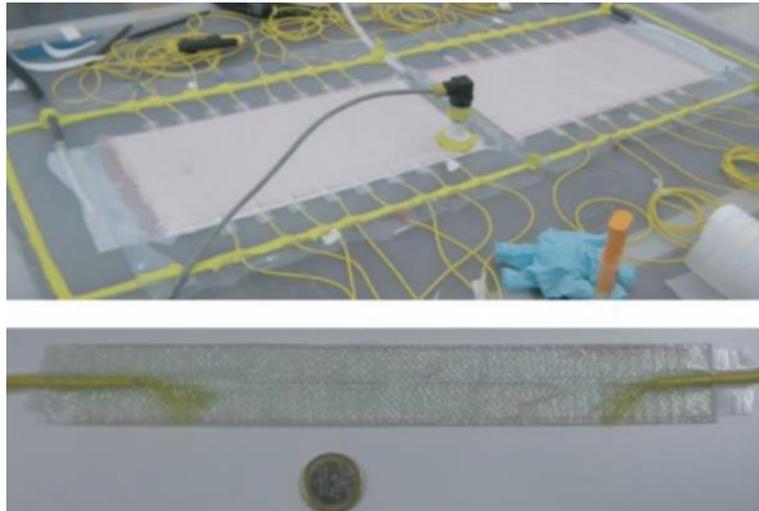
#### **4.3.2. Ejemplos de aplicación de sensores FBG**

En primer lugar, se va a comentar el artículo científico “OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade Monitoring” [54], se trata de un estudio realizado por el departamento de Ingeniería Fotónica de la Universidad de Cantabria.

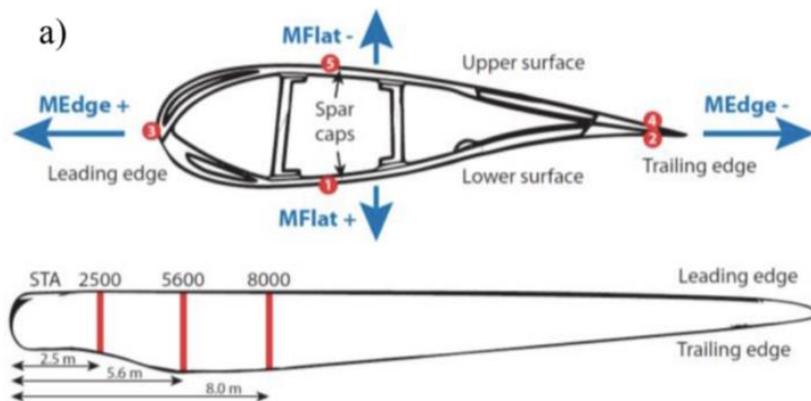
En este artículo, empleando transductores basados en FBG se monitoriza una pala de un aerogenerador a gran escala fabricada por la compañía Aeroblade Inc. Técnicamente esta monitorización se lleva a cabo mediante la utilización de transductores de tensión de alta precisión. Se han empleado en total 15 parches de tensión, creándose un sistema de sensorización que permite obtener la información necesaria sobre la distribución de tensión de la pala. Este sistema de sensores se ha distribuido en tres áreas críticas que permiten evaluar de la mejor manera la respuesta de la pala.

La fabricación de estos parches se ha realizado de manera manual, sin embargo, no se va a entrar a explicar dicho proceso ya que se nos escapa un poco del objetivo de este proyecto, no obstante, si es de interés se puede visitar dicho artículo. Una vez fabricados estos parches, figura 4.11, se asocian a diferentes fibras ópticas. Se realizará una distribución de 5 parches en 3 grupos distintos que estarán conectados a 3 fibras distintas. Cada parche trabajará a una longitud de onda diferente para permitir el correspondiente multiplexado. Dichos parches se han ido colocando en ubicaciones distintas, en la figura 4.12 podemos observar la distribución de los distintos grupos. Una vez se han instalado dichos parches en la pala es necesario llevar a cabo un sellado mejorando así la protección de cada parche y eliminar las vibraciones que cuanto menos serán nocivas. Por otro lado, destacar que se han instalado, también, dos transductores de temperatura en las tapas del mástil, es decir, en áreas centrales de la pala.

Todos los cables de fibra óptica que se utilizan están conectados a una unidad comercial (Si425 de Micron Optics) para el posterior paso de interrogación.

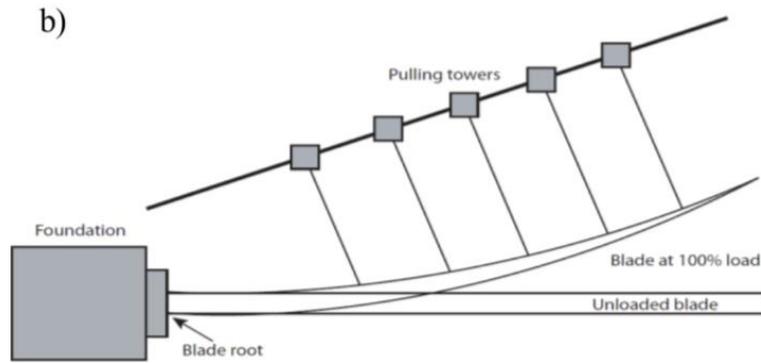


**Figura 4.11.** En la parte superior se observa el proceso de fabricación, en la de abajo un parche finalizado.  
Fuente: *OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade* [54].



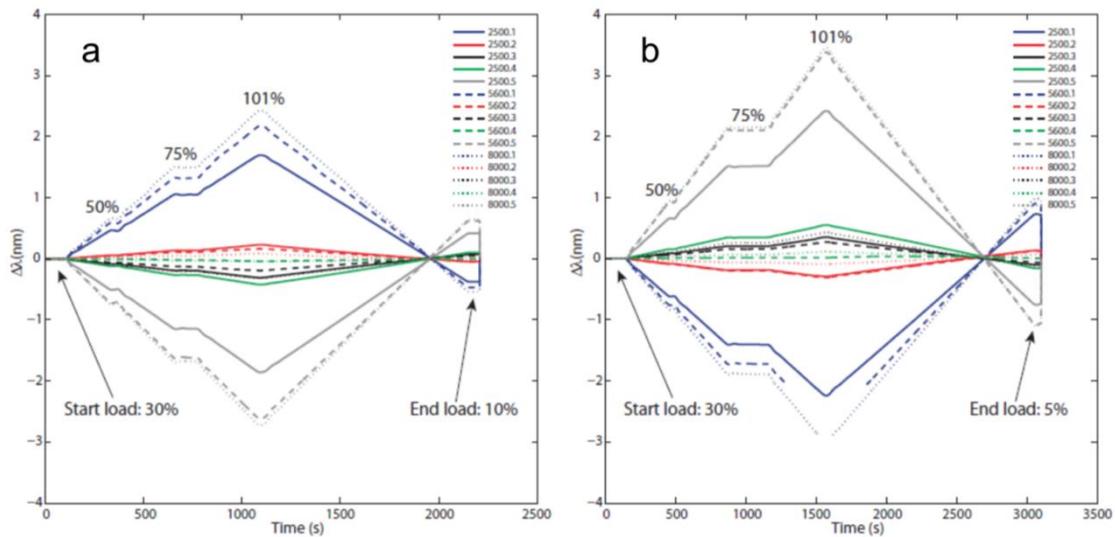
**Figura 4.12.** Distribución de los distintos parches.  
Fuente: *OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade* [54].

Tras haber realizado la colocación de los distintos parches a lo largo de la pala es momento de hablar sobre los resultados obtenidos al realizar varias pruebas de esfuerzo. Estas pruebas se llevaron a cabo en el Centro Nacional de Energías Renovables (Cener) en Navarra, España. La pala se “ató” a varios cables que fueron tirando de esta gradualmente en varias pruebas para observar los distintos resultados de las tensiones soportadas. En la siguiente figura se puede observar cómo se llevó a cabo estas pruebas.



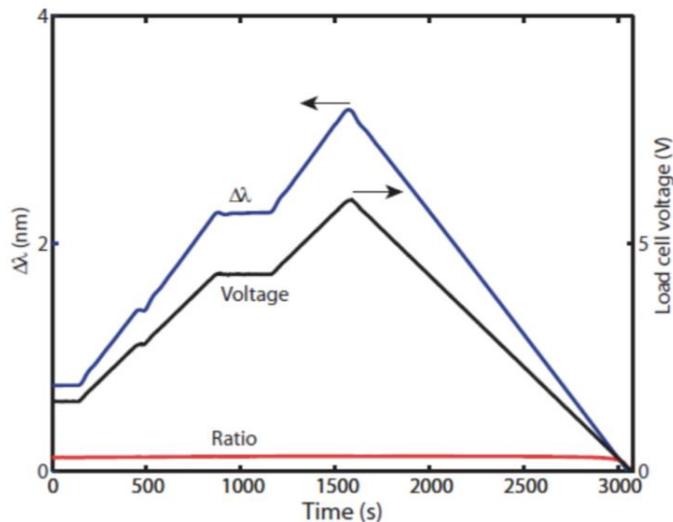
**Figura 4.13. Esquema de la prueba de esfuerzo de la pala.**  
Fuente: *OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade* [54].

En este estudio se llevaron a cabo 4 pruebas de carga distintas, una Medge en positivo y en negativo y, por otro lado, en MFlat tanto positivo como negativo. Se ha conseguido alcanzar una deformación máxima del 101% de la carga máxima diseñada. Los resultados obtenidos para las pruebas MFlat se pueden observar en la figura 4.14. Estos resultados se compararon con las señales obtenidas por la celda de carga y se obtuvo un resultado coherente con las deformaciones máximas medidas. Los parches situados en los bordes anterior y posterior de la pala son los que se encargan de aportar información útil para el estudio Medge, por el contrario, el resto proporcionan datos útiles en las pruebas MFlat que logran desviaciones de longitud de onda por encima de  $\Delta\lambda \geq 4$  nm.



**Figura 4.14. Resultados de la deformación de la pala durante el proceso MFlat – (a), y MFlat + (b).**  
Fuente: *OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade* [54].

Finalmente destacar que en la figura 4.15 podemos observar las mediciones obtenidas por uno de los parches para la prueba positiva MFlat donde se está comparándolo con la señal de carga. De nuevo los investigadores consiguieron una buena linealidad en las distintas pruebas de carga.



**Figura 4.15. Medida obtenida con el parche 2500.5 con el MFlat + comparándolo con la señal de carga.**  
Fuente: *OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade [54]*.

Por otro lado, vamos a poner algún ejemplo de sensores comerciales. En la página web del Grupo Álava [32] podemos encontrarnos con varios ejemplos de sensores que utilizan la tecnología previamente explicada, es decir, los sensores de redes de Bragg.

Un ejemplo de estos, se trata de un sensor de temperatura, el sensor en cuestión es denominado el “TP-02”. Este sensor es capaz de detectar cambios de temperatura intrínseca de FBG y a través de la expansión térmica del soporte FBG.

En cuanto a sus características:

- Detección de temperatura para configuraciones en serie.
- Alta precisión debido a la pequeña histéresis y la buena reproducibilidad de la longitud de onda.
- Carcasa hermética y reforzada, aplicable en entornos hostiles.

En el Anexo 1 podemos observar el Data-Sheet de este sensor.

Por otro lado, vamos a poder visualizar un extensómetro aunque en este caso no es utilizado para palas de aerogeneradores a nivel funcional va a ser igual así como en lo que a las características nos podemos referir, únicamente cambiará en la disposición física. En resumen este tipo de sensores lo que se encarga de hacer es detectar deformaciones de grandes estructuras, terrenos, etc. En este caso en concreto este sensor se utilizara para medir deformaciones de cavidades como, por ejemplo, pozos. Se está habando sobre el extensómetro Borehole Deformation System BDS-01. Más exactamente se encarga de controlar deformaciones en la dirección longitudinal de un pozo. En el Anexo 2 nos podemos encontrar con el correspondiente Data Sheet en el que podemos ver todas las especificaciones.

Una vez comentado estos dos casos, que son muy típicos, nos podemos encontrar decenas de sensores de redes de Bragg, como ya hemos mencionado anteriormente en la siguiente referencia podemos encontrar varios ejemplos [32]. Además, también se podrá encontrar varios modelos de interrogadores los cuales resultan imprescindible como ya hemos visto en este tipo de tecnologías.

#### **4.4. Sensores de interés para instalaciones eólicas off-shore**

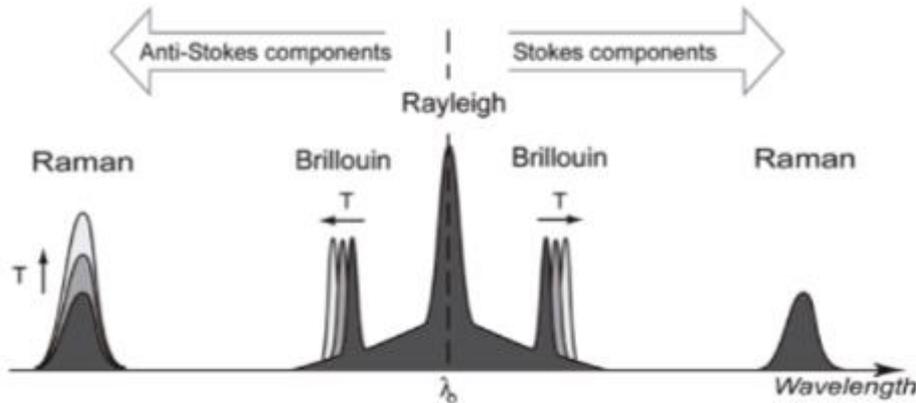
A parte de existir parques eólicos en tierra firme también existen parques eólicos situados en el mar, normalmente a pocos kilómetros de la costa, en lo que se conoce como instalaciones *off-shore*. En este tipo de parques la energía generada es transportada hasta tierra a través de cables que reciben el nombre de ‘cable de vertido’. Resulta imprescindible que este cable funcione correctamente, por lo que un sistema que permita la monitorización en tiempo real del mismo sería de gran ayuda. Una manera de poder detectar la localización de un error en el cable de vertido en tiempo real es utilizando sensores distribuidos de fibra óptica. Estos sistemas, como por ejemplo los basados en el scattering de Brillouin o el scattering Raman, permitirán la medida de deformaciones, así como variaciones de temperatura a lo largo de la fibra óptica desplegada. La posibilidad de detectar variaciones de temperaturas resulta muy interesante dado que un fallo en el cable de vertido se traducirá con mucha seguridad en un punto caliente. También debemos destacar que una rotura del cable de vertido sería fácilmente detectable con este tipo de sistemas.

A continuación, se explicará de manera simplificada en qué consisten los procesos de scattering de Raman y de Brillouin. Sin embargo, previamente resulta necesario aclarar el concepto de scattering. Básicamente el proceso scattering consiste en el ‘esparcimiento’ o desviación de parte del espectro de la luz o el sonido, entre otros, debido a no-uniformidades en el medio. Un ejemplo del proceso de scattering es el de la luz del Sol, realmente la luz del Sol es blanca, es decir, posee todas las longitudes de onda del espectro visible. Sin embargo, desde la Tierra lo vemos amarillo y esto se debe a no-uniformidades del medio por el que viajan estas longitudes de onda produciendo desviaciones del espectro de luz. Explicado de una forma más técnica, el proceso producido es el scattering de Rayleigh, en caso de el tamaño de las partículas con las que choca la radiación electromagnética sean mucho más pequeñas que la longitud de onda de la radiación electromagnética se produce esta dispersión, llevándose a cabo la polarización eléctrica de las partículas. El campo eléctrico oscilatorio de una onda luminosa actúa sobre las cargas de las partículas provocando que oscilen a la misma frecuencia. La partícula se convierte, así, en un pequeño dipolo radiante cuya radiación visible es la luz dispersada. En la siguiente figura podemos observar este fenómeno, la dispersión Rayleigh. El cristal se ve de color azul que es la longitud de onda dispersada, pero la luz que pasa a través de él es de color naranja.



**Figura 4.11.** Dispersión Rayleigh en un cristal.  
Fuente: Wikipedia [51].

Técnicamente hablando, “*La dispersión Raman o el denominado efecto Raman es una dispersión inelástica de un fotón. Cuando la luz es dispersada de un átomo o molécula, la mayoría de los fotones son dispersados elásticamente (dispersión de Rayleigh). Los fotones dispersados tienen la misma energía (frecuencia) y, por lo tanto, la misma longitud de onda que los fotones incidentes. Sin embargo, una pequeña fracción de la luz (aproximadamente 1 en  $10^7$  fotones) es dispersado ópticamente a frecuencias diferentes, mayormente inferiores, que la frecuencia de los fotones incidentes*” [33], esto es lo que se conoce como el efecto Raman. Como se puede observar en la siguiente figura, en el scattering de Raman lo que permite estimar la temperatura es la intensidad de la señal de la banda denominada Anti-Stokes que es sensible a la temperatura frente a la banda Stokes que es insensible a los cambios de temperatura. Una mayor información sobre la banda Stokes y Anti-Stokes se puede encontrar en la siguiente referencia [33]. Explicándonos con una mayor claridad y sencillez, el cálculo de la temperatura se realiza comparando las intensidades de las bandas Stokes y anti-Stokes. La dispersión de Stokes es luz de una longitud de onda más larga que la luz incidente, mientras que la dispersión anti-Stokes es de una longitud de onda más corta. Mientras que la dispersión de Stokes está ligeramente influenciada por la temperatura, la intensidad de la dispersión anti-Stokes aumenta con el aumento de la temperatura. En caso de que la temperatura cambie en una ubicación determinada, el sistema DTS (*Distributed Temperature Sensing*) calcula tanto la temperatura como la ubicación. La temperatura se determina midiendo la diferencia entre la intensidad de Stokes y anti-Stokes. Esto se hace mediante un acoplador direccional en la fuente de láser. La ubicación del cambio de temperatura se determina midiendo el tiempo que tarda la dispersión en volver a la fuente, lo que le permite señalar con precisión una posición muy exacta del cambio.

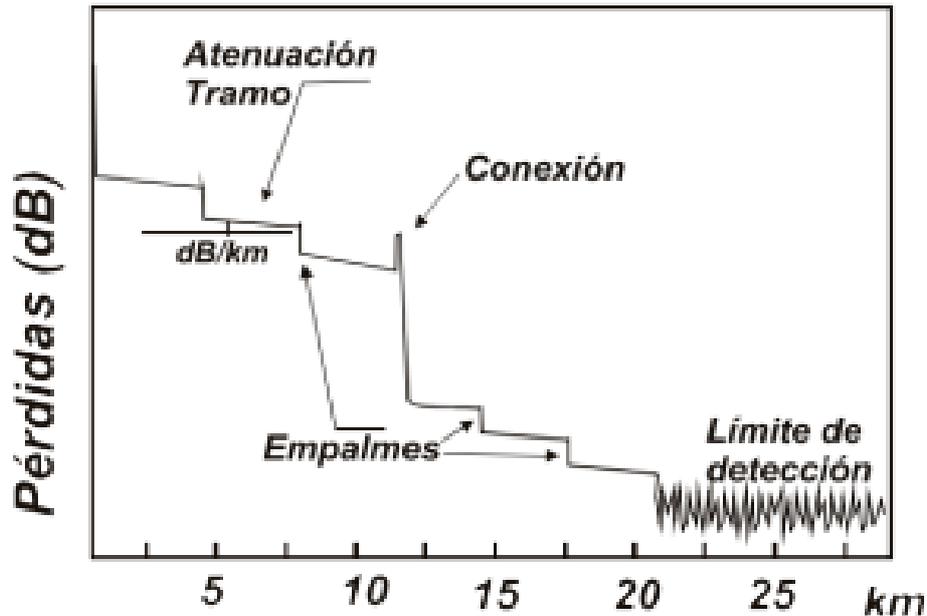


**Figura 4.11.** Generación del scattering de Raman y Brillouin.

Fuente: Archivos adjuntos por el tutor, departamento de comunicaciones ópticas [34].

Por otro lado, el scattering estimulado de Brillouin (SBS: *Stimulated Brillouin Scattering*) al contrario que el scattering de Raman permite una estimación continua de la temperatura a lo largo de la fibra óptica mediante la detección de las variaciones de frecuencia de las bandas Stokes y Anti-Stokes. En el SBS son necesarias dos señales ópticas que se propagarán en el cable de fibra en sentidos opuestos; esto dará como resultado la existencia de una onda acústica que a su vez producirá una variación periódica del índice de refracción en la fibra que se irá desplazando por la misma denominado grating o red de difracción móvil que viajará a la velocidad de la onda acústica por la fibra.

Por último, en este tipo de cables de vertido como hemos comentado anteriormente resulta sencillo detectar roturas de estos gracias al scattering de Rayleigh. El scattering de Rayleigh se produce cuando la luz se encuentra con partículas muy inferiores en tamaño a su longitud de onda, tratándose de un esparcimiento elástico. Este fenómeno es aprovechado por los OTDR's (Reflectómetros ópticos en el dominio temporal) que permiten realizar una monitorización del estado de un enlace de fibra óptica a lo largo del cable, pudiendo detectar pérdidas debidas a empalmes incorrectos, terminación del canal, roturas de fibra, etc. En la siguiente imagen podemos observar el resultado obtenido con un OTDR en el estudio de un cable de fibra óptica. Se puede observar la atenuación provocada por la propia distancia, así como la atenuación provocada por los empalmes realizados y las correspondientes conexiones. En caso de que una atenuación sea desproporcionada se deberá de visualizar cual es la razón. Aquí se observa un claro ejemplo de monitorización.



**Figura 4.12.** Esquema de un resultado de un OTDR.  
Fuente: *Cuarto de Comunicaciones* [36].

Para finalizar con este apartado es necesario visualizar algún ejemplo de sensores utilizados en los cables de vertido para su monitorización. En primer lugar, se va a exponer un ejemplo de sensor que utiliza la tecnología basada en el scattering de Brillouin, este sensor es fabricado por por la compañía “omnisens” [52] y recibe el nombre de Omnisens DITEST (Dynamic Strain Monitoring System). Este sistema se caracteriza por explotar la sensibilidad del cambio de frecuencia de Brillouin para aplicaciones de detección de temperatura y tensión. Este sensor utiliza fibra del tipo monomodo de baja pérdida que ofrece el rango de mayor distancia permitiendo unas grandes prestaciones y un gran rango de compatibilidad. Este tipo de sensores ofrece una gran cantidad de ventajas sobre el resto de competidores, algunas de ellas son:

- El DiTest puede medir la temperatura, la tensión, o ambas, utilizando la misma fibra óptica. Alternativamente, cuando las condiciones de instalación lo determinan, la temperatura y la tensión se pueden medir utilizando fibras separadas que operan en diferentes canales del mismo instrumento. Para el monitoreo de temperatura, la fibra óptica se instala dentro de un tubo protector suelto, lo que evita que las condiciones de tensión tengan un efecto significativo en las mediciones de temperatura. Para controlar la tensión, se requiere un sensor de tensión dedicado, para transferir la tensión a la fibra.
- Se caracteriza por ofrecer un alto nivel de flexibilidad para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones y entornos.
- Posee un alto rango dinámico, el rendimiento de la medición se puede mantener con hasta 20 dB de atenuación. Por otro lado, posee un alta velocidad en el lo que a la medición de refiere, superando de manera visible otras técnicas de medición. Se pueden medir 30 km de fibra en tan solo un minuto.

Para una mayor información se puede visitar la página web del fabricante [36].

En cuanto a los sensores que utilizan la técnica de scattering de Raman la empresa NKT ha desarrollado un sistema distribuido de temperatura que permite monitorizar la temperatura sobre sistemas que larga distancia, como por ejemplo los cables de vertido de los que se esta habñando. Mediante los sistema LIOS DTS se permite monitorizar esto cables de vertido con la utilización de una única hebra de fibra óptica como sensor sustituyéndose por numerosos sensores convencionales. El LIOS DTS permite, al igual que el DITEST, de realizar la medición de la temperatura de manera continua, es decir, realiza la medición en todos los puntos que tiene el cable de fibra. Como ya se ha explicado con anterioridad el LIOS basa su tecnología en el scattering de Raman y por tanto, usan la luz aprovechando este efecto, explicado anteriormente, para medir la temperatura. En un extremo del sistema, un láser envía un pulso de luz a través de la fibra óptica. Llamamos a este pulso de luz, la luz incidente. La mayor parte de la luz viaja a lo largo de la fibra, pero una pequeña porción se dispersa en cada punto a lo largo de la fibra. Casi toda la luz dispersada tiene una longitud de onda idéntica a la luz incidente, llamada dispersión de Rayleigh. Sin embargo, una pequeña cantidad de luz dispersada tiene una longitud de onda diferente, lo que se denomina efecto Raman. En el Anexo 3 se puede apreciar el Data-Sheet del sistema LIOS DTS [37].

Un ejemplo de aplicación del LIOS lo podemos encontrar en el siguiente artículo “Distributed Temperature Monitoring of Long Distance Submarine Cables”. En este artículo se habla sobre la monitorización de la temperatura del cable de vertido de un parque eólico off-shore. Para ello se utiliza un cable de fibra óptica monomodo, puesto que este tipo de fibras posee una atenuación muy baja con respecto a la distancia, se trata de una fibra compatible, y es económica. Antes de utilizarla se llevó a cabo un estudio con un OFDR, ya explicado con anterioridad, para averiguar el alcance máximo que puede soportar este tipo de fibra. Para este proyecto en particular se observó que la longitud requerida de fibra era posible para una correcta transmisión de la luz por la fibra. Este estudio se realizó para el parque eólico de Burbo Flats, en la bahía de Liverpool, aproximadamente a 6,4 km de la costa. La temperatura máxima que puede alcanzar el cable de vertido es de 90 ° C. Gracias al monitoreo continuo y distribuido de la temperatura del conductor a lo largo de toda la longitud del cable se permite la detección en tiempo real de las ubicaciones de los puntos calientes permitiendo prevenir la reducción de la vida útil al evitar una sobrecarga térmica del cable.

Este parque eólico off-shore está integrado por 25 aerogeneradores, estando diseñado para generar hasta 90 MW. La energía generada se va a transferir por tres cables vertido distintos. Cada uno de estos cables tendrá adosado su correspondiente cable de fibra óptica monomodo que permita la monitorización distribuida de la temperatura a tiempo real. Para llevar a cabo dicha monitorización de las tres ramas se utiliza el controlador OTS-200P-4CH-SM Raman-OFDR. El ciclo de medición es de 5 minutos por canal y la resolución de muestreo es de 2 metros. El láser utilizado emite 100 mW de potencia promedio a una longitud de onda de 1510 nm, modulándose desde frecuencias de unos pocos de KHz a unos 10 MHz. En la figura 4.14 podemos observar dicho controlador.

A continuación, vamos a centrarnos únicamente en un único cable de vertido.

La figura 4.15 muestra el perfil de temperatura del cable de vertido con dos cargas de corriente eléctrica diferentes. La longitud total de este cable de alimentación es de

aproximadamente 17 km. Este cable tiene varias secciones. La primera sección del cable se trata de un cable de conexión a tierra con una longitud aproximada de 4 km. Por otro lado, la sección dos del cable con una longitud de unos 8,5 km es un cable conductor submarino sin aerogeneradores. Finalmente, la sección tres del cable es el cable que conecta 8 de los aerogeneradores.



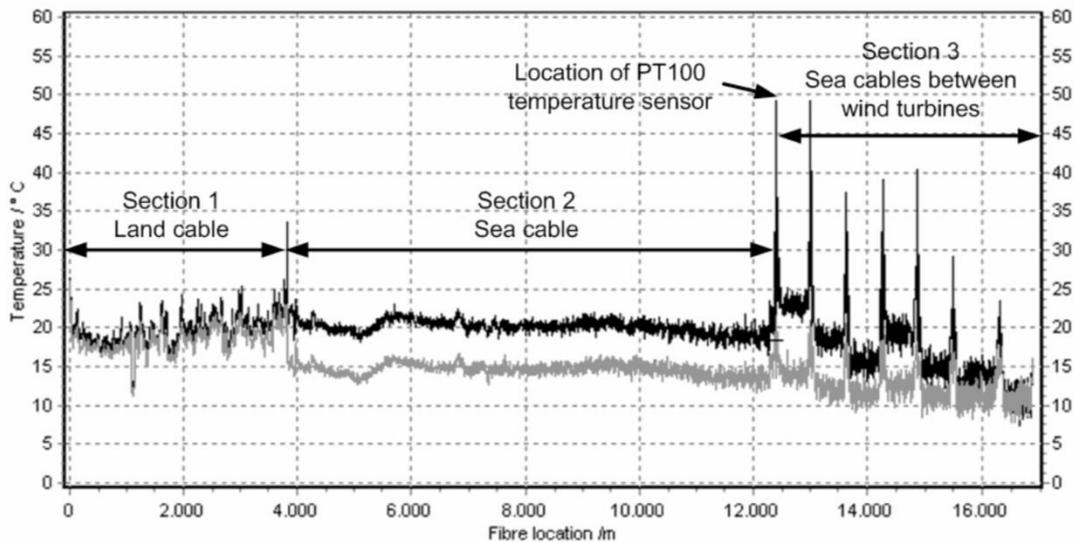
**Figura 4.14. DTS System** OTS-200P-4CH-SM de LIOS Technology.  
Fuente: Distributed Temperature Monitoring of Long Distance Submarine Cables [53].

El perfil de temperatura gris en la Figura 4.15 se tomó con una carga de corriente eléctrica baja, mientras que el perfil de temperatura negro se tomó con una carga de corriente eléctrica alta.

La comparación de ambos perfiles de temperatura muestra lo siguiente:

- La temperatura promedio del cable terrestre (sección 1) depende solo ligeramente de la carga. Esto indica una sección transversal del conductor suficiente y una conducción de calor adecuada al suelo. El patrón de temperatura con una magnitud de unos pocos ° C en el cable terrestre se debe a las diferentes conductividades térmicas locales relacionadas con el tendido del cable. Esta suposición también es compatible con el aumento de las magnitudes de ese patrón en una carga más alta. Un punto caliente con una magnitud de aproximadamente 12 ° C a alta carga se indica en la conexión de tierra (sección 1) y cables conductores submarinos (sección 2).
- El cable conductor submarino en la sección 2 muestra un patrón de temperatura débil que solo indica una conductividad térmica uniforme a lo largo del cable. Se espera esta conductividad térmica uniforme para un cable tendido en el lecho marino constantemente húmedo. A una carga más alta, se observa un aumento de temperatura de aproximadamente 5 ° C, que es claramente más fuerte que el aumento promedio en la sección 1.
- Los cables submarinos entre las turbinas eólicas (sección 3) muestran una dependencia diferente de la carga actual. Esto se relaciona con diferentes

secciones transversales de cables, así como con la disminución de la carga de corriente para las subsecciones externas de cables. Las ubicaciones de los cables más importantes están cerca de los aerogeneradores. Allí, los cables submarinos salen del agua para llegar a las terminales de las torres de las turbinas eólicas, y están rodeados por un aire de conducción del calor muy intenso durante unos pocos metros. La Figura 4.15 muestra temperaturas de puntos calientes de hasta 50 ° C en la terminación del cable en las torres de aerogeneradores. Esos lugares limitan claramente la carga de corriente máxima permitida de toda la instalación.



**Figura 4.15. Estudio de las distintas temperaturas que va sufriendo el cable de vertido.**  
Fuente: Distributed Temperature Monitoring of Long Distance Submarine Cables [53].

Para concluir con este capítulo es de interés el observar el siguiente video [38] en el que la empresa omnisens nos muestra más aplicaciones en las que se puede utilizar este tipo de sensorica, y explica de manera sencilla la lógica empleada. Existen otros muchos campos en los que podemos utilizar la tecnología de scattering de Brillouin utilizando cables de fibra óptica. Se pueden detectar desprendimientos, movimientos lentos de masas terrestres, hundimientos, inundaciones, etc.

## **CAPITULO 5. Conclusión y líneas futuras.**

## **5.1. Conclusiones**

En este proyecto se ha trabajado en la búsqueda de información sobre la relación existente entre el mundo de las energías renovables y el de las telecomunicaciones. En esta búsqueda se ha podido observar la gran importancia que tienen las telecomunicaciones para el desarrollo tecnológico de las EERR, así como, la ayuda que puede suponer la obtención de energía renovable para la alimentación de infraestructuras de telecomunicaciones como las BTS.

Con el presente trabajo se ha mostrado en primer lugar, la situación actual a nivel mundial, europeo y español, de la posición que ocupan las renovables en el contexto energético y político. Por otro lado, se ha podido observar los objetivos que actualmente están marcados de cara al futuro para evitar el aumento del cambio climático. Esto nos permite tener una visión global sobre las energías renovables, el ecosistema en el que se están moviendo y los objetivos que se están marcando para vivir en un mundo más sostenible. En resumidas cuentas una visión global de las energías renovables.

Respecto a la relación existente entre las EERR y el mundo de las telecomunicaciones, en primer lugar, se ha recabado información sobre las alternativas existentes para alimentar infraestructuras de telecomunicaciones de difícil acceso. Hasta hace unos años las infraestructuras a las cuales la red eléctrica no podía llegar normalmente eran alimentadas con combustibles fósiles como el diésel. Sin embargo, esta opción resulta muy contaminante a su vez que cara. Por este motivo, este tipo de infraestructuras, desde hace unos años, han comenzado a ser alimentadas con la utilización de energías sostenibles normalmente mediante la utilización de paneles solares o aerogeneradores, incluso sistemas que utilizan las dos tecnologías junto con generadores diésel para casos de no generación de energía “limpia”. Este tipo de implementaciones está permitiendo que se pueda llevar a cabo la alimentación de infraestructuras de difícil acceso, aunque a su vez, está permitiendo que zonas donde no existe red eléctrica, como ocurre en la mayoría de países en vías de desarrollo, puedan tener ciertos servicios, como luz, agua caliente etc.; así como posibilidad de comunicación vía radio.

Por otro lado, en este proyecto se puede observar como las telecomunicaciones también están ayudando al mundo de las EERR. La utilización de las telecomunicaciones está permitiendo, por un lado, la monitorización de infraestructuras renovables como pueden ser los parques eólicos o los parques solares. Gracias a las telecomunicaciones se han realizado redes de comunicación por las cuales se transmite información procedente de sensores colocados en los parques, permitiendo que desde una estación se pueda visualizar en tiempo real la situación del parque, y a su vez, estas redes de comunicación permiten llevar a cabo acciones desde estos centros de control. Poniendo de ejemplo un parque eólico, el mismo aerogenerador va a contener decenas de sensores que permiten medir la velocidad del viento, la velocidad de giro de las palas, la deformación que están sufriendo las palas, la dirección del viento, etc. Todos estos sensores están enviando esta información en tiempo real a los correspondientes centros de control gracias a redes de comunicación que pueden ser por ejemplo de fibra óptica, es decir, cableadas, aunque también nos podemos encontrar con ejemplos de redes inalámbricas, es decir, que transmiten la información vía radio. Podemos decir, por tanto, que las telecomunicaciones resultan imprescindibles para el correcto desarrollo y funcionamiento de las

infraestructuras que generan energía renovable, ya que sin la utilización de sensórica y de redes de comunicación todas estas infraestructuras, serían más peligrosas, menos eficientes y tendrían una menor vida útil.

En resumidas cuentas podemos concluir que estos dos mundos, las EERR y las telecomunicaciones están fuertemente ligadas.

## **5.2. Líneas futuras**

Como ya se ha comentado en este proyecto, el mundo de las telecomunicaciones está altamente ligado al de las energías renovables. En este proyecto hemos podido observar varios ejemplos en los que ambos ámbitos se retroalimentan, como la alimentación mediante energías renovables a las BTS, o la utilización de sensórica para monitorizar infraestructuras que generan este tipo de energías.

A pesar de que en la actualidad las energías renovables están muy arraigadas en la sociedad, se prevé que éstas tengan un gran crecimiento en los próximos años. Sin ir mas lejos, se espera un un importante incremento en la potencia instalada fotovoltaica. Las infraestructuras FV tendrán un papel protagonista junto con el de las telecomunicaciones. Por ejemplo en el ámbito de la gestión de la generación distribuida. En un futuro no muy lejano se pretende que la generación de la electricidad sea distribuida mediante la intervención de paneles solares, consiguiendo así maximizar la penetración de la generación distribuida en la red de distribución. Por otro lado, también jugarán un importante papel las telecomunicaciones ya que tendrán que encargarse de velar por el buen funcionamiento y la estabilidad del sistema eléctrico ante escenarios de demanda variable mediante la utilización de redes de comunicación que permitan monitorizar el sistema eléctrico en tiempo real, esto es lo que se conoce como las “*Smart Grids*” o redes inteligentes. Estas redes inteligentes deberán ser capaces de equilibrar todos los puntos donde exista un déficit o un superávit energético debido al suministro no constante de energía que aportan las infraestructuras de EERR.

De este modo se conseguirán grandes avances en el sector eléctrico creando una red que sea más limpia y respetuosa con el medio ambiente.

No obstante, se debe tener en cuenta que estos avances tan necesarios para evolucionar y dar un paso hacia el futuro no van a ser posibles sin la ayuda de los gobiernos mediante la elaboración de políticas que fomenten este tipo de prácticas mediante la inversión en i+d, así como con subvenciones que permitan crecer de manera exponencial el arraigamiento de las EERR.

## REFERENCIAS

- [1] [http://mediambient.gencat.cat/es/05\\_ambits\\_dactuacio/educacio\\_i\\_sostenibilitat/educacio\\_per\\_a\\_la\\_sostenibilitat/suport\\_educatiu/experiencies\\_centres/energia/informacio/2/](http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/educacio_i_sostenibilitat/educacio_per_a_la_sostenibilitat/suport_educatiu/experiencies_centres/energia/informacio/2/)
- [2] <https://earthobservatory.nasa.gov/WorldOfChange/decadaltemp.php>
- [3] <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-reportrenewables-2017-global-status-report/>
- [4] <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/antenas-dipolo/>
- [5] <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/1165/pdf>
- [6] <https://core.ac.uk/download/pdf/53273807.pdf>
- [7] [http://www.proviento.com.co/estaciones\\_rainwise.html](http://www.proviento.com.co/estaciones_rainwise.html)
- [8] <https://www.xataka.com/automovil/este-coche-se-mueve-con-energia-solar-no-necesita-bateria-y-dicen-que-es-capaz-de-superar-los-100-km-h>
- [9] <https://www.radarsign.com/es/tabla-de-comparacion-de-los-modelos-de-radares-medidores-de-velocidad/radar-medidor-de-velocidad-de-matriz-completa-tc-600/>
- [10] <https://www.bornay.com/es/noticias/bee-800-utilizado-para-radares-de-tramo>
- [11] <https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/bee-800>
- [12] <http://www.ree.es/en/activities/operation-of-the-electricity-system/control-centre-renewable-energies>
- [13] [https://experience.acciona.com/es/energias-renovables/cecoer-centro-control-energias-renovables/#\\_ga=2.97770015.1215869816.1536151264-1040196935.1536151264](https://experience.acciona.com/es/energias-renovables/cecoer-centro-control-energias-renovables/#_ga=2.97770015.1215869816.1536151264-1040196935.1536151264)
- [14] <https://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/proyectos-emblematicos/centro-control-energias-renovables/>
- [15] [http://www.gobiernodecanarias.org/ceic/documentos/eolica/V-O7\\_TF-567.pdf](http://www.gobiernodecanarias.org/ceic/documentos/eolica/V-O7_TF-567.pdf)
- [16] <https://es.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- [17] <http://www.cidel2014.com/papers/542.pdf>
- [18] [https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_control\\_de\\_transmisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_control_de_transmisi%C3%B3n)
- [19] <http://www.redislogar.com/equipamiento-e-infraestructuras-para-parques-eolicos>
- [20] <https://es.wikipedia.org/wiki/Zigbee>
- [21] <https://www.xataka.com/seguridad/que-es-una-conexion-vpn-para-que-sirve-y-que-ventajas-tiene>
- [22] <http://www.techbase.eu/es/solution/monitoring-and-control/124-monitoring-farm-wiatrowych.html>
- [23] <https://es.wikipedia.org/wiki/Termograf%C3%ADa>
- [24] [https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_infrarroja](https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_infrarroja)
- [25] <https://www.enerheating.com/blog/calefaccion-infrarrojos-tipos-diferencias/>
- [26] <http://www.droniter.com/blog/termografia-con-drones-en-instalaciones-fotovoltaicas>
- [27] <http://www.alava-ing.es/repositorio/b0c5/pdf/3580/2/cameras-de-imagen-termica---placas-solares.pdf>
- [28] <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/camara-termica-pce-tc6.htm>

- [29] <http://www.ni.com/white-paper/11821/es/>
- [30] <https://www.hbm.com/es/7357/cadenas-de-sensores-opticos-de-deformacion-consejos/>
- [31] <https://www.hbm.com/es/4681/windmeter-sistema-optico-de-monitorizacion-de-palas-de-aerogeneradores/>
- [32] <http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/sensores-adquisicion-de-datos-y-calibracion/medida-con-fibra-optica/fibra-optica---redes-de-bragg/>
- [33] [https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_Raman](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Raman)
- [34] [https://drive.google.com/drive/folders/1Jrg5zIDUF6m\\_laSwxUqtWqpWnr5SplzP](https://drive.google.com/drive/folders/1Jrg5zIDUF6m_laSwxUqtWqpWnr5SplzP)
- [35] <https://cuartodecomunicaciones.com/index.php/component/k2/itemlist/user/771-administrador>
- [36] <http://www.omnisens.com/ditest/362-bst.php>
- [37] <https://www.nktpotonics.com/lios/en/technology/distributed-temperature-sensing/>
- [38] <https://www.youtube.com/playlist?list=PLX4XayyVAjYW8BVvegbg1HYH-hU7f5SoR>
- [39] <http://www.techbase.eu/es/products/139-imod-x1000.html>
- [40] <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/193/course/section/97/EyT-Apunes-1718%20-%20CH2%20-%20SOLAR.pdf>
- [41] <http://www.sennetmonitoring.com/en/portfolio/solar-plants-monitoring-fotowatio/>
- [42] <http://www.satel-iberia.com/sennet-solar-monitorizacion-remota-de-instalaciones-fotovoltaicas/>
- [43] <http://www.technosun.com/es/productos/comunicacion-moitorizacion-remota-SCHNEIDER-ELECTRIC-COMBOX.php>
- [44] <https://nea.is>
- [45] <http://www.ecoavant.com/es/notices/2017/03/islandia-se-abastece-al-100-de-energias-renovables-3037.php>
- [46] <http://bit.ly/2sVemHV>
- [47] [www.mincotur.gob.es](http://www.mincotur.gob.es)
- [48] <http://bit.ly/2sVemHV>
- [49] [http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe\\_cexpertos\\_20180402\\_veditado.pdf](http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_20180402_veditado.pdf)
- [50] <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/193/course/section/97/EyT-Apunes-1718%20-%20CH1%20-%20INTRO.pdf>
- [51] [https://es.wikipedia.org/wiki/Dispersión\\_de\\_Rayleigh](https://es.wikipedia.org/wiki/Dispersión_de_Rayleigh)
- [52] <http://www.omnisens.com/ditest/362-bst.php>
- [53] Distributed Temperature Monitoring of Long Distance Submarine Cables
- [54] OFS Quasi-Distributed Transducer for Wind Blade Monitoring

## ANEXO 1. Data-Sheet del sensor de temperatura TP-02

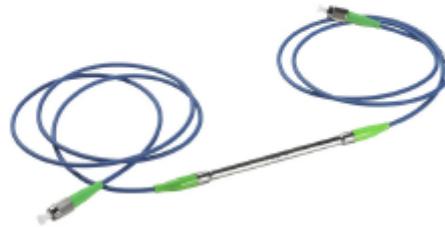
Data-Sheet del sensor, tipo FBG, TP-02.



Temperature Probe TP-02

### Description

The fibre optic temperature probe TP-02 is a ruggedized temperature sensor which can be used in a series configuration. It detects temperature changes via the intrinsic temperature sensitivity of the FBG and via the thermal expansion of the FBG support. The sensor has two pigtails with FC/APC connectors.



### Features

- Temperature sensing for serial configurations
- High accuracy because of small hysteresis and good wavelength reproducibility
- Watertight and ruggedized housing, applicable in harsh environments
- Embeddable in concrete

### Applications

High accuracy temperature sensing in a fibre optic sensing network for various purposes. Applicable both indoors as well as outdoors.

### Standard specifications

Parameter	Unit	Value
Temperature accuracy <sup>1</sup>	°C	1
Temperature sensitivity	pm/°C	23
Temperature range <sup>2</sup>	°C	-10 to +85
FBG wavelength <sup>3</sup>	nm	1510 to 1590
Sensor length	cm	11
Housing diameter	mm	6
Housing material	-	SS316
Pigtail diameter	mm	3
Pigtail length <sup>4</sup>	m	1.5
Pigtail material	-	LDPE
Connector type	-	FC/APC
Water tightness <sup>5</sup>	-	IP68

<sup>1</sup> The sensor accuracy does not contain error sources originating from the read-out equipment.

<sup>2</sup> Extended range possible on request

<sup>3</sup> The FBG is in fact a Draw Tower Grating (DTG) i.e. written in the fibre while drawing it, see [www.fbgs-technologies.com](http://www.fbgs-technologies.com) for further information.

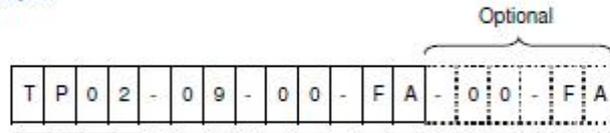
<sup>4</sup> Extended on request.

<sup>5</sup> Watertight at 10 bar for 12 hours



**Ordering information**

Example:



Product	
TP-02	Temperature Probe

Nominal wavelength	
Standard	
01	1512 nm
02	1517 nm
03	1522 nm
04	1527 nm
05	1532 nm
06	1537 nm
07	1542 nm
08	1547 nm
09	1552 nm
10	1557 nm
11	1562 nm
12	1567 nm
13	1572 nm
14	1577 nm
15	1582 nm
16	1587 nm
Custom: Contact sales department	

Pigtail length left	
Standard:	
00	1.5 m
Custom: length in XX meters	

Pigtail length right	
Standard:	
00	1.5 m
Custom: length in XX meters	

Connector type left	
Standard:	
FA	FC/APC
Custom: Contact sales department	

Connector type right	
Standard:	
FA	FC/APC
Custom: Contact sales department	

## ANEXO 2. Data-Sheet del extensómetro BDS-01

Extensómetro Borehole Deformation System BDS-01, del tipo FBG.



### Borehole Deformation System BDS-01

#### Description

The borehole deformation system is based on the Fibre Bragg Grating technology and is designed to monitor the deformation in the longitudinal direction of a borehole.

Within the borehole, different fixation points can be realized at well defined positions by using special borehole anchors. Furthermore, a strain cable (see SC-01) is connected between each anchoring point and a metal head plate fixed at the entrance of the borehole. In this way, the displacement of each anchoring point relative to the entrance point of the borehole can be measured. Furthermore, a temperature cable can be inserted to measure the temperature distribution inside the borehole.

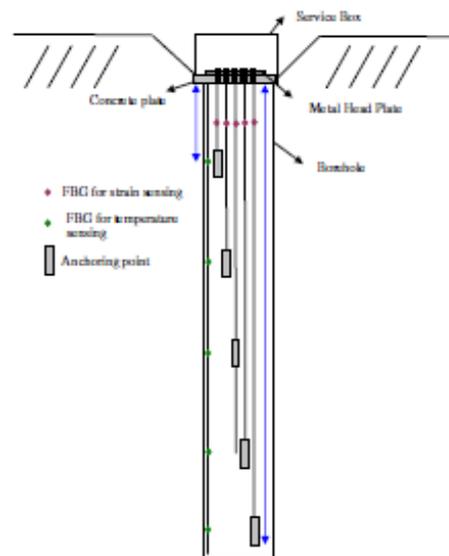
#### Installation issues

The borehole extensometers can be installed in a 86 mm borehole. Boreholes should be free-draining, if possible. Holes must be clean and free of dirt before installation. The extensometer measures only axial movement, so boreholes should be drilled to accommodate this.

The depth of the anchors is determined mainly by geological factors and the size and geometry of the mass being instrumented. It is useful to have one of the anchors located in stable ground so that it can serve as a reference for movements of the other anchors.

#### Features

- Measurement of axial displacements in boreholes for up to 6 different anchoring points.
- Draw Tower Gratings (DTGs) are used ensuring high fiber strength
- Temperature cross-sensitive: when large temperature variations are expected, a temperature chain can be inserted for compensation purposes.





### Applications

The borehole deformation system can be applied for borehole deformation movements and thermo-mechanical characterization of clay, rock, granite and salt cavities or tunnels. It can also be used to measure and monitor settlement in a foundation due to construction of a heavy structure over the foundation.

### Standard specifications

Parameter	Unit	Value
Number of extensometers	-	≤ 5
Displacement accuracy	%	1
Displacement range	% FD <sup>1</sup>	1
Temperature range <sup>2</sup>	°C	-10 to 60
Number of temperature sensors	-	On request
Depth of the borehole <sup>3</sup>	m	≤ 20
Diameter of the borehole	mm	86
Connector type	-	FC/APC

<sup>1</sup> FD = Fixation Depth of the anchor

<sup>2</sup> Extended temperature range possible on request

<sup>3</sup> Extended depths (borehole) possible on request

### Ordering information

Contact FOS&S

### ANEXO 3. Data-Sheet del sistema LIOS DTS

Data-Sheet del sistema LIOS DTS, basa su tecnología en el scattering de Raman. Utilizado como sistema medidor de temperatura.



## LIOS PRE.VENT

INDUSTRIAL TEMPERATURE MONITORING

### Fibre Optic Distributed Temperature Sensing



#### LIOS DTS Technology for

- Reactor & Process Engineering
- Pipeline Monitoring
- Environmental Monitoring

The LIOS temperature monitoring solutions are based on using passive optical fibres as distributed temperature sensors.

- Highly reliable industrial design with key components approved by the telecom industry (tested according to Telecordia standard GR-468).
- Excellent Mean-time-between-failures (MTBF) rating of more than 30 years.
- Signal processing based on patented Raman OFDR Technology (Optical Frequency Domain Reflectometry)

- Up to 16 internal fibre optic channels, available single ended or in loop setup (redundancy concept)
- High spatial resolution <1m
- Minimum Temperature resolution
- Laser product class 1M according to IEC / EN 60825-1
- Flexible and direct connection to management systems such as SCADA
- Maintenance free and low power consumption DTS for simplified outdoor installation capability
- Fan-free DTS unit design with passive cooling, no moving parts and higher allowed operating temperature range
- Superior environmental stability over full operating temperature range
- Easy commissioning and self-diagnostics
- Unique experience and impressive track record with more than 4500 permanent units deployed worldwide

#### PRE.VENT DTS models – Distributed Temperature Sensing

OTS3 – 20, 40, 60, 80	Monitoring ranges 2 km, 4 km, 6 km, 8 km (per channel)
OTS3 – 100, 120, 140, 160	Monitoring ranges 10 km, 12 km, 14 km (per channel)
OTS – 180, 200, 250, 300	Monitoring ranges 16 km, 18 km, 20 km (per channel)
OTS – 250, 300, 400	Monitoring ranges 20 km, 30 km, 40 km (per channel)
Internal optical channels	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16 (options, available single ended or loop setup)
Sampling Interval	2 m, 1 m, 0.5 m, 0.25 m

#### Communication / SCADA interfaces

Programmable inputs	4 (optional up to 40)
Programmable outputs (potential-free)	10 (optional up to 106)
Communication interfaces	Ethernet (2x), RS232, USB
Communication protocols	MODBUS, DNP3, IEC60870, IEC61850 (options)
External sensor inputs	Pt100(2x), Current0-20mA(2x), Voltage0-10V(2x)(option)

#### Mechanical data

Controller	19" Rack / 3 rack height units
Dimensions (H x W x D)	13.1 x 48.3 x 33.8 cm
Weight	13kg

#### Electrical data

Operating voltage (DC Controller)	DC nom. 12 ... 48 V (max. 10 ... 60 V DC)
Mains voltage (AC Controller)	AC 100 ... 240 V or DC 110... 220 V
Power consumption (DC Controller)	<25W (max. 45 W/60°C)

#### Optical data

Optical connector	E2000 / APC
Laser classification	Class 1M (EN60825-1:2007)
Fibre type, multimode – ranges 2 ... 20 km	Gradient index 50/125 µm or optionally 62.5/125 µm multimode
Fibre type, singlemode – ranges 20 ... 40 km	SM 9/125 µm singlemode

#### Environmental conditions

Storage temperature	-35 ... +75 °C
Operating temperature	-10 ... +60 °C
Humidity (non condensing)	<95 % rel.
Protection class (IEC 60529)	IP51

# LIOS PRE.VENT

INDUSTRIAL TEMPERATURE MONITORING



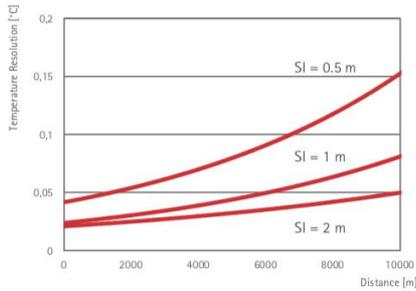
**Compliance**

Electrical safety	IEC/UL 61010-1, IEC 61140 Low voltage directive 2006/95/EC
EMC	EN 61326-1, EN 50130-4, EN 55011 EN 61000-6-2,3,-4-2,3,4,5,6,8,11-3-2,3 FCC 47 CFR Ch.1 part 15
Laser safety	EN 60825-1,-2
Explosion safety (option)	IEGEx-Scheme, ATEX – Directive, EN/IEG 60079-0,-28
Environmental testing	IEC 60068-2-6,14,27,30,64, NAVMAT P-9492, ISO 13628-6 MIL-STD-810F, FED-STD-101C
Environmental compliance	RoHS directive 2002/95/EC, WEEE directive 2002/96/EC

**PRE.VENT DTS capabilities – Temperature resolution**

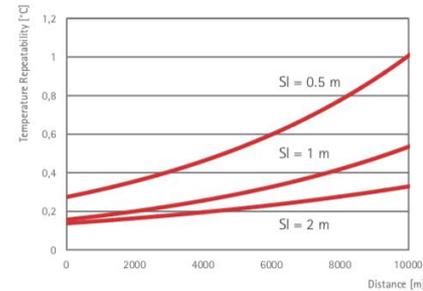
For 10 min cycle time and 75 °C fibre temperature, example data

Multi mode DTS controller

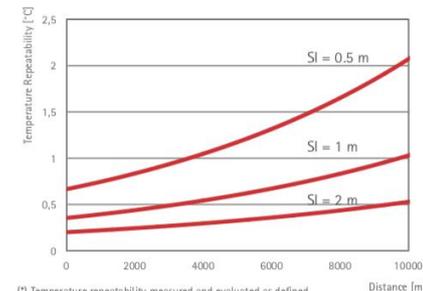
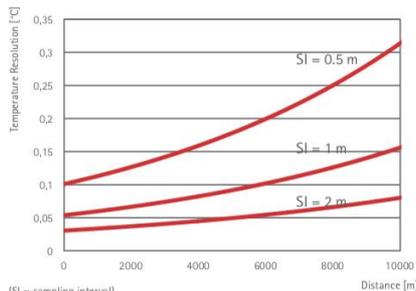


**Temperature repeatability**

For 10 min cycle time and 75 °C fibre temperature (\*)



Single mode DTS controller



(SI = sampling interval)

(\*) Temperature repeatability measured and evaluated as defined in SEAFOM recommendation MSP\_1



© 2017 Copyright by LIOS Technology GmbH  
Data and design subject to change without notice.  
Supply subject to availability.  
LIOS Technology is a registered trademark.  
Document: LIOS DTS Datasheet Edition: 18.08.2017

LIOS Technology GmbH  
Schanzenstrasse 39 / Building D9-D13  
51063 Cologne, Germany  
Phone +49 221 99887-0 / Fax +49 221 99887-150  
info@lios-tech.com / www.nktphotonics.com/lios