



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Escuela de  
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

**Máster en Ingeniería de Minas**



**Trabajo Fin de Máster**

**Cálculo de viabilidad económica para la activación de  
retenes en parques eólicos**

**Autor: Carlos Polo Galiano**

**Tutor: Francisco Javier Iglesias Rodríguez**

**Oviedo, julio de 2018**



# AGRADECIMIENTOS

---

Me gustaría dar el agradecimiento a varias personas que han hecho posible el cumplimiento de este Trabajo Fin de Máster. En primer lugar, a mi tutor, Francisco Javier Iglesias Rodríguez, porque gracias a su paciencia, dedicación y capacidad para simplificar la complejidad, he sido capaz de entender todos los aspectos necesarios para la realización de este proyecto.

Después, dar las gracias a la empresa EDP Renovables, debido a que me ha ofrecido la oportunidad de ser becario a la vez que compaginaba mis estudios de Máster, y más en concreto a mi tutor de prácticas, Víctor Marchena Álvarez, ya que ha conseguido motivarme y hacerme sentir importante en el trabajo que he realizado en la empresa, encomendándome objetivos con una notable responsabilidad además de ofrecerme flexibilidad para elegir un horario con el que pude atender todos los compromisos que me exigía el Máster. Gracias a todo ello, encontré la motivación necesaria para realizar este Trabajo Fin de Máster sobre un tema directamente relacionado con las funciones del departamento donde realizo las prácticas, siendo un objetivo apasionante a la vez que interesante para culminar mi etapa en el Máster.

Agradecer a amigos y compañeros que han estado apoyándome durante todo este proceso, y en parte, gracias a ellos he conseguido acabar este período de mi vida académica, así como a todos los profesores y compañeros de trabajo que he tenido la suerte de tener, por todo lo que me han enseñado y la ilusión que me han transmitido.

Por último y sin ser menos importante, a toda mi familia, en concreto a mis padres, que me han guiado durante toda mi vida, y me han brindado la maravillosa oportunidad de estudiar lo que realmente quería. Os estaré eternamente agradecido.

# RESUMEN

---

A partir de junio de 2014, la normativa que rige el precio correspondiente a la energía eólica cambió. Se pasó de tener un precio fijo bastante elevado, motivado por las subvenciones concedidas a las energías renovables, a contribuir de igual manera que otras tecnologías en el mercado eléctrico español, pasando a tener un precio horario variable (precio pool).

Este cambio tuvo un gran impacto en la organización de parques eólicos, obligando a cambiar los contratos de mantenimiento que se tenían. Antes del cambio de legislación, se disponía comúnmente de contratos de mantenimiento durante los siete días a la semana, pero a partir de entonces, dejó de ser económicamente tan rentable, y se hizo necesario disponer de un horario de mantenimiento más reducido, normalmente de lunes a viernes, al que se añade un sistema de retenes, que no es más que un servicio de mantenimiento adicional durante parte del período que no cubre el horario laboral. Este servicio tiene un alto coste, pero el contratista tiene la capacidad de activarlo solamente cuando crea conveniente.

De esta manera, en grandes empresas de control de parques eólicos surgió la necesidad de desarrollar herramientas informáticas que ayuden a determinar la toma de decisión a la persona responsable de activar el retén. Este programa debería de hacer un cálculo en tiempo real que determinase en qué casos activar un retén sería económicamente rentable, teniendo en cuenta el coste del retén y el beneficio que se espera obtener por la actuación del servicio. Posteriormente, para comprobar el buen funcionamiento de los algoritmos utilizados, habría que realizar un cálculo del beneficio real generado por las activaciones producidas, además de verificar que no se produjo un beneficio económico para las ocasiones que el programa no prevé que vaya a suceder.

Siguiendo todas estas directrices, en este Trabajo Fin de Máster se explica la creación, optimización y funcionamiento de unas aplicaciones informáticas que realizan actualmente estos cometidos para la administración de 94 parques eólicos, gestionados por el centro de control eólico de la empresa EDP Renovables en Oviedo, donde he realizado las prácticas.

Palabras clave: *retén, parque eólico, macro, viabilidad económica, mercado eléctrico.*

# ÍNDICE

---

<b>I. MEMORIA .....</b>	<b>0</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.3. Presentación de la memoria .....	2
2. LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL.....	4
2.1. Introducción a la energía eólica .....	4
2.2. Estado actual de la energía eólica en España .....	5
2.3. El mercado eléctrico español .....	10
2.3.1. Definiciones previas .....	10
2.3.2. Organización del mercado eléctrico.....	10
2.3.3. Programación de la generación .....	12
2.4. Legislación. Punto de inflexión en junio de 2014.....	15
2.4.1. Repaso a las leyes más significativas.....	16
2.4.2. Cambio del régimen económico en el R.D. 413/2014.....	17
2.4.3. Conclusiones sobre el cambio de normativa .....	21
3. INFORMACIÓN PREVIA AL CÁLCULO .....	23
3.1. Descripción de la empresa EDP Renovables .....	23
3.1.1. Departamento en el que se realiza el estudio .....	26
3.2. Herramientas utilizadas en el cálculo.....	29
3.3. Funcionamiento detallado de los retenes .....	31
3.3.1. Horarios .....	31
3.3.2. Agrupaciones de parques .....	32
3.3.3. Precios de retén .....	33
3.3.4. Estimación de las condiciones meteorológicas.....	33
3.3.5. Precio de mercado .....	34
3.4. Esquema de las variables a tener en cuenta .....	35
4. CÁLCULO DE VIABILIDAD PARA LA ACTIVACIÓN DE RETENES .....	36
4.1. Estimación de la viabilidad económica para determinar la activación de retenes ....	36
4.1.1. Objetivos.....	36
4.1.2. Funcionamiento general .....	37
4.1.3. Estructura y uso de la aplicación.....	40
4.1.4. Conclusiones .....	52

4.2. Cálculo del beneficio económico de los retenes activados .....	53
4.2.1. Objetivos .....	53
4.2.2. Funcionamiento General .....	53
4.2.3. Estructura y uso de la aplicación .....	58
4.2.4. Conclusiones .....	67
4.3. Comprobación de la inviabilidad económica para los retenes no activados .....	68
4.3.1. Objetivos .....	68
4.3.2. Funcionamiento General .....	68
4.3.3. Estructura y uso de la aplicación .....	76
4.3.4. Conclusiones .....	87
5. CONCLUSIONES FINALES DEL TRABAJO .....	88
6. BIBLIOGRAFÍA .....	90

## **II. ANEXOS ..... 91**

ANEXO I: CÓDIGO FUENTE DE LA 2º APLICACIÓN EXPLICADA .....	94
Formulario UserForm_CALENDARIO .....	95
Formulario UserForm_ECONOMIC .....	97
Formulario UserForm_TIME_PRICE .....	97
Módulo A_Tiempos_y_Costes .....	98
Módulo B_Calculo_Economico .....	111
Módulo C_Aumentar_Barra_Progreso .....	128
Módulo D_Limpiar_todo_SAP .....	129
Módulo E_Resultados_Finales .....	130

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1: Evolución de la potencia eólica instalada en España de 2004 a 2017.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2: Evolución de la generación de energía eólica en España de 2004 a 2017. ....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: Potencia eólica instalada en MW por CC. AA. en 2016 [8].....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4: Generación eólica en GWh por CC.AA. en 2016 [8]. ....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5: Generación de energía eólica respecto a la total en España de 2004 a 2017. ....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 6: Esquema de la programación del mercado eléctrico español [4].....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7: Programación de los días D-2 y D-1 [4]. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8: Sesiones del Mercado Intradiario. Día D y D-1 [4].....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9: Límites sobre el precio pool que determina el R.D. 413/2014 [2]. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10: Gestión de los activos de EDPR [3]. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11: Proceso seguido por EDPR para la construcción y operación de activos [3].</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12: Activos supervisados por EDPR en todo el mundo [4]. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13: Correspondencia entre los centros de control del grupo EDPR [4]. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14: Esquema de las funciones principales de los despachos de EDPR [4].....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 15: Arquitectura y conexiones de planta y centro de control [4]. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16: Resumen de las principales variables que afectan a la activación de retenes .</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17: Funcionamiento del programa de estimación de viabilidad económica. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18: Pestaña “Main” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19: Proceso para ejecutar el cálculo de la estimación con opción de corrección.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20: Formulario para realizar modificaciones manuales para el cálculo final.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21: Pestaña “O_W” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22: Pestaña “WTG” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 23: Pestaña “O_C_S” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 24: Pestaña “Group” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 25: Pestaña “Calc” del programa de estimación de viabilidad económica.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 26: Pestaña “Date” del programa de estimación de viabilidad económica. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 27: Captura del código del programa de estimación de viabilidad económica. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 28: Estimaciones de activaciones de retén con beneficio económico (amarillo). ..</i>	<i>51</i>
<i>Figura 29: Funcionamiento del programa de cálculo de beneficio de retenes activados..</i>	<i>57</i>
<i>Figura 30: Pestaña “Info” del programa de cálculo económico de los retenes activados.</i>	<i>59</i>

<i>Figura 31: Pestaña “SAP”. Zona de encabezados grises y morados.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 32: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados azules. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 33: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados naranjas. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 34: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados negros. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 35: Pestaña “Price” del programa de cálculo económico de los retenes.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 36: Pestaña “Metrics”. Cálculo energético y económico individual. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 37: Pestaña “Metrics”. Cálculo beneficio/pérdida final de cada activación.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 38: Pestaña “RESULTADOS”. Visión general de los resultados por meses. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 39: Pestaña “Otros criterios Price”. Criterios de precios por fecha.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 40: Captura del código utilizado en el programa de cálculo económico. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 41: Formulario de progreso y pregunta inicial del módulo A_Tiempos_y_Costes.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 42: Formulario para indicar el período que se quiere calcular. ....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 43: Resultados alcanzados por el programa de cálculo de económico de retenes.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 44: Primera parte del funcionamiento del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 45: Segunda parte del funcionamiento del cálculo de retenes no activados. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 46: Pestaña “Main” del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 47: Pestaña “Datos Brutos” del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 48: Pestaña “RESULTADOS” del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 49: Pestaña “ActivacionReten” del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 50: Pestaña “Coste_Reten” del cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 51: Pestaña “Precios_Pool” del cálculo de retenes no activados. ....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 52: Pestaña “DataBase” del cálculo de retenes no activados. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 53: Pestaña “Información” del cálculo de retenes no activados. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 54: Pestaña “Plantilla” del cálculo de retenes no activados (1). ....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 55: Pestaña “Plantilla” del cálculo de retenes no activados (2). ....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 56: Captura del código utilizado en el cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 57: Formularios utilizados en el módulo A_FILTRADO_DATOS.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 58: Resultados obtenidos en la aplicación de cálculo de retenes no activados.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 59: Estructura de la programación de la aplicación de cálculo económico. ....</i>	<i>94</i>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 1: Servicios de ajuste del mercado eléctrico español [4].</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2: Ejemplo de horarios de mantenimiento de un parque eólico concreto.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3: Extensión de código utilizado en cada módulo y formulario del 3º programa.</i>	<i>83</i>

# I. MEMORIA



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MOTIVACIÓN

Con el objetivo de finalizar los estudios del Máster Universitario en Ingeniería de Minas, se ha realizado el presente documento en el que se expone el Trabajo Fin de Máster titulado “*Cálculo de viabilidad económica para la activación de retenes en parques eólicos*”. Este estudio se ha desarrollado siguiendo las pautas exigidas por mi tutor de prácticas en la empresa EDP Renovables sobre los objetivos que se querían alcanzar en los cálculos, así como por las indicaciones del tutor académico, para adecuar todos los contenidos de esta memoria convenientemente.

Se ha escogido este tema para el trabajo debido a tres motivos principalmente: en primer lugar, por la necesidad que tenía la empresa para tener optimizados estos cálculos lo antes posible y el compromiso que suponía dedicarme a ello; en segundo lugar, por el carácter práctico de los resultados, debido a que la finalidad de todo este trabajo es conseguir unos datos que corroboren un beneficio económico real para la empresa; y finalmente, porque para conseguir los objetivos deseados, se hace necesario mezclar conceptos muy variados, como disponer de conocimientos de ingeniería energética para realizar los cálculos correctamente, de fundamentos de programación para la creación de algoritmos capaces de facilitar todo el tratamiento de la información, así como el desarrollo de aplicaciones para la interacción con el usuario y finalmente un estudio completo del funcionamiento del despacho eólico de Oviedo de la empresa EDP Renovables. Todos estos aspectos han sido clave para embarcarme en este proyecto, aportándome la motivación suficiente para afrontar satisfactoriamente todos los retos que han ido surgiendo hasta alcanzar el objetivo final.

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo general que se persigue en este Trabajo Fin de Máster es fundamentalmente la creación de una herramienta que sea capaz de estimar la viabilidad económica de la activación de retenes en parques eólicos en tiempo real, y posteriormente, hacer un cálculo económico que determine el beneficio o pérdida generado en el proceso y ratificar que el



algoritmo utilizado en dicha estimación está funcionando de la mejor manera posible. Para alcanzarlo es necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- 1) Recopilar la información necesaria sobre la actividad del departamento de EDP Renovables donde se realiza la gestión de retenes de los parques eólicos.
- 2) Estudiar detalladamente el funcionamiento de la activación de retenes, así como todas sus variantes y definir razonadamente los parámetros que afectarán al cálculo que se pretende alcanzar.
- 3) Adquirir los conocimientos necesarios sobre el manejo de las herramientas informáticas utilizadas. Lo más destacado es el uso del lenguaje VBA (Visual Basic for Applications), que se utiliza para crear la programación en Microsoft Excel. Otros programas importantes son SAP y PI Datalink, fundamentalmente para la extracción de datos.
- 4) Optimizar un programa en Microsoft Excel capaz de ofrecer una estimación en tiempo real de aquellas activaciones de retén que van a suponer un beneficio económico.
- 5) Definir y ejecutar un cálculo del beneficio económico obtenido con las activaciones de retén producidas siguiendo el algoritmo del programa anterior.
- 6) Hacer una comprobación del beneficio o pérdida económica para las ocasiones en que no se activó retén según la estimación del programa, al no indicar la viabilidad económica, y corroborar el buen funcionamiento del mismo.

### **1.3. PRESENTACIÓN DE LA MEMORIA**

Esta memoria representa un sumario del procedimiento de trabajo realizado para la conclusión del Trabajo Fin de Máster, exponiendo los resultados obtenidos y el método seguido para su consecución. Está organizada en seis capítulos:

Después de este capítulo de introducción, se describen todos los datos referentes a la situación de la energía eólica en el mercado eléctrico español. Además, se explica por qué anteriormente no se disponía de un servicio de retén en los parques eólicos y cómo a partir de junio del año 2014 fue necesario introducir debido a un cambio en la legislación que regula el precio de la energía eólica.



El tercer capítulo está dividido en tres partes: en primer lugar, una pequeña descripción del funcionamiento tanto de la empresa donde he realizado el presente trabajo, EDP Renovables, como del departamento donde he estado asignado y en el que se utilizan actualmente las aplicaciones desarrolladas en este trabajo; en segundo lugar, definir brevemente todos los programas informáticos que se van a emplear; y por último, una explicación razonada de todos los parámetros que influyen en el funcionamiento de los retenes, y que hay que tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos.

En el cuarto capítulo se define la creación, el funcionamiento y los resultados obtenidos para las tres aplicaciones creadas en Microsoft Excel mediante VBA (Visual Basic for Applications), además de la interacción de estas aplicaciones con otras herramientas informáticas.

El quinto capítulo comprende una recopilación de las conclusiones obtenidas en el trabajo. Tras él, se enumera la bibliografía empleada.

Finalmente, a continuación de la memoria, se incluye un anexo en el que se añade parte de la programación utilizada en VBA para las aplicaciones explicadas en los capítulos anteriores. No se adjunta la totalidad del código fuente de las tres aplicaciones por dos motivos: para evitar aumentar en mayor medida la extensión del Trabajo Fin de Máster y para mantener la confidencialidad de parte del código y evitar que pueda ser plagiado fácilmente.



## 2. LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL

### 2.1. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA

El hombre siempre ha aprovechado la energía del viento. El primer molino del que se tiene referencias funcionó en el siglo VI antes de Cristo. Desde entonces, la tecnología eólica se ha ido diversificando y ha permitido bombear agua, moler grano y, en la actualidad, generar electricidad.

La cantidad de energía contenida o proporcionada por las masas de aire en movimiento en su circulación por las capas bajas de la atmósfera, representa un nivel de potencial energético relativamente elevado, especialmente en determinadas condiciones locales y temporales, de tal modo que se justifica el esfuerzo por llevar a cabo su transformación en energía útil y su aprovechamiento en condiciones favorables de eficiencia y rentabilidad, dado el grado de desarrollo alcanzado por las tecnologías de conversión eólica [6].

El viento resulta de la expansión y convección del aire provocadas por las diferentes absorciones de la energía solar de la Tierra. A escala global, estos efectos térmicos se combinan con efectos dinámicos debidos a la rotación terrestre dando lugar a la circulación general atmosférica. Además de esta situación a gran escala, se dan importantes variaciones locales y temporales causadas por factores geográficos y climatológicos. Estas variaciones son de gran importancia, ya que la energía eólica disponible por unidad de área expuesta al viento es proporcional al cubo de la velocidad, por lo que pequeñas variaciones en la velocidad del viento conllevan sensibles variaciones en la energía suministrada [6].

Las características del viento influyen de forma importante en varias áreas de trabajo relacionadas con los sistemas de aprovechamiento de la energía eólica [6]:

- En la selección del emplazamiento más favorable para la instalación de los sistemas eólicos, dadas las acusadas diferencias locales del viento.
- En la estimación o previsión de la producción energética y del funcionamiento global de la instalación, donde se consideran valores medios de viento y distribuciones diarias, estacionales, direccionales, etc., en lugares específicos o de interés.

- En el diseño del sistema, donde se tienen en cuenta las condiciones medias representativas y condiciones extremas de viento.
- En la operación y regulación del sistema eólico, donde intervienen aspectos como la predicción del viento para planificar el funcionamiento en tiempo real, así como características del viento que influyen en la estrategia de operación (arranque, parada, orientación, etc.) y factores que afectan al mantenimiento o vida útil del sistema (ráfagas, turbulencias, etc.).

Estas propiedades hacen que la evaluación y caracterización del viento como fuente de energía sea un área de trabajo de especial importancia en el aprovechamiento de la energía eólica, de tal modo que el conocer el régimen de vientos al que va a estar sometido a la instalación, es necesario tanto para optimizar las aplicaciones energéticas como para predecir las condiciones de operación y funcionamiento [6].

## 2.2. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA

La energía eólica en 2017 ha sido el segundo proveedor del sistema energético de nuestro país. Los 23 GW eólicos instalados han producido más de 47 TWh, lo que supuso cerca de un 19,2% del total de la electricidad consumida a nivel nacional durante el año. Un año más, la energía eólica se ha comportado de forma estable, aportando prácticamente la misma electricidad respecto al año anterior [1].

Actualmente, los más de 20.000 aerogeneradores instalados en nuestro país en más de 1.000 parques eólicos han tenido un comportamiento excelente en días clave de máxima demanda. El récord de producción eólica se produjo el pasado 27 de diciembre de 2017 con una producción eólica de 330 GWh, siendo la primera tecnología en el mix de generación, con una cobertura de la demanda de electricidad del 47%, según datos de Red Eléctrica Española. Diciembre de 2017 ha terminado siendo el mes con más generación eólica de la historia y el más ventoso del año [1].

Sin esta aportación eólica en el pasado diciembre, el precio medio del mercado eléctrico podría haber sido de hasta 20 €/MWh superior, por lo que el incremento en la generación eólica ha supuesto un ahorro de un 30-35% respecto al año pasado (Unos 400 millones de €) [1].

Además de la aportación de la energía eólica al sistema de generación de electricidad, contamos con 210 centros industriales en 16 de las 17 comunidades autónomas, aunque han dedicado su actividad a la exportación del 100% de su producción en los últimos años. De este modo, el sector eólico español es líder, siendo el cuarto exportador de aerogeneradores a nivel mundial [1].

A continuación, se muestran una serie de gráficos e imágenes con los datos más relevantes sobre la energía eólica en España desde el año 2004 hasta el 2017:

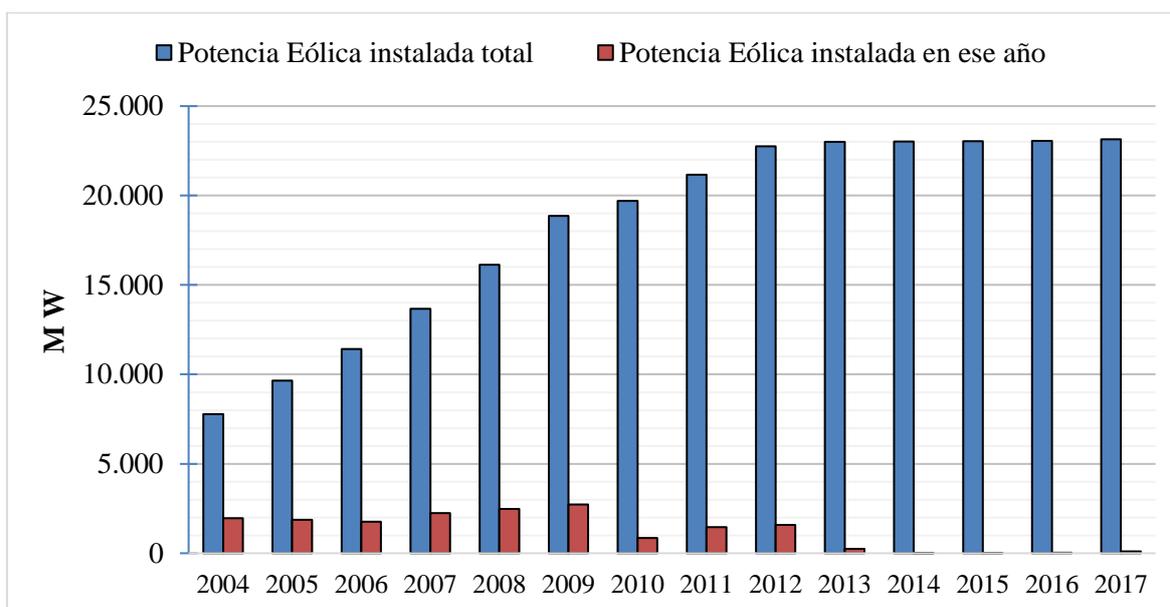


Figura 1: Evolución de la potencia eólica instalada en España de 2004 a 2017.

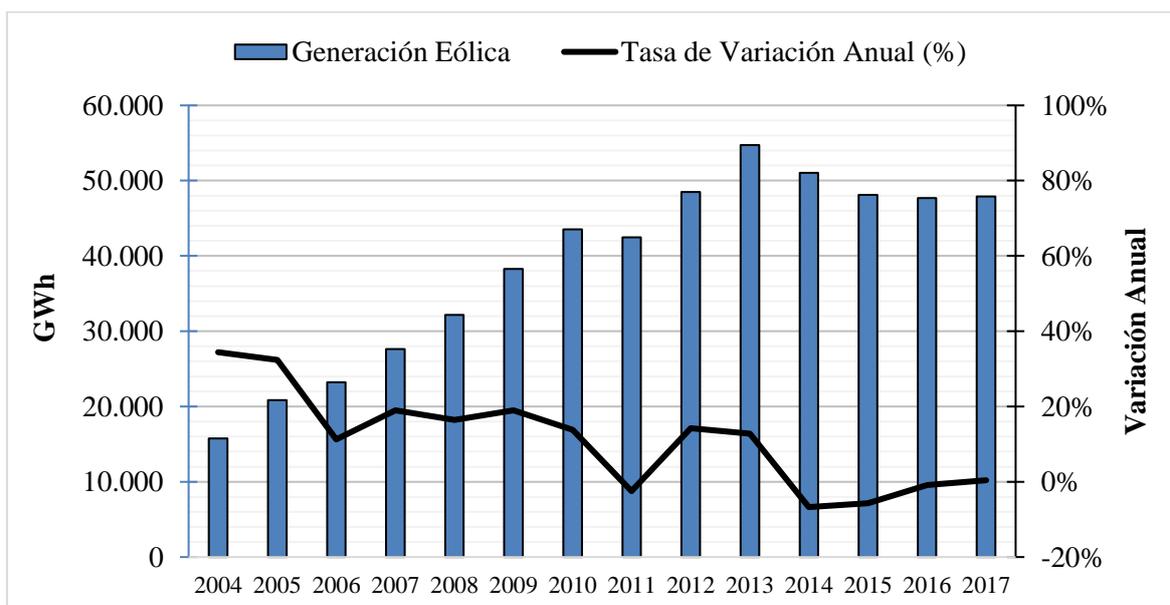


Figura 2: Evolución de la generación de energía eólica en España de 2004 a 2017.

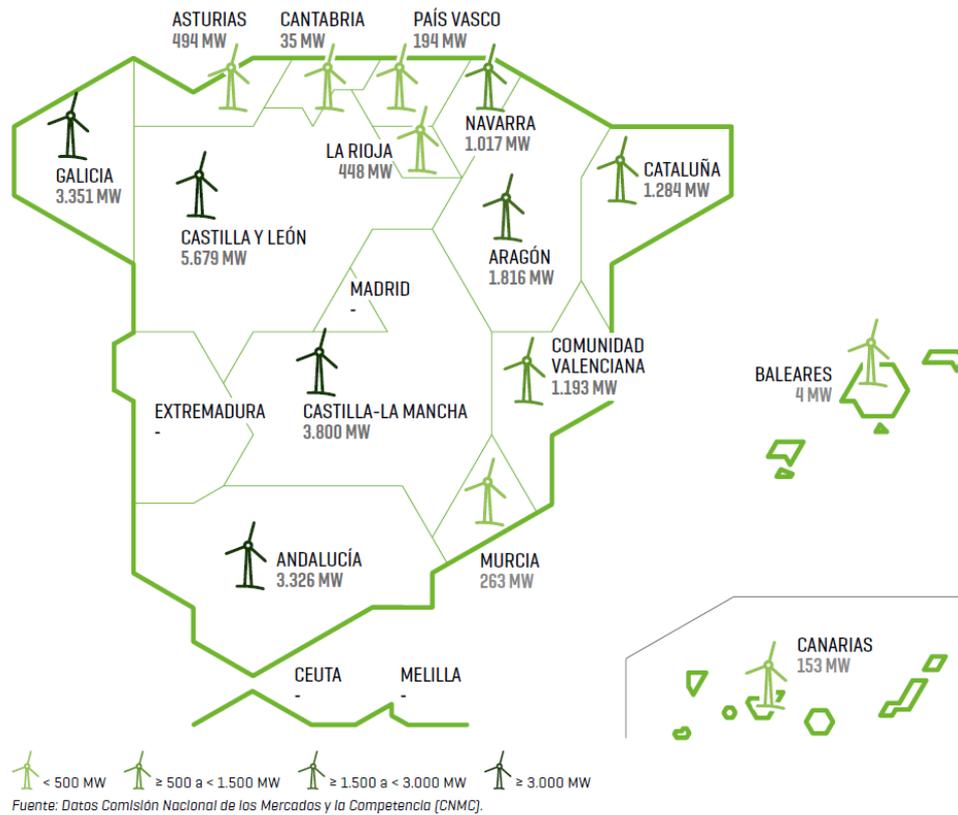


Figura 3: Potencia eólica instalada en MW por CC. AA. en 2016 [8].

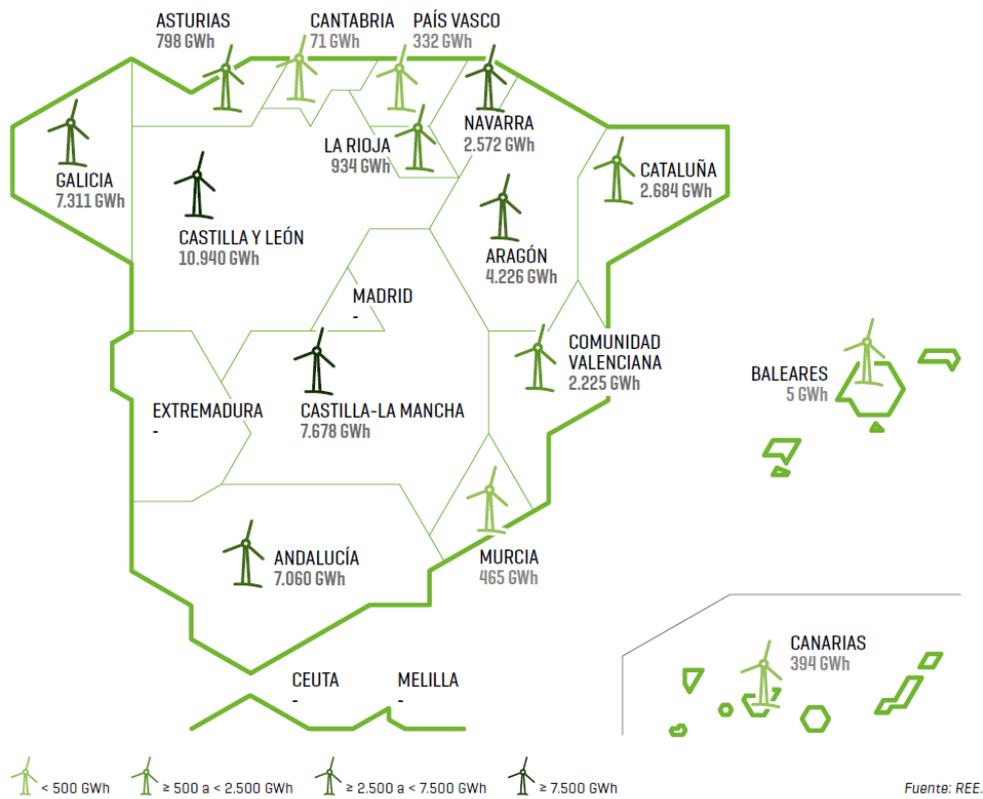


Figura 4: Generación eólica en GWh por CC.AA. en 2016 [8].

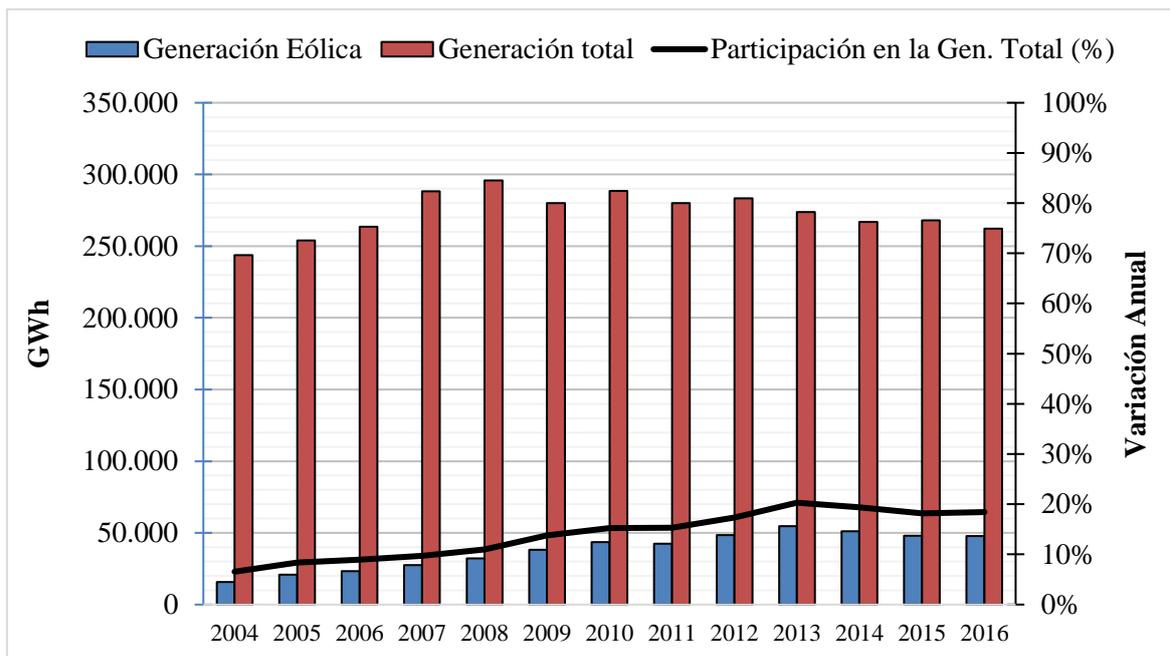


Figura 5: Generación de energía eólica respecto a la total en España de 2004 a 2017.

**Eólica offshore:** desde el año 2016, se está impulsando la industria eólica española en el mercado de la eólica marina. Desde la Plataforma Tecnológica del Sector Eólico Español, REOLTEC, se han integrado y coordinado acciones de investigación, desarrollo e innovación que responden a las necesidades del sector eólico español. En 2017, se ha incrementado la colaboración en materia de I+D+i entre el sector público y el empresarial en un mercado fuertemente competitivo, facilitando a la industria eólica española su posicionamiento en eólica marina [1].

**Subastas de renovables:** Las subastas de renovables en España, celebradas dos en 2017 y una en 2016, han dado un importante impulso al sector eólico español tras los últimos años en los que sólo se han instalado 65 MW eólicos y en los que la industria se ha visto obligada a exportar el 100% de su fabricación. El desafío es que los más de 4.600 MW adjudicados en subasta, se puedan instalar cumpliendo los plazos establecidos en la regulación para poder computar en los objetivos europeos de 2020. [1].

**Transición Energética:** para hacer frente al reto de planificar la transición energética, la Asociación Empresarial Eólica (AEE) ha elaborado un análisis que recoge la posición del

sector de cara a la formulación de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, cuya adopción está anunciada para 2018. Como resultado del análisis de AEE, la potencia eólica instalada en 2020 alcanzaría los 28.000 MW (teniendo en cuenta las subastas de nueva potencia ya adjudicadas en 2016 y 2017 y el cupo eólico canario), por lo que la potencia eólica aumentaría en 1.700 MW anuales de media entre finales de 2017 y principios de 2020. En la década siguiente, aumentaría en 1.200 MW al año de media hasta 2030, alcanzándose los 40.000 MW de potencia instalada [1].

Gracias a estos nuevos aerogeneradores del estudio de AEE, las emisiones del sector eléctrico español se reducirían para 2020 en un 30% respecto a 2005 (año de referencia para el sistema europeo de comercio de emisiones) y más de un 40% para 2030. Según la AEE, se alcanzaría el 100% de la descarbonización para el 2040. Además, el mix eléctrico español alcanzaría un 40% de cobertura de la demanda con renovables en 2020, un 62% en 2030, un 92% en 2040 y un 100% para 2050 [1].

### **Retos para el futuro [1]:**

- 1) Se tiene que garantizar un mix eléctrico equilibrado.
- 2) Coordinación de los distintos organismos con competencia a nivel nacional y autonómica en energía.
- 3) Buscar un equilibrio entre la reducción del coste de la electricidad y las futuras inversiones. Habrá que buscar mecanismos para que la situación sea sostenible, como los contratos bilaterales a largo plazo o las coberturas de precios.
- 4) Fijar un marco regulatorio estable que permita atraer las inversiones necesarias.
- 5) En el caso del archipiélago canario, es fundamental apostar por la energía eólica para abaratar el coste de generación en las islas (actualmente el coste es más del doble que en la península, debido a la dependencia de los combustibles fósiles).
- 6) Los principales objetivos de la investigación van dirigidos a la reducción de costes y mejorar la calidad del producto, la integración en red en condiciones óptimas de seguridad y confiabilidad, y mejorar el proceso productivo. Todo esto tiene que ser fundamental para mantener España como líder en tecnología offshore y establecer las condiciones necesarias para la implantación de esta tecnología en nuestro país.

## 2.3. EL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL

### 2.3.1. DEFINICIONES PREVIAS

Para entender bien el funcionamiento del mercado eléctrico español, es importante explicar primero una serie de conceptos:

**Programa Diario Base de Funcionamiento (PDBF):** Establecido por el Operador del Sistema (OS) a partir del Programa Diario Base de Casación (PDBC), es el programa de energía diario. Para su elaboración se utiliza el Programa Diario Base de Casación, proporcionado por el Operador de Mercado (OM) y la información de ejecución de contratos bilaterales [4].

**Programa Diario Viable Provisional (PDVP):** Establecido por el OS a partir del Programa Diario Base de Casación, es el programa de energía diario. Para su elaboración se utiliza el Programa Diario Base de Casación, proporcionado por el Operador de Mercado y la información de ejecución de contratos bilaterales [4].

**Programa Horario Final (PHF):** Programación establecida por el OS con posterioridad a cada una de las sucesiones sesiones del Mercado Intradía (MI). Se elabora a partir de las transacciones firmes formalizadas como consecuencia del PDVP y de la casación de ofertas en el mercado intradía, una vez resueltas las restricciones pertinentes y su reequilibrio posterior [4].

### 2.3.2. ORGANIZACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO

El mercado de electricidad en España, se organiza en un conjunto secuenciado de mercados en los que generación y demanda intercambian energía y reservas para distintos plazos. Este mercado se estructura de la siguiente manera [4]:

- **Contratación de energía a largo plazo.**
- **Contratación de energía en horizonte diario e intradía.**
  - Mercado diario e intradía: cubren los horizontes diario e inferior a diario.
  - Contratación bilateral con entrega física libremente establecida entre sujetos del mercado, en los mercados no organizados.

- **Servicios de ajuste del sistema:** la resolución de las restricciones técnicas identificadas en los programas resultantes de la contratación bilateral física y los mercados de producción (diario e intradiario), así como todas aquellas restricciones técnicas que pudieran presentarse durante la propia operación en tiempo real.
  - Los servicios complementarios:
    1. Reserva de potencia adicional a subir.
    2. Regulación frecuencia-potencia (Primaria, Secundaria y Terciaria).
    3. Control de tensión.
    4. Reposición del servicio.
  - El proceso de gestión de desvíos entre generación y consumo como medio imprescindible para garantizar el equilibrio entre la producción y la demanda.
- **Servicios transfronterizos de balance (equilibrio):** conforme a lo establecido regulatoriamente, los mecanismos de gestión de los servicios de equilibrio en las interconexiones del Sistema Eléctrico Español serán mecanismos coordinados con los OS's correspondientes y se basarán en la utilización de la capacidad de intercambio vacante tras la negociación de los sujetos de mercado en el horizonte intradiario.

*Tabla 1: Servicios de ajuste del mercado eléctrico español [4].*

<b>Función Principal</b>	<b>Servicios de Ajuste</b>
Seguridad del sistema	Solución de restricciones técnicas Control de tensión
Reservas del sistema	Reserva de potencial adicional a subir Banda de regulación secundaria
Servicios de regulación y balance	Energía de regulación secundaria Regulación terciaria Mercado de gestión de desvíos Servicios transfronterizos de balance

### 2.3.3. PROGRAMACIÓN DE LA GENERACIÓN

El proceso completo por el que quedan establecidos los programas finales de generación comprende tres días: los dos días previos al día de operación (D) y el propio día de operación. Se puede distinguir la programación previa al día de operación (días D-2 y D-1) de la del mercado intradiario (D-1 y D). En la siguiente figura se muestra un esquema del mercado establecido [4]:

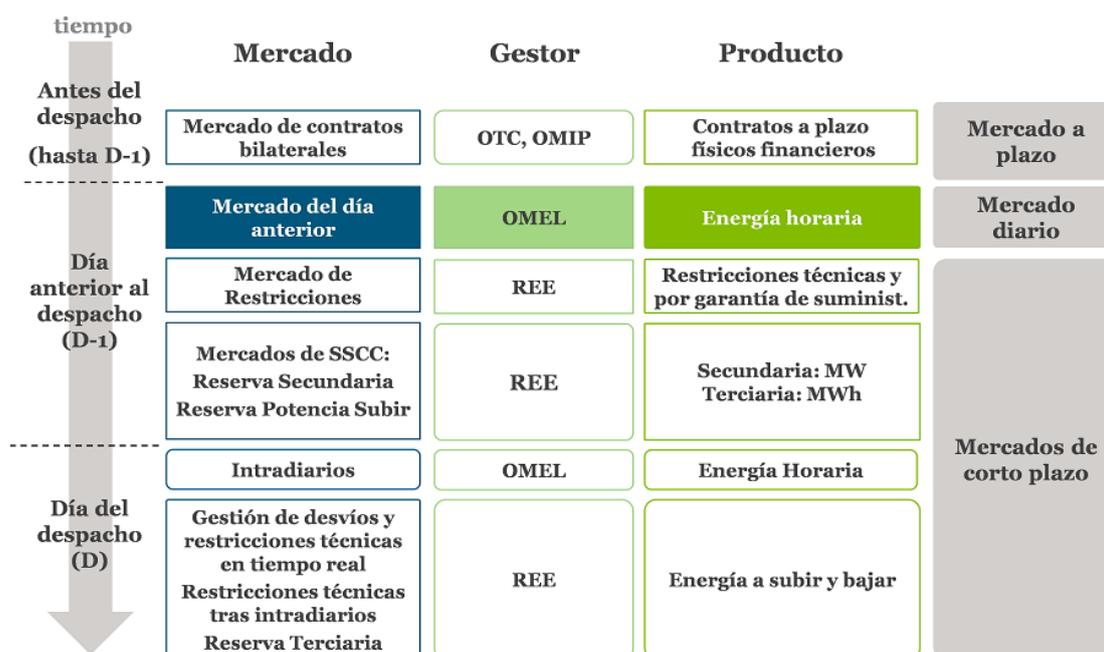


Figura 6: Esquema de la programación del mercado eléctrico español [4].

**Programación previa al día de operación (día D-2 y D-1):** Cada día, antes de las 10:30 p.m., el operador del sistema publica la previsión horaria de la demanda en el sistema eléctrico peninsular español para cada una de las horas del día siguiente, las capacidades de intercambio con los sistemas eléctricos vecinos interconectados y la situación de la red de transporte prevista para el día siguiente. A continuación, el operador del mercado realiza la casación de ofertas del mercado diario y comunica al OS el PDBC [4].

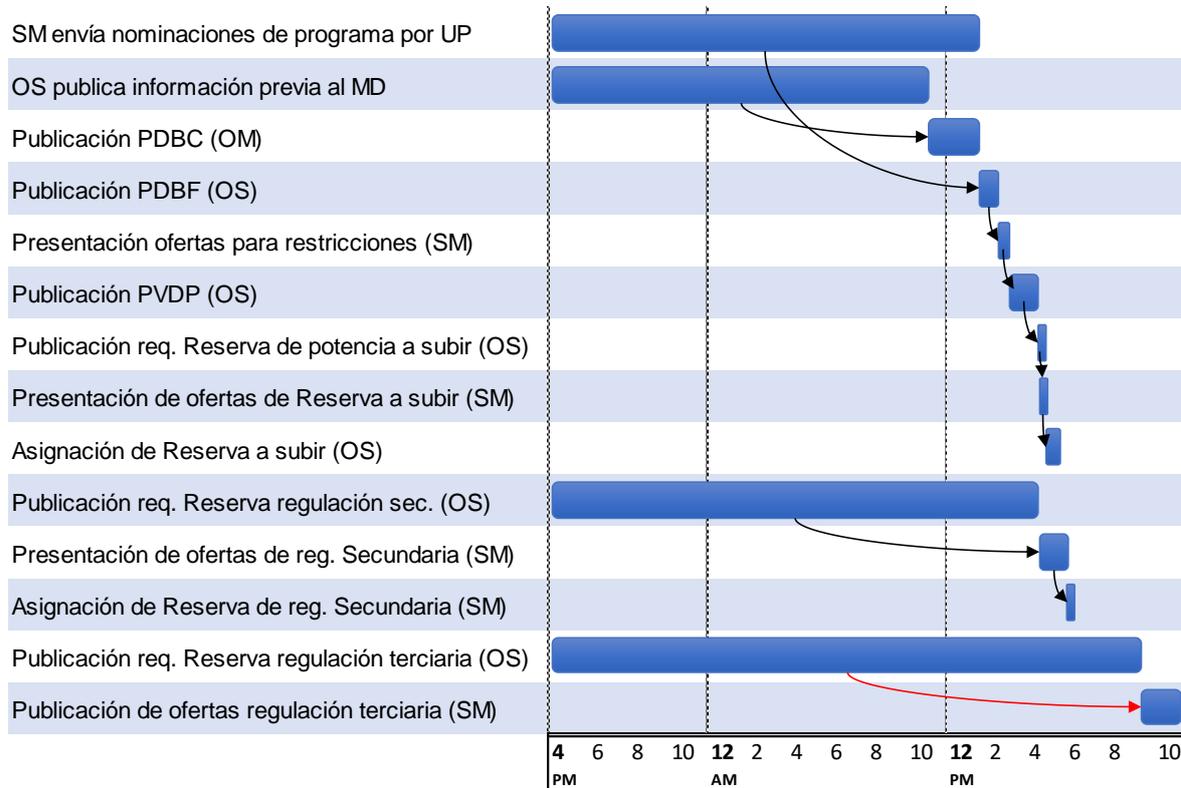
Por otro lado, los sujetos de mercado (los titulares de unidades afectadas a contratos bilaterales físicos), comunican al operador del sistema sus programas de generación y consumo. A partir del PDBC y de esta información, el OS elabora el PDBF [4].

Una vez elaborado el PDBF, el OS estudia su viabilidad técnica. Este estudio se traduce en la identificación y solución de las restricciones técnicas halladas, comunicando el PDVP al resto de actores del mercado. El OS también publica la información

correspondiente a requerimientos de reserva de regulación secundaria, terciaria, y reserva de potencia adicional a subir, para proceder a su asignación en base a las ofertas presentadas a unidades de programación habilitadas para la prestación de este servicio, hasta alcanzar los requerimientos de reserva en todas y cada una de las horas. Es decir, los problemas derivados para establecer la regulación frecuencia/potencia que permitan al OS hacer frente a los desequilibrios entre la generación y el consumo, se resuelven mediante tres mercados independientes [4]:

- 1) Mercado de regulación secundaria: la regulación secundaria tiene un objetivo doble. Por un lado, trata de corregir el desvío de la frecuencia de la red respecto de la de referencia, como consecuencia de la regulación primaria. Por otro lado, intenta mantener los flujos de potencia programados, desequilibrados como consecuencia de las diferentes características de las unidades de programación. En el mercado de regulación secundaria se presentan, para las unidades de programación habilitadas incluidas en su zona de regulación, ofertas de banda de potencia de regulación secundaria, en MW, con su precio correspondiente para cada uno de los períodos de programación del día siguiente.
  
- 2) Mercado de regulación terciaria: esta regulación está constituida por la variación máxima de potencia a subir o a bajar de los grupos del sistema que puede ser movilizada en un tiempo inferior a quince minutos, con objeto de reconstituir la reserva de regulación secundaria. Si durante el día D se producen desvíos de generación-consumo menores de 300 MWh, el equilibrio de programas se establece antes de cada hora mediante la asignación de las ofertas de regulación terciaria, enviadas por los SM el día D-1.
  
- 3) Mercado de gestión de desvíos. Este mercado se convoca, en realidad, entre sesiones del mercado intradiario como consecuencia de desajustes entre la generación y la demanda en dicho período temporal. Estos desajustes pueden ser debidos a importantes cambios en la producción eólica, variaciones en la demanda prevista por el OS, indisponibilidades sobrevenidas en grupos generadores, etc. En función de la magnitud total de este desvío y la duración prevista para el mismo, el operador del sistema recurre a la asignación de ofertas de regulación terciaria, o bien, si el desvío previsto es superior a 300MWh y se mantiene durante varias horas, procede a convocar el mercado de gestión de desvíos.

Toda esta programación previa al día de operación se esquematiza en la *Figura 2*.



*Figura 7: Programación de los días D-2 y D-1 [4].*

**El mercado Intradiario (día D):** La finalidad de las diferentes sesiones del mercado intradiario (6 en total) es permitir a los agentes introducir los ajustes que consideren necesarios como consecuencia, por ejemplo, de errores en la previsión de su demanda o incidencias en sus instalaciones de generación. El programa resultante de cada sesión del mercado intradiario debe ser analizado también por el OS, para garantizar el cumplimiento de los criterios de seguridad, tras lo cual se publica el PHF [4].

Las distintas sesiones del Mercado intradiario se indican en la siguiente figura:

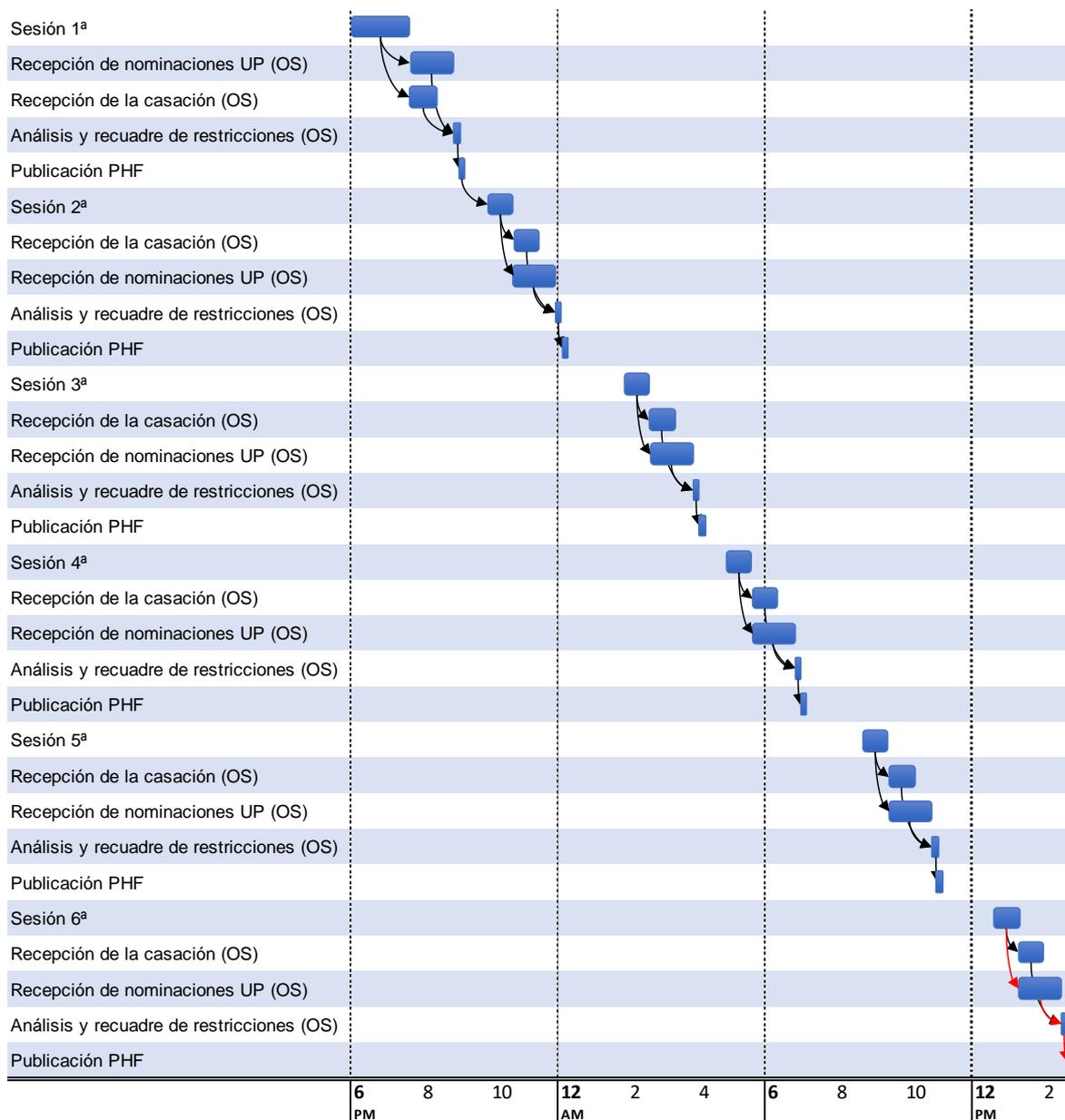


Figura 8: Sesiones del Mercado Intradía. Día D y D-1 [4].

## 2.4. LEGISLACIÓN. PUNTO DE INFLEXIÓN EN JUNIO DE 2014.

Hubo un momento que España era pionera mundial en energías renovables, ello fue motivado por el Real Decreto 436/2004 (R.D. 436/2004) y por el R.D. 661/2007, donde se creaba un marco legislativo muy propicio para el desarrollo de estas nuevas tecnologías, tales como la generación fotovoltaica, eólica, biomasa y cogeneración. Al amparo de esta regulación, rápidamente se cumplieron con los cupos que se establecían en los mismos, llevando a España a ser una potencia mundial en energías renovables, tanto por la potencia



instalada como por el tejido industrial que se creó entorno a esta [5]. Una vez cumplidos estos cupos, el gobierno español no dio la misma continuidad a este marco, realizando una serie de cambios en la legislación que redujeron los ingresos que se tenían previstos para las instalaciones energías renovables construidas, además de propiciar una disminución en la futura inversión de nuevos proyectos de generación de energía renovable.

### **2.4.1. REPASO A LAS LEYES MÁS SIGNIFICATIVAS**

El cambio del régimen legal y económico de las instalaciones renovables comenzó con el R.D. 9/2013, de 12 de julio, *“por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico”*. Esta norma fijó las bases del nuevo sistema, que fueron refrendadas en la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (LSE)[2].

El día 11 de junio de 2014 entró en vigor el R.D. 413/2014, de 6 de junio, *“por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos”* [10].

El R.D. 413/2014 es la norma que desarrolla el R.D. 9/13 y la LSE en cuanto a los derechos y deberes de los titulares de instalaciones renovables. Sustituye, pues, al R.D. 661/2007, de 25 de mayo [2].

En el marco de la reforma, no obstante, la retribución exacta de las plantas renovables no se contiene en el R.D. 413/2014, sino que el documento que apruebe los parámetros retributivos y las categorías de instalaciones tipo será la Orden Ministerial (O.M.) IET/1045/2014, de 16 de junio, *“por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos”* [7].

Toda esta legislación que empezó a cambiar a partir de junio de 2014 provoca que para poder conocer con precisión la retribución de cada instalación deberá aplicarse conjuntamente tanto el R.D. 413/2014 como la O.M. IET/1045/2014, de 16 de junio, y aunque posteriormente fueron modificadas, fueron el desencadenante principal para la introducción de un sistema de retenes en parques eólicos, tema sobre el que trata este Trabajo Fin de Máster.

## 2.4.2. CAMBIO DEL RÉGIMEN ECONÓMICO EN EL R.D. 413/2014

En las leyes descritas previamente, cambiaron muchos aspectos de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, como los derechos y obligaciones de los titulares de las instalaciones, parámetros retributivos, etc.

Pero en este apartado nos vamos a centrar fundamentalmente en el cambio del régimen económico, ya que es el factor fundamental que influye en la introducción del sistema de retenes que se va a tratar en los siguientes apartados.

El régimen económico aplicable hasta la fecha de entrada en vigor del R.D. 413/2014 del 4 de junio, se basaba en la remuneración por cada KW/h producido. Cada tecnología tenía una retribución por la energía producida, retribución que hasta febrero de 2013 podía consistir en una tarifa fija o en la suma del precio del pool y una determinada prima. Posteriormente, a partir de febrero de 2013 (con la entrada en vigor del R.D. 2/2013), se eliminó la prima y quedó la tarifa como única vía de retribución [2].

El nuevo sistema, cuyas bases ya aparecen en el R.D. 9/13, cambia radicalmente el marco retributivo. En lugar de percibir una cantidad por cada unidad de energía producida, las plantas van a percibir, en lo sucesivo, una determinada cantidad que se asocia al tipo de instalación y a la categoría en la que sea inscrita cada planta en particular. A continuación, se explica, de forma resumida, el nuevo sistema [2]:

- 1) El sistema retributivo parte de que el productor va a percibir dos sumas distintas. La primera de ellas es la remuneración que se recibe en función del precio del pool. La segunda, denominada “Régimen Retributivo Específico” (RRE), se reconocerá tan sólo a las instalaciones que no alcancen el nivel mínimo necesario para cubrir los costes que les permitan competir en nivel de igualdad con el resto de tecnologías en el mercado, logrando una rentabilidad razonable.
- 2) Para determinar el RRE se establecerá una clasificación de instalaciones tipo en función de la tecnología, potencia instalada, antigüedad, sistema eléctrico, así como cualquier otra segmentación que se considere necesaria. Cada instalación, en función de sus características, tendrá asignada una instalación tipo.
- 3) A cada instalación tipo le corresponderá un conjunto de parámetros retributivos que se calcularán por referencia a la actividad realizada por una empresa eficiente y bien

gestionada, que concreten el régimen retributivo específico y permitan la aplicación del mismo a las instalaciones asociadas a dicha instalación tipo. La retribución concreta de cada instalación se obtendrá a partir de los parámetros retributivos de la instalación tipo que le corresponda y de las características de la propia instalación.

4) Los parámetros retributivos más relevantes necesarios para la aplicación del régimen retributivo específico serán, en su caso, los siguientes:

- a) Retribución a la inversión ( $R_{inv}$ ).
- b) Retribución a la operación ( $R_o$ ).
- c) Incentivo a la inversión por reducción del coste de generación ( $I_{inv}$ ).
- d) Vida útil regulatoria.
- e) Número de horas de funcionamiento mínimo.
- f) Umbral de funcionamiento.
- g) Número de horas de funcionamiento máximas a efectos de percepción de la retribución a la operación.
- h) Límites anuales superiores e inferiores del precio del mercado.
- i) Precio medio anual del mercado diario e intradiario.

5) El régimen retributivo específico estará compuesto por la suma de:

- a) Un término retributivo por unidad de potencia instalada, que se denominará retribución a la inversión ( $R_{inv}$ ). El valor de la retribución a la inversión de la instalación tipo por unidad de potencia se calculará, en referencia a la actividad realizada por una empresa eficiente y bien gestionada, de forma que permita compensar los costes de inversión que aún no hayan sido recuperados según la formulación del valor neto del activo y que no podrán ser recuperados mediante los ingresos de explotación previstos.
- b) Un término retributivo a la operación, que se denominará retribución a la operación ( $R_o$ ). La retribución a la operación por unidad de energía de la instalación tipo se calculará de forma que adicionada a la estimación de los ingresos de explotación por unidad de energía generada iguale a los costes estimados de explotación por unidad de energía generada de dicha instalación tipo, todo ello en referencia a la actividad realizada por una empresa eficiente y bien gestionada.



- 6) EL R.D. 413/2014 establece una regla especial de adición de potencias, de forma que ciertas instalaciones que cumplan determinados requisitos se considerará que, a efectos de fijar su retribución y la categoría tipo a la que se adscriban, forman parte de una única planta, y ello sin perjuicio de que hayan sido construidas de forma independiente y de que hubiera tenido hasta ahora cada una su inscripción propia y separada en el correspondiente registro. Esta regla sólo será de aplicación a las tecnologías para las cuales la potencia sea un factor a la hora de ser incluidas en una u otra categoría, algo que determinará la O.M.
- 7) Los valores que se toman en cuenta para fijar la retribución se mantendrán fijos por periodos de seis años denominados “periodos regulatorios”. Cada seis años todos los parámetros podrán ser revisados, incluida la cifra que se considera como rentabilidad razonable. Los únicos elementos que no pueden variar son dos: el valor de inversión, y la duración de la vida útil regulatoria.
- 8) Adicionalmente, cada tres años (es decir, cada “semiperiodo regulatorio”) se revisarán ciertos parámetros, tales como el coste de combustible y el precio del pool.
- 9) El R.D. 413/2014 establece determinados límites de horas de operación con impacto económico:
- a) Umbral de funcionamiento: para cada instalación tipo se definirá un número mínimo de horas. Si no se alcanza ese mínimo, no habrá retribución específica.
  - b) Horas mínimas de funcionamiento: es preciso alcanzarlo para poder percibir el 100% de la remuneración específica prevista. Por tanto, si el número de horas se sitúa entre el umbral de funcionamiento y el número de horas mínimas, se percibirá sólo una parte de la retribución, en proporción a las horas de funcionamiento.
  - c) Horas máximas de funcionamiento: número de horas por encima del cual no se devengará retribución a la operación. Los citados límites o umbrales son anuales, pero también se fijan límites específicos para el primer, segundo y tercer trimestre de cada año.
- 10) La retribución se basa en una estimación del precio del pool. Es preciso, por tanto, establecer qué sucede si el precio del pool no coincide con el estimado. El R.D. 413/2014

establece un sistema en el que se fija un valor de pool estimado, así como dos límites (de valores del pool) superiores y dos límites inferiores, según la siguiente figura. El titular asume los impactos positivos o negativos del precio del pool siempre que se mantenga en la franja entre el límite inferior 1 y el límite superior 1. Los impactos en caso de que el precio del pool se sitúe entre los dos límites inferiores, o entre los dos límites superiores, serán compartidos al 50% entre el titular y el sistema. Y si el precio del pool se sitúa por encima del límite superior 2, o por debajo del límite inferior 2, será el sistema el que asuma el impacto positivo o negativo de tales circunstancias.

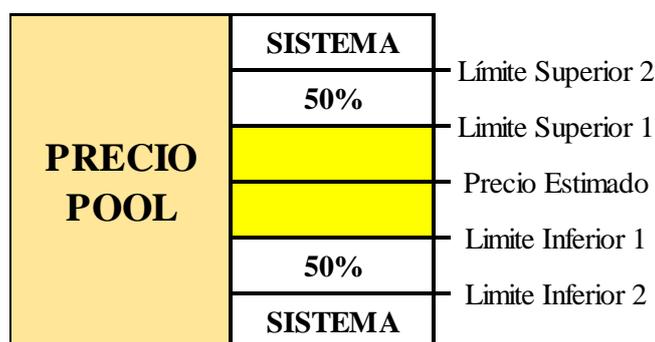


Figura 9: Límites sobre el precio pool que determina el R.D. 413/2014 [2].

**Aplicación del RD 413/2014 a las instalaciones primadas preexistentes:** El mayor impacto del R.D. 413/2014 se debe a su aplicación a las instalaciones que ya existían antes de su entrada en vigor y de la vigencia del R.D. 9/13. Así, la retribución específica que se regula en el R.D. 413/2014 se asigna también a aquellas instalaciones existentes que “tuvieran reconocida retribución primada” bajo alguna de las dos normas anteriores fundamentales, el R.D. 661/2007 o el R.D. 1578/2008, y siempre que no se les hubiera revocado [2].

El importe efectivo que se asigne como retribución específica a cada una de esas instalaciones primadas preexistentes dependerá de la clasificación que se realizará en otra disposición separada, la O.M. IET/1045/2014 de 16 de junio, definiendo instalaciones tipo y atribuyendo un régimen retributivo específico para cada instalación tipo. Las instalaciones preexistentes primadas recibirán la retribución específica que corresponda a la instalación tipo bajo la que se encuadren [2].

Ese régimen retributivo debería proporcionar a cada instalación tipo, durante la vida útil que se le atribuya, una rentabilidad (antes de impuestos) calculada en principio a partir



del rendimiento medio de las obligaciones del Estado a diez años en el mercado secundario durante los diez años anteriores a la entrada en vigor del R.D. 9/13, incrementado en 300 puntos básicos. A las instalaciones preexistentes también se les aplicará la regla del artículo 19 del mismo decreto, que contempla la revisión de la rentabilidad al cabo de cada periodo regulatorio previsto por la norma [2].

**Reconocimiento del régimen retributivo a nuevas instalaciones:** Tal y como se explica en el apartado anterior, el régimen retributivo contemplado en el RD 413/2014 es de aplicación a todas las instalaciones ya existentes. Además, el RD 413/2014 establece determinados mecanismos para que el régimen económico pueda servir para instalaciones futuras. Ello se hará a través de un sistema competitivo. El régimen retributivo para instalaciones no existentes se deberá determinar mediante un futuro real decreto, completado con una orden ministerial, que fijarán las condiciones de concurrencia, la potencia, en su caso, y los parámetros retributivos. Los proyectos que sean adjudicatarios de potencia en ese sistema competitivo deberán ser construidos en el plazo indicado, y una vez construidos, e inscritos, percibirán el régimen previsto para cada proceso concurrencial [2].

Este último párrafo, corresponde con una serie de Reales Decretos y Órdenes Ministeriales que han ido cambiando a lo largo de los años hasta la situación actual, en función de distintos parámetros, como el tipo de instalación o la potencia de la que dispondrán. Pero estos datos no son tan relevantes para el estudio que se pretende hacer en este trabajo, por lo tanto, no se profundiza en todos los derechos y obligaciones que afectan a la legislación vigente para la energía eólica.

### 2.4.3. CONCLUSIONES SOBRE EL CAMBIO DE NORMATIVA

Después de explicar de manera resumida los aspectos más importante del R.D. 413/2014, se puede decir que el cambio más drástico y perjudicial para las instalaciones de generación de energías renovables, y en concreto para las instalaciones eólicas, ha sido la aplicación del cambio en el régimen económico, que se traduce en el paso de tener una tarifa fija con un precio bastante elevado por unidad de energía generada, a formar parte del régimen económico como cualquier otra tecnología, es decir, en tener un precio pool horario definido por el propio mercado eléctrico, más una retribución específica otorgada solamente



a las instalaciones que no alcancen el nivel mínimo necesario para cubrir los costes que les permitan competir en nivel de igualdad con el resto de tecnologías en el mercado logrando una rentabilidad razonable.

Además, para beneficiarse de esta retribución específica es necesario cumplir unos requisitos, como tener un umbral de funcionamiento para recibir el importe mínimo y un determinado número de horas mínimas a cumplir para recibir el importe máximo que se estipule en la normativa.

Todos estos aspectos, provocaron gran cantidad de cambios en todas las fases que definen los proyectos de parques eólicos, desde la planificación inicial, cálculo de inversión y rentabilidad esperada, así como los procedimientos de operación de las instalaciones ya existentes. En este último aspecto es donde se encasilla este Trabajo Fin de Máster, ya que este cambio de legislación provocó en muchas empresas de gestión de operación de parques eólicos (como en el este caso EDP Renovables) el cambio de contratos de mantenimiento de las instalaciones. Pasaron de tener un horario laboral que cubría 7 días a la semana con un alto coste rentabilizado por un precio de la energía fijo y elevado, a un horario laboral de lunes a viernes con un precio más reducido, más un sistema de retenes para cubrir parte del período que no abarca el nuevo horario laboral.

Dicho sistema de retenes solamente se solicita en ocasiones en la que una estimación de la energía recuperada, junto con un precio alto del mercado eléctrico, determina que la activación de este servicio producirá beneficios económicos. En caso de no activar el servicio, no se tiene ningún tipo de coste derivado.

## 3. INFORMACIÓN PREVIA AL CÁLCULO

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EDP RENOVABLES

EDP Renovables (EDPR) es una empresa líder en el sector de las energías renovables, siendo el cuarto productor mundial de energía eólica. Con una sólida cartera de proyectos en desarrollo, unos activos de la máxima calidad y una capacidad de explotación líder del mercado, EDPR ha experimentado un desarrollo sobresaliente en los últimos años y ya está presente en 12 mercados internacionales [4].

Su visión de futuro se fundamenta en la creación de valor, innovación y sostenibilidad con el objetivo de ser líder de mercado a largo plazo en el sector de la energía renovable, buscando credibilidad a través de la seguridad, la creación de valor, la responsabilidad social, la innovación y el respeto por el medioambiente [4].

**Datos relevantes sobre la empresa:** En 1996 comenzó su operación desarrollando su primer parque eólico. A partir de entonces, EDPR no ha parado de crecer, llegando a cotizar en bolsa por primera vez en 2008. Durante el año 2017 se produjeron 27,6 TWh, evitando la emisión de 22 mt de CO<sub>2</sub>. A 31 de marzo de 2018, la compañía gestionaba una cartera de explotación con una capacidad total de 11 GW repartida en once países diferentes, de los cuales 597 MW fueron instalados durante el año anterior [3].

**Estructura organizativa:** La estructura organizativa ha sido diseñada para acometer la gestión estratégica de la empresa, así como la operación transversal de todas las unidades de negocio, garantizando que se adecuan a la estrategia definida, se optimizan los procesos y se crean sinergias [4].

El desarrollo, la construcción y el funcionamiento de los activos de EDPR se gestiona a nivel global mediante tres plataformas [4]:

- EDPR Europa y Brasil, cuya sede se ubica en Madrid y gestiona los activos en la Unión Europea y otras regiones del grupo EDP.
- EDPR Norte América, cuya sede se encuentra en Houston y gestiona los activos en Estados Unidos y Canadá.
- EDPR Offshore, que actualmente se centra en proyectos en Reino Unido y Francia.



Figura 10: Gestión de los activos de EDPR [3].

**Descripción del negocio utilizado por la empresa:** El negocio de energía renovable de EDPR abarca, en términos generales, el desarrollo, la construcción y la operación de parques eólicos y solares con vistas a generar y suministrar electricidad limpia [3].

A continuación, se explica cronológicamente el procedimiento seguido por EDPR para la creación y operación de sus activos [3]:

- 1) Identificación del emplazamiento: Búsqueda de puntos con un excelente recurso eólico o solar y análisis de viabilidad de la conexión a la red.
- 2) Acuerdo con el propietario del terreno: Contacto con los propietarios de los terrenos y negociación del contrato de arrendamiento.
- 3) Análisis de recursos renovables: Instalación de equipos meteorológicos para recabar y estudiar el perfil de viento y la radiación solar.
- 4) Obtención de permisos: Relacionarse con las autoridades locales para conseguir las licencias medioambientales, de construcción, explotación y de otro tipo.
- 5) Evaluación y financiación del proyecto: Evaluar el potencial operativo y los riesgos financieros y encontrar la financiación adecuada para el proyecto.
- 6) Diseño y elección del equipo: Optimizar el diseño del parque y seleccionar el modelo de equipo más adecuado en función de las características del emplazamiento.
- 7) Construcción: Construcción de carreteras de acceso, cimentaciones, ensamblaje de los aerogeneradores o paneles solares y construcción de la subestación.

- 8) Ceremonia de inauguración: Celebrar los beneficios de la energía eólica con las comunidades locales, autoridades y otros grupos de interés.
- 9) Operación de la central eólica y solar: Se realiza la conexión a la red eléctrica y se comienza a generar electricidad renovable.
- 10) Análisis de datos: Control en tiempo real de los datos operativos, análisis del rendimiento e identificación de áreas de mejora.
- 11) Servicio continuo de mantenimiento: Preservar los más altos niveles de disponibilidad y reducir al máximo las tasas de averías.
- 12) Generar y suministrar energía limpia: Una energía mejor, un futuro mejor, un mundo mejor.

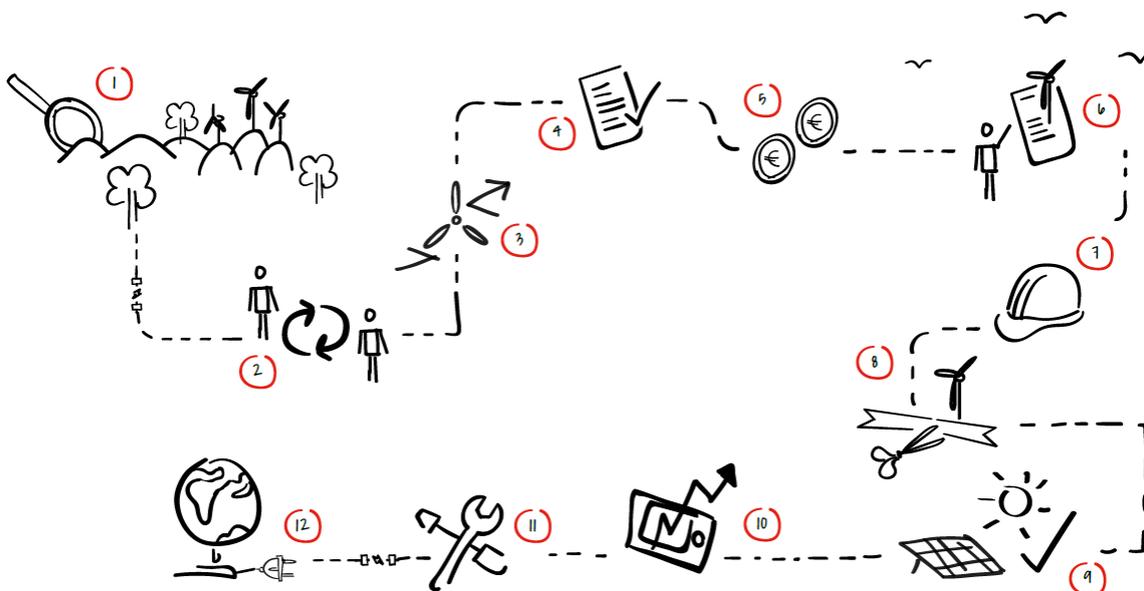


Figura 11: Proceso seguido por EDPR para la construcción y operación de activos [3].

Finalmente, en la siguiente figura se muestran los activos que posee EDPR en todo el mundo, indicando por países, la potencia instalada, el número de instalaciones y el número de aerogeneradores o paneles solares totales:

## Supervised Fleet

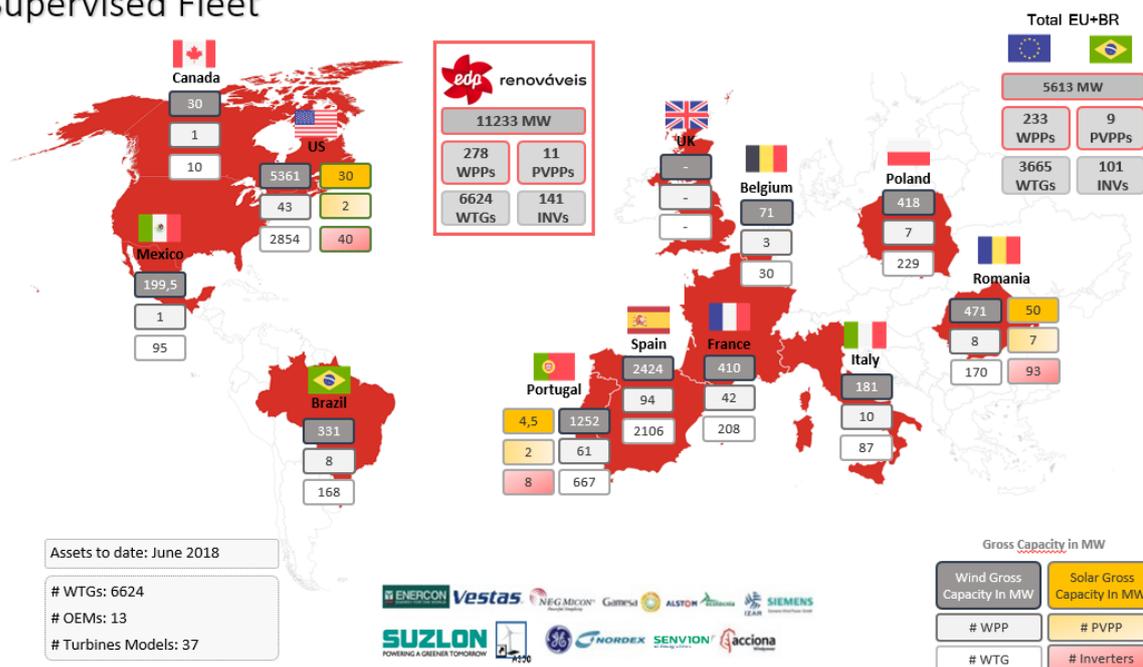


Figura 12: Activos supervisados por EDPR en todo el mundo [4].

### 3.1.1. DEPARTAMENTO EN EL QUE SE REALIZA EL ESTUDIO

La supervisión y control de los parques eólicos en tiempo real en el grupo EDPR se lleva a cabo desde cinco centros de control remoto, también llamados “Despachos eólicos” [4]:

- Despacho de Oporto: se controlan los parques eólicos de Portugal y Europa.
- Despacho de Oviedo: se dirigen los parques de España.
- Despacho de Brasil: se supervisan exclusivamente las instalaciones de Brasil.
- Despacho de Bucarest: se controlan los activos de Rumanía.
- Despacho de Houston: se supervisan los parques de Estados Unidos y Canadá.

Además, existe una correspondencia entre ellos que les permite actuar como sistemas redundantes, de forma que, si hubiera algún problema en la operación desde alguno de los centros de control, podría llevarse a cabo el control desde los otros despachos [4].

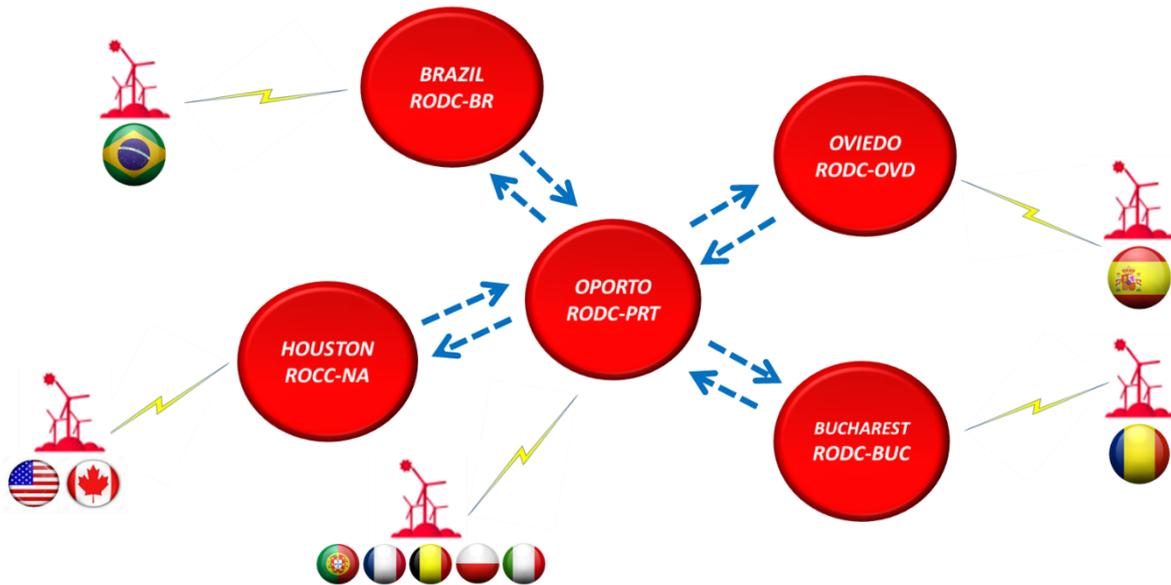


Figura 13: Correspondencia entre los centros de control del grupo EDPR [4].

La misión principal de los despachos es contribuir de manera tangible a incrementar la capacidad de producción de la compañía, asegurando el control de activos en tiempo real y realizando operaciones de red y comerciales, además de garantizar el cumplimiento de la normativa y el uso de las mejores prácticas [4].

Las actividades que se llevan a cabo en estos centros de control pueden agruparse en tres grandes bloques:

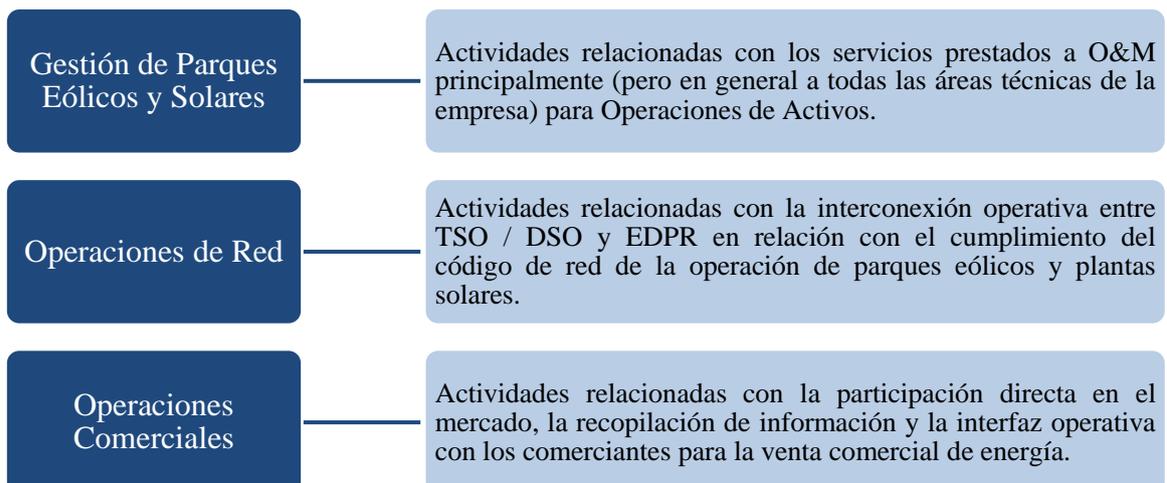


Figura 14: Esquema de las funciones principales de los despachos de EDPR [4].

Cada uno de los centros de control y operación necesitan de gran cantidad de herramientas que posibiliten el trabajo que tienen que desempeñar. En el caso del despacho eólico de Oviedo, donde he podido desarrollar este proyecto, los principales dispositivos que permiten realizar un control remoto adecuado de los activos que poseen son [4]:

- SCADAs (Supervisory Control And Data Acquisition) individuales para cada parque, proporcionados por el tecnólogo correspondiente y para cada subestación de transformación.
- Servidores/Clientes OPC (Object Linking and Embedding for Databases for Process Control): sirven como aplicación de respaldo en fallos de comunicaciones, problemas de hardware, etc.
- RTU (Remote Telemetry Units): son dispositivos de adquisición de datos y control en campo, cuya función principal es hacer de interfaz entre los equipos de instrumentación, control local y el sistema de adquisición de datos y control.
- PLC (Programmable Logic Controller): son dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos de la industria, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones. Algunos PLC pueden funcionar como una RTU, ya que tienen todas sus funciones.

En la actualidad, el grupo EDPR cuanta con 10 tecnólogos diferentes que proveen tanto de aerogeneradores como de sus sistemas auxiliares, incluidos los SCADAs. El problema no solo reside en el número de proveedores, si no que existen diferencias sustanciales entre sistemas del mismo tecnólogo, así como diferentes modelos de aerogenerador, entre otras diferencias [4].

Por este motivo, para facilitar el control remoto, se desarrolló una infraestructura de última generación llamada Sistema de Gestión de Energía Eólica (WEMS: Wind Energy Management Systems) la cual permite a los centros de control el acceso a más de 5000 turbinas de 11 fabricantes, a 200 subestaciones y 250 torres meteorológicas. Se almacenan más de 2 millones de datos diariamente en una base central de datos históricos que es el núcleo de su Sistema de Gestión del Rendimiento Operativo (OPMS). Gracias a este sistema, se analiza el rendimiento de la actividad y de las operaciones de campo permitiendo alcanzar nuevas cotas de resultados [4].

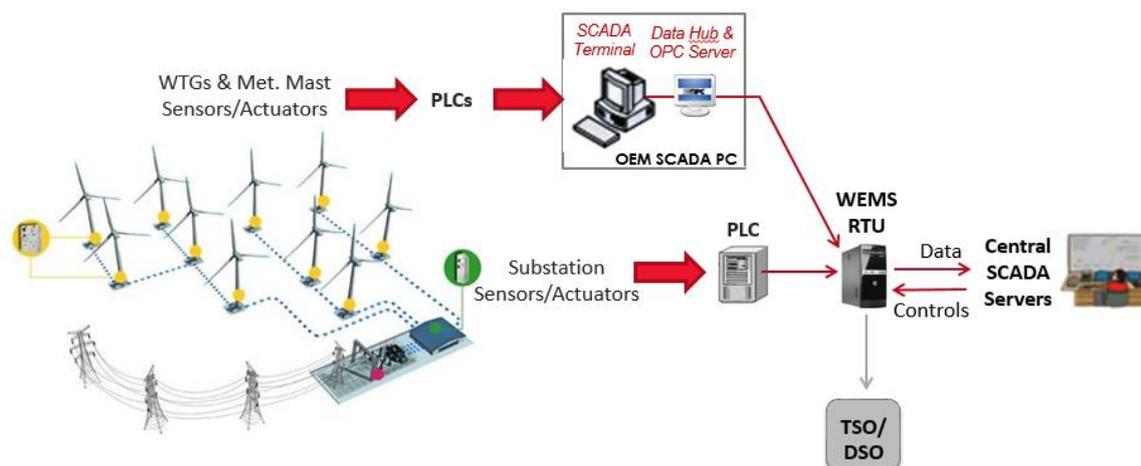


Figura 15: Arquitectura y conexiones de planta y centro de control [4].

Para la realización de este Trabajo Fin de Máster, como se ha mencionado anteriormente, he tenido la oportunidad de estar trabajando como ingeniero en prácticas en el despacho eólico de Oviedo, más concretamente en el departamento de RODC (Remote Operations and Dispatch Centre), el cual cuenta con un jefe de departamento (Víctor Marchena Álvarez, mi tutor), siete jefes de turno y un becario. Los jefes de turno poseen un horario especial de tal manera que permite tener al menos a una persona al mando durante las 24 horas, 365 días al año, permitiendo así un control constante sobre todos los activos que deben operar.

### 3.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO

En este apartado se van a definir todas las herramientas informáticas que se han utilizado para la creación de las aplicaciones y sus cálculos:

➤ **Microsoft Office Excel:** es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp. Se trata de un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo. En el presente trabajo, esta herramienta es la más utilizada, ya que se ha utilizado para introducir los datos, procesarlos (mediante macros utilizándolo conjuntamente con VBA) y para la visualización final de los resultados.



- **VBA (Visual Basic for Applications):** es un lenguaje de macros que se emplea para crear aplicaciones que permiten ampliar la funcionalidad de programas de la suite Microsoft Office (entre otros). VBA es un subconjunto casi completo de Visual Basic, y prácticamente cualquier cosa que se pueda programar en Visual Basic 5.0 o 6.0 se puede hacer también dentro de un archivo Office, con la limitación de que el producto final no se puede compilar separadamente de dicho archivo. Su utilidad principal es automatizar tareas cotidianas, así como crear aplicaciones y servicios de bases de datos para el escritorio. Para este trabajo, posteriormente se podrá comprobar como prácticamente todo el funcionamiento de los programas creados, desde la interfaz gráfica del usuario, hasta el manejo y cálculo de datos, se realiza programando en este lenguaje a través de Microsoft Excel.
- **SAP Business Suite:** es un conjunto de programas que permiten a las empresas ejecutar y optimizar distintos aspectos como los sistemas de ventas, finanzas, operaciones bancarias, compras, fabricación, inventarios y relaciones con los clientes. Ofrece la posibilidad de realizar procesos específicos de la empresa o crear módulos independientes para funcionar con otro software de SAP o de otros proveedores. La suite puede soportar sistemas operativos, bases de datos, aplicaciones y componentes de hardware de casi cualquier proveedor. En EDP Renovables se utilizan estos programas para un gran número de funciones. Para el tema de este proyecto, el programa se utiliza en primer lugar para guardar los datos de las activaciones de retén y posteriormente para extraer el registro histórico de esa información, que finalmente se introducirá en Excel para su procesado.
- **PI System:** es una gama de productos que permite la gestión de datos y eventos en tiempo real. Además, sirve como base de datos, ya que almacena toda la información para cualquier posible consulta. En la empresa EDP Renovables, toda la información del SCADA central con el que se operan todos los activos, se centra en la base de datos ofrecida por PI System. Para este trabajo, de toda la gama de productos que poseen, se han utilizado fundamentalmente tres:
  - **PI Server:** es el motor que se encarga de recolectar todos los datos en tiempo real, archivarlos y distribuirlos.
  - **PI Datalink:** es un complemento de Excel fácil de usar que le permite analizar los datos de PI System en Microsoft Excel. De esta manera, se tiene un fácil acceso a toda el histórico de información, para su posterior manipulación mediante VBA.

- **OPMS**: es una herramienta específica creada para la empresa EDP Renovables que organiza los datos del PI Server con el objetivo de realizar informes y consultas con una interfaz gráfica para el usuario más intuitiva y fácil de utilizar.

### 3.3. FUNCIONAMIENTO DETALLADO DE LOS RETENES

Como se ha explicado previamente, a partir del 6 junio de 2014, debido al cambio de legislación se produjo una disminución del precio de la energía producida por generadores eólicos y se hizo necesario la modificación del servicio de mantenimiento para solventar las incidencias que puedan suceder en los parques eólicos. De esta manera, de forma general se tendrá un contrato con empresas de reparación que dispondrán de un horario laboral de mañanas y tardes durante los días de diario, dejando parte de esos días de diario (en horario nocturno fundamentalmente), los fines de semana y los festivos sin posibilidad de reparación en el caso que de surja algún problema. Es aquí donde entran en juego los retenes, que no es más que un servicio de guardia de alto coste durante parte del horario que no cubre el servicio principal y que solamente acude en caso de que se estime que la producción que va a generar ese servicio da como resultado un beneficio económico. Esta estimación se realiza con un programa, que se detallará en el siguiente capítulo.

Pero el funcionamiento de los retenes no es tan simple. Depende principalmente de cinco factores, que a su vez dependen de otros conceptos. Es un funcionamiento complejo que se va a intentar explicar con la mayor claridad posible a continuación:

#### 3.3.1. HORARIOS

**Horario laboral**: corresponde con el período de tiempo acordado en el contrato de mantenimiento del parque eólico, en el cual hay técnicos de reparaciones que se encargan de tratar las actuaciones preventivas (trabajos planificados con antelación) además de las actuaciones correctivas que ocurran (todo tipo de incidentes). Hay que tener en cuenta que el despacho eólico de Oviedo de EDP Renovables gestiona 94 parques eólicos en toda España, y cada uno de ellos posee un horario laboral distinto. Normalmente suele ser un horario de diario a jornada partida, desde las 8:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., pero no siempre

es así. Un parque puede tener un horario laboral de 8:30 a.m. hasta las 6:00 p.m., mientras que otro puede tener un horario de 8:00 a.m. hasta las 8:00 p.m.

**Horario de Retén:** debido a que el horario laboral no cubre ni fines de semana, ni festivos, ni parte de las horas de los días de diario, se determinó que era imprescindible tener un servicio adicional para la solución de incidencias durante estos períodos. Es lo que se denomina un retén. Es importante destacar, que este tipo de servicio tiene un coste bastante elevado, por lo tanto, se dispone de este servicio durante un período de tiempo limitado, es decir, no abarca la totalidad del tiempo que no cubre el horario laboral estipulado en el contrato de mantenimiento general. Además, como dicho horario laboral es distinto para cada parque, se tendrá un horario de retén distinto, lo que aumenta la complejidad del cálculo ya que hay que hacer una diferenciación prácticamente individual, que se traduce en el aumento de la dificultad de la programación. Un ejemplo de esta distinción, es que un parque eólico tenga un horario de posible activación de retén los sábados de 8:30 a.m. hasta las 6:00 p.m., mientras que para otro parque el mismo servicio sea de 9:00 a.m. hasta las 10:00 p.m.

En la siguiente tabla se indican los horarios de un parque genérico, para tener una visión más práctica del alcance de los horarios a lo largo del año:

*Tabla 2: Ejemplo de horarios de mantenimiento de un parque eólico concreto.*

	Técnicos en Horario Laboral	Técnicos en Horario de Retén	Período sin posibilidad de reparación
De lunes a viernes	08:00 - 18:00	18:00 - 22:00	(0:00 - 8:00) y (22:00 - 23:59)
Sábados y domingos	-	08:30 - 18:00	(0:00 - 8:30) y (18:00 - 23:59)
Festivos	-	08:30 - 18:00	(0:00 - 8:30) y (18:00 - 23:59)

### 3.3.2. AGRUPACIONES DE PARQUES

Para conseguir un aumento de los beneficios en la activación de retenes, se han realizado agrupaciones de varios parques, de modo que es posible realizar una activación de retén múltiple, es decir, se activa el retén una sola vez para la reparación de distintos elementos en varios parques eólicos, consiguiendo un tiempo de intervención total menor y por tanto un coste más reducido. Esto es un aspecto fundamental a tener en cuenta en todos los cálculos, lo que obliga a hacer una distinción entre parques eólicos pertenecientes a agrupaciones y parques eólicos con activación individual exclusiva.

### 3.3.3. PRECIOS DE RETÉN

**Parques con coste:** para la gran mayoría de parques eólicos, la solicitud de una activación de retén tiene un alto coste. Este precio se subdivide a su vez en dos tipos:

- a. Coste de intervención: este valor depende del tiempo de intervención necesario (sin contar el tiempo de desplazamiento) y del día de activación, ya que el precio es diferente si es un día de diario, sábado, domingo o festivo.
- b. Coste de desplazamiento: este coste puede ser de carácter fijo si el tiempo de desplazamiento es superior a dos horas (normalmente), pero si el tiempo de desplazamiento es menor de dos horas se realiza el cálculo usando la tarifa de intervención y el tiempo necesario para la llegada a las instalaciones.

**Parques sin coste:** existen una serie de parques en cuyo contrato de mantenimiento se incluye un servicio de reparaciones los siete días de la semana, teniendo un horario laboral en el que los técnicos se encuentran en parque para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos, además de un horario de retén en el cual los técnicos acuden al parque si surge alguna incidencia. Para este tipo de casos siempre se activa retén, ya que dicha activación no tiene un coste adicional asociado.

### 3.3.4. ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Uno de los dos factores fundamentales para que una activación de retén sea económicamente viable es que existan unas condiciones meteorológicas (fundamentalmente la velocidad del viento) que favorezcan la producción energética de los aerogeneradores. La mayoría de modelos de aerogeneradores que se gestionan en EDP Renovables en España necesitan unas condiciones de viento que varían desde los 5 m/s hasta los 25 m/s. Valores inferiores no son capaces de generar producción eléctrica, mientras que valores superiores incumplirían los límites de seguridad de las máquinas. Por lo tanto, hay que tener muy en cuenta las previsiones de viento que va a haber en la zona donde posiblemente se va a activar un retén y durante el tiempo que el/los aerogeneradores reparados estarían produciendo.

El valor de la velocidad de viento se obtiene continuamente en tiempo real, desde un período a corto plazo (predicciones de unas pocas horas) con una fiabilidad más elevada, hasta un plazo más largo (de varios días, ya que si se activa retén un viernes, hay que tener

en cuenta que la producción de esa máquina va a ser durante el viernes, sábado y domingo), teniendo menor fiabilidad, debido a la gran cantidad de variables de las que depende una estimación de la meteorología.

Todas estas estimaciones hay que tenerlas en cuenta en todo momento, y el programa que decida si una activación es viable o no, tiene que estar procesándolas constantemente para tener un resultado lo más fiable posible en tiempo real en el caso de suceda algún incidente en cualquier instalación.

### 3.3.5. PRECIO DE MERCADO

El segundo factor fundamental para determinar la viabilidad de los retenes es el precio de mercado. Como se ha explicado en apartados anteriores, la energía eólica actualmente participa como cualquier otra energía en el mercado eléctrico español, teniendo un precio pool como cualquier otra tecnología. Por lo tanto, hay que determinar la producción energética que se va a conseguir por la activación de retén y que el precio de venta de esa energía sea lo suficientemente elevado como para superar el coste del retén.

En este apartado, se puede dividir el precio de mercado en dos tipos, teniendo en cuenta el funcionamiento del mercado eléctrico español actual:

- a. Precio fijo: corresponde a las activaciones de retén de los días de diario, sábados y domingos que no sean vísperas de festivos. Para estos casos, el precio de la energía se casa en el día “D-1” del mercado intradiario, por lo tanto, antes de activar el retén se tendría un precio fijo para la energía producida.
- b. Precio estimado: el precio de mercado para las activaciones de retén de los viernes y sábados, cuyo siguiente lunes sea festivo, tiene dos partes: una parte fija correspondiente al período ya casado en el día “D-1” explicado anteriormente y una parte estimada, ya que si se activa retén un viernes, por ejemplo, no se tienen los datos casados para el domingo (o para el lunes siguiente si es festivo), y es necesario hacer una predicción del precio que va a tener la energía.

### 3.4. ESQUEMA DE LAS VARIABLES A TENER EN CUENTA

En los anteriores apartados se han explicado de forma detallada las variables que influyen a la hora de determinar una activación de retén, y las posibles variantes o casos excepcionales que puede ocurrir. Todos estos parámetros hay que tenerlos en cuenta para realizar una estimación que más se acerque al resultado real, lo que implica un grado de complejidad bastante alto a la hora de crear un programa que realice este cálculo. No hay que olvidar, que esta herramienta tiene que tener una serie de características, como estar en funcionamiento constante, tener un tiempo de cálculo reducido para facilitar la toma de decisión del personal encargado de esta actividad, así como poseer una alta robustez, es decir, que el programa funcione sin ningún tipo de error, ya que un mal funcionamiento de esta herramienta durante un solo día podría incurrir a pérdidas económicas bastante relevantes.

Finalmente, para concluir este capítulo de la memoria, se adjunta en la siguiente figura un esquema que resume todas las características a tener en cuenta, para ver de una manera más simplificada la cantidad de variables que influyen en el cálculo:

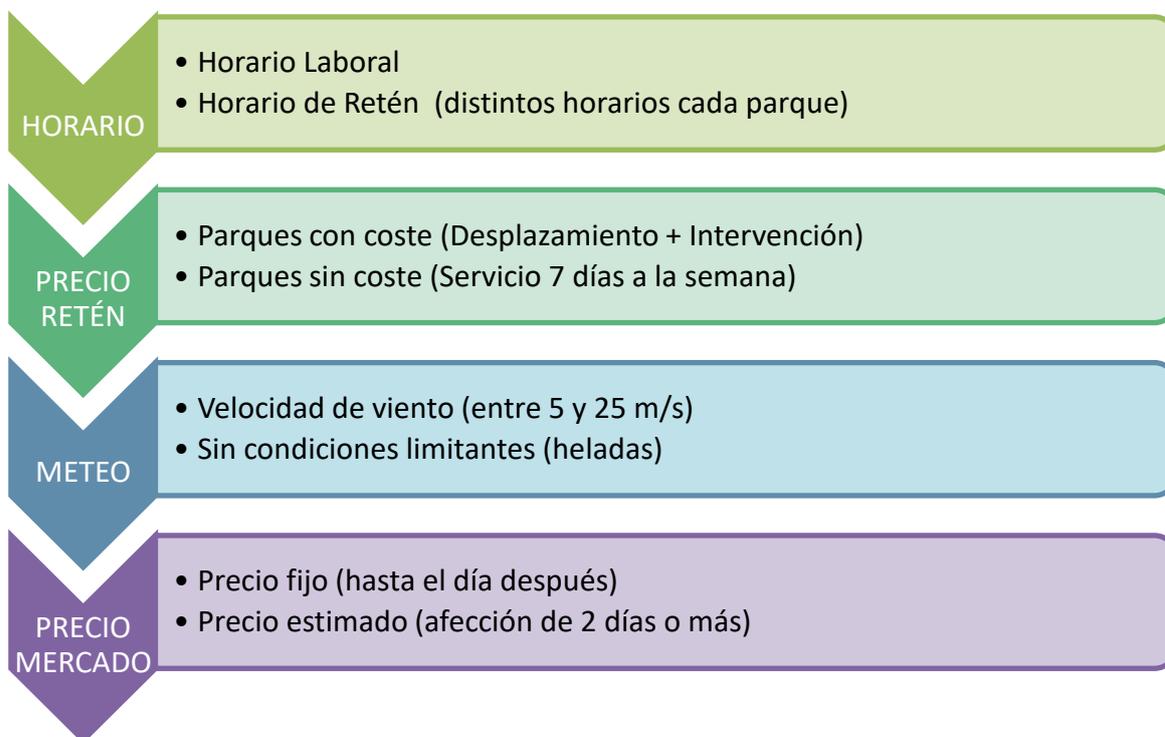


Figura 16: Resumen de las principales variables que afectan a la activación de retenes

## **4. CÁLCULO DE VIABILIDAD PARA LA ACTIVACIÓN DE RETENES**

Una vez descrito el papel de la energía eólica en el mercado eléctrico español actual y el funcionamiento detallado de los retenes, en este capítulo se van a explicar los 3 programas creados mediante VBA en Microsoft Excel utilizados en el despacho eólico de Oviedo de EDP Renovables que se encargan de gestionar todo lo relacionado con las activaciones de retén. Para ello se van a detallar los objetivos que persigue cada herramienta, la interacción con otras aplicaciones informáticas, el método que se ha utilizado para su creación, el procedimiento de cálculo que realizan y los resultados obtenidos, además de una serie de justificaciones que apoyan tanto el buen funcionamiento de los programas como el beneficio que se obtiene con las activaciones de retén realizadas. Asimismo, se han adjuntado imágenes para ayudar a comprender el funcionamiento de estas aplicaciones.

Para los tres programas hay que tener en cuenta todas las variables descritas en el apartado 3.3. de la presente memoria, considerando que su aplicación es distinta dependiendo de los datos de partida que tengamos y del objetivo que se quiere alcanzar.

### **4.1. ESTIMACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA PARA DETERMINAR LA ACTIVACIÓN DE RETENES**

#### **4.1.1. OBJETIVOS**

En primer lugar, se parte de la situación en la que se ha terminado el horario laboral definido en el contrato de mantenimiento de un parque eólico y se entra dentro del horario de retén. A partir de entonces y durante un período limitado, en el caso de que se produzca algún incidente, ya sea de algún aerogenerador o de cualquier elemento que impida una correcta generación de energía por parte de las turbinas, el jefe de turno al mando en el despacho eólico de Oviedo tiene la capacidad de solicitar una activación de retén, para que un equipo de técnicos se desplace hasta las instalaciones e intente reparar el problema, reanudando la producción energética lo más pronto posible.



Desde el punto de vista empresarial, esta activación de retén solo interesa en el caso de que la diferencia entre el beneficio generado por la producción energética rearmada por el retén y el coste total del mismo se traduzca en un resultado positivo, es decir, en ganancias.

La toma de decisión para proceder a la activación de retén es complicada, puesto que depende de un gran número de factores, algunos de ellos basados exclusivamente en predicciones con un cierto grado de incertidumbre (como las condiciones meteorológicas), además de que la persona al mando tiene que atender muchas otras funciones. Todo ello, obligó a crear un programa interactivo que fuera capaz de realizar una estimación del beneficio o pérdida de cada posible activación retén con el mínimo error posible, además de realizar el cálculo en tiempo real durante todo el horario de retén, mostrando con un simple vistazo los datos suficientes para poder determinar la decisión con un elevado grado de confianza en un período de tiempo casi instantáneo.

Siguiendo todas estas directrices, se decidió programar un algoritmo en Microsoft Excel mediante VBA que fuera capaz de realizar todos estos cálculos. La decisión de utilizar este tipo de lenguaje y la herramienta Microsoft Excel es el hecho de que todo el personal que trabaja en este departamento tiene experiencia y amplios conocimientos sobre la creación de macros en Microsoft Excel, y en el caso de que surgiera algún error en el cálculo, en la programación, o que haya que modificar ligeramente el código por la introducción de nuevos parques eólicos, sería un problema que se solventaría rápidamente por el personal del departamento. No sería así, si esta aplicación se realizara con un lenguaje de programación con el que los trabajadores no están familiarizados. Además, para alcanzar los objetivos que se pretenden, las funciones que nos ofrece Microsoft Excel junto con VBA son más que suficientes para lograrlos satisfactoriamente. Finalmente, es importante recalcar que ya existía una aplicación con un funcionamiento parecido, pero en esta versión se han añadido condiciones que mejoran los resultados obtenidos.

#### **4.1.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL**

La macro para la estimación de viabilidad económica de retenes se ha desarrollado para optimizar la gestión llevada a cabo por el despacho eólico. Previamente, cada parque tenía unas condiciones de activación fijas que no tenían en cuenta las condiciones de viento variable ni el precio del mercado (cambiantes en función de diversos factores).

A continuación, se detallan las principales características de esta herramienta, así como un repositorio de toda la información necesaria para poder trabajar y hacer uso de la misma. Para calcular y comparar los datos necesarios para la decisión de activar un retén en un determinado parque se tienen en cuenta los siguientes factores:

- **Estado de las turbinas del parque:** Se obtiene realizando consultas en tiempo real a la base de datos PI Server. El número total de turbinas tenidas en cuenta a la hora de realizar los cálculos podrá ser corregido por el operador manualmente.
- **Tiempo estimado de indisponibilidad:** La estimación se realiza tomando como hora de puesta en marcha las 8:30 a.m. del siguiente día laborable tras la parada de la turbina. En este cálculo se discrimina entre día laborable, sábado y fin de semana. No se tienen en cuenta automáticamente los días festivos, pero podrá ser editado manualmente por el operador.
- **Tiempo estimado de intervención:** El tiempo se ha fijado en 1,5 horas. Este dato ha sido obtenido de la media de todas las activaciones realizadas a lo largo del 2016. A la hora de calcular el tiempo total de la intervención, también se tiene en cuenta el tiempo de desplazamiento, fijándolo en el máximo establecido para cada instalación.
- **Previsiones de precio y generación:** Los datos, a través de fichero FTP, son facilitados por una empresa de estimaciones. Cruzando las previsiones de producción de cada parque con el número de turbinas disponibles y la previsión de precio pool, hora a hora, hasta la fecha estimada de puesta en marcha, obtenemos las pérdidas económicas estimadas por parque.

Conociendo los datos anteriormente descritos se puede realizar una valoración sobre la viabilidad o no de la activación del retén, pues se dispone de datos estimados del coste de intervención y las pérdidas económicas hasta que la turbina esté nuevamente disponible.

En la siguiente figura se incluye un diagrama de flujo que explica resumidamente los pasos que va siguiendo la aplicación en los cálculos. Se han obviado muchos detalles, como ciertas excepciones con algunos parques o pequeñas condiciones que aumentan la complejidad de la programación, pero de esta manera se puede observar de una manera más intuitiva el funcionamiento general del programa.

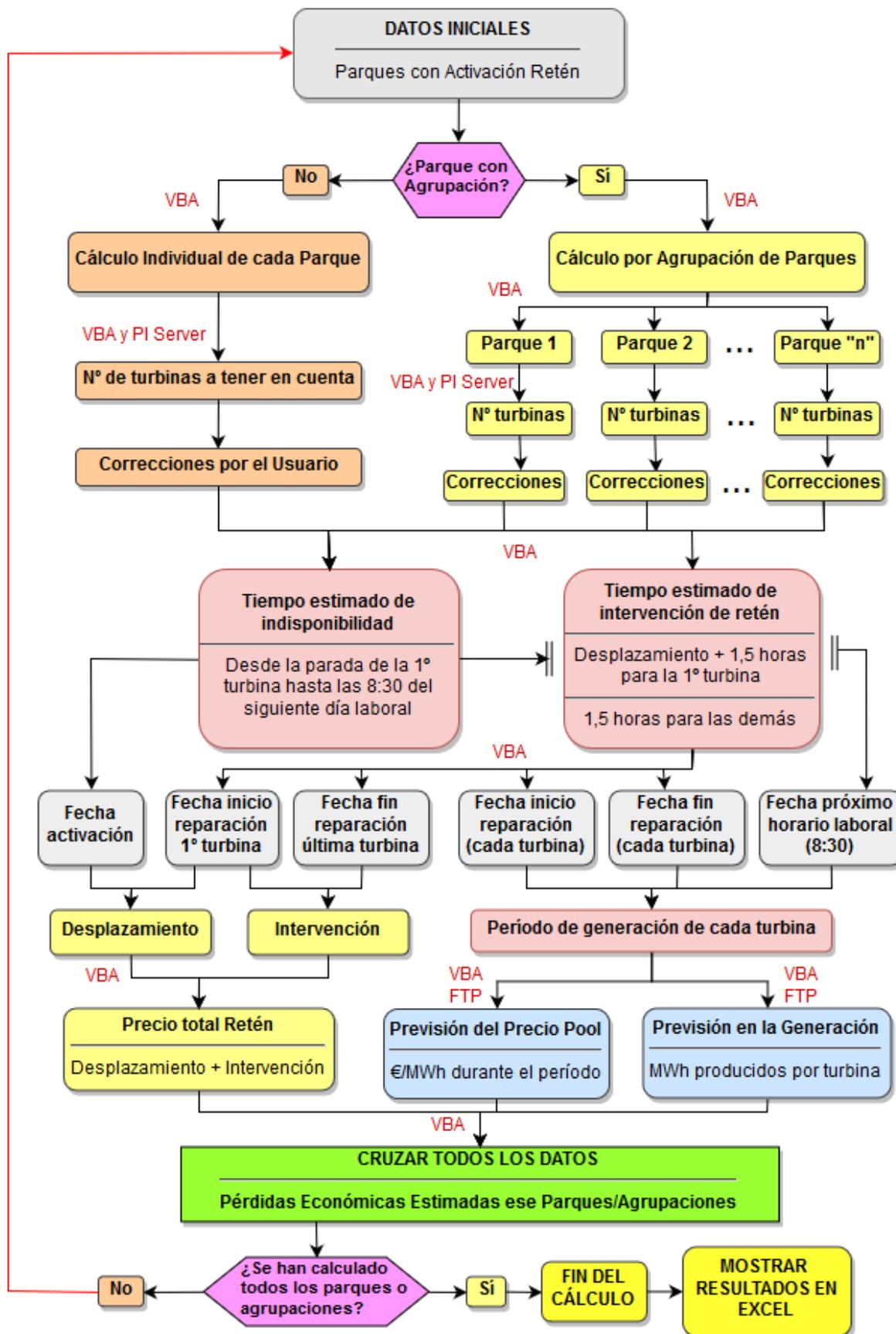


Figura 17: Funcionamiento del programa de estimación de viabilidad económica.

### 4.1.3. ESTRUCTURA Y USO DE LA APLICACIÓN

Toda la herramienta se desarrolla en Microsoft Excel, por tanto, en un mismo archivo se tiene la base de datos con toda la información sobre los datos de partida, los mecanismos de comunicación con los programas de estimación de producción y de precio de mercado y los comandos necesarios para la interacción con el operador del programa.

La explicación de todo lo mencionado es una tarea compleja, por ello, el uso de la aplicación se va a dividir en tres apartados para alcanzar una mejor comprensión:

- Estructura principal del archivo Microsoft Excel, explicando las características de cada pestaña y la función de sus elementos principales.
- Descripción del código utilizado en VBA, comentando brevemente las funciones utilizadas.
- Resultados alcanzados y un ejemplo para un caso concreto.

### ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL ARCHIVO

Esta herramienta se trata en un archivo Microsoft Excel con extensión para la utilización de macros (.xlsm), que consta con 9 pestañas:

Hist. Rec.	Calculación	WPP	Stop Data	Stop meses	Stop Total	Stop economic	Stop call	New start date	Current day as holiday	Actual	No comm Date	No comm meses	No comm Total	No comm economic	No comm call	Vini final
ON		Zas - Corme	2	0	2	262 €	420 €			99%	1	-1	0	0 €	0 €	3,97
ON		P.Rebordelo - Valsazueir	2	0	2	1.591 €	588 €			96%	7	0	7	6.337 €	1.050 €	3,40
ON		Fontesliva	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4,06
ON		PECA	1	-1	0	-160 €	315 €			100%	59	-1	58	28.695 €	1.103 €	4,16
ON		Curisco - Pumar	2	-2	0	31 €	461 €			100%	1	-1	0	0 €	0 €	3,14
ON		Carondio	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4,28
ON		Rabinaldo	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4,18
ON		Arlanzón	0	0	0	0 €	0 €			100%	2	0	2	751 €	546 €	2,57
ON		Quintanilla	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	3,84
ON		Fresno vuela	2	-1	1	497 €	819 €			99%	0	0	0	0 €	0 €	2,69
ON		Cerros de Radona	1	0	1	1.293 €	321 €			94%	0	0	0	0 €	0 €	2,11
ON		Voltova	2	0	2	1.302 €	393 €			98%	3	0	3	1.808 €	590 €	5,77
ON		PEBEMA	1	0	1	712 €	210 €			99%	0	-2	-2	-1.243 €	60 €	2,48
ON		Bra del pico	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	1,02
ON		Bureos Este	0	-4	-4	-2.480 €	0 €			107%	56	0	56	33.755 €	1.466 €	2,68
ON		Belchite	0	0	0	0 €	0 €			100%	30	-1	29	3.215 €	1.466 €	2,38
ON		Sotomera - Rabosera	1	-1	0	0 €	0 €			100%	0	-1	-1	-510 €	46 €	4,63
ON		Vireen Peña - Cantales	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	-1	-1	-507 €	36 €	3,37
ON		Pola - Remalinos	0	-2	-2	-733 €	0 €			103%	1	-1	0	0 €	0 €	6,14
ON		Bouuerón - Boria - C.Borla	3	-2	1	546 €	0 €			99%	8	0	8	4.029 €	0 €	0,73

Figura 18: Pestaña "Main" del programa de estimación de viabilidad económica.

1) **Pestaña “Main”:** en esta hoja se muestra la información necesaria para realizar un estudio de viabilidad de activación de retenes. En ella se encuentra tanto la información del cálculo final para cada uno de los parques o agrupaciones de parques, así como de todos los comandos con los que se puede interactuar para cambiar los distintos parámetros del cálculo.

En primer lugar, se describe toda la información que aparece en la matriz de partes, detallando las columnas:

- WTG estimated start date: Fecha estimada de puesta en marcha de los aerogeneradores que se empleará en los cálculos de forma genérica.
- Next calculation: Fecha y hora en la que el programa se ejecutará nuevamente de forma automática.
- Stop PI Data: Número total de aerogeneradores parados para el parque/agrupación.
- Stop operator correction: Número total de aerogeneradores que el usuario ha corregido manualmente como Stop.
- Stop Total: Número total de aerogeneradores tenidos en cuenta como parados a la hora de realizar los cálculos económicos y de disponibilidad.
- Stop economic losses: Valor estimado de la producción de los aerogeneradores parados hasta la fecha estimada de puesta en marcha.
- Stop on call service budget: Coste total estimado de la intervención del retén para el número total de aerogeneradores parados.
- New start date: Modificación de la fecha de puesta en marcha realizada por el operador.
- Current day as holiday: Indica que el día en curso será tratado como festivo a la hora de realizar todos los cálculos.
- Availability: Disponibilidad del parque/agrupación.
- No comm PI Data: Número total de aerogeneradores en fallo de comunicación para el parque/agrupación.
- No comm operator correction: Número total de aerogeneradores que el usuario ha corregido manualmente como fallo de comunicación.

- No comm Total: Número total de aerogeneradores tenidos en cuenta como fallo de comunicación a la hora de realizar los cálculos económicos.
- No comm economic losses: Valor estimado de la producción de los aerogeneradores en fallo de comunicación, tomados como parados, hasta la fecha estimada de puesta en marcha.
- No comm on call service budget: Coste total estimado de la intervención del retén para los aerogeneradores en fallo de comunicación considerándolos parados.
- Wind (m/s): media de viento del parque/agrupación.
- Como información adicional se han añadido comentarios en las columnas Stop, Corrección, Fcom y Corrección Fcom. En ellos se indica el número de aerogeneradores de cada parque que son tenidos en cuenta como paradas o fallos de comunicación a la hora de realizar los cálculos.

En segundo lugar, se explica el funcionamiento de cada botón/comando. Es importante comentar, que el primer paso desde que se abre el archivo es la posibilidad de optar por lanzar los cálculos de forma totalmente automática o de manera que podamos realizar correcciones en la información ofrecida por PI System antes de realizar el procesado.

- Botón “Holiday”: se puede modificar la fecha de puesta en marcha de todas las máquinas o indicar que el día en curso se ha de tratar como festivo para todas las instalaciones.
- Botón “Automatic calc. ON/OFF”: con este comando se puede detener la próxima ejecución automática del programa, que se lanzará a la hora indicada en la parte superior izquierda de la hoja Excel. Para volver al estado automático, simplemente hay que picar de nuevo sobre el botón.
- Proceso Automático (botón “PI update & Start”): Empleando este modo de funcionamiento la macro hará una consulta a los datos PI y a continuación realizará los cálculos económicos de forma automática.
- Proceso con opción de corrección (botones “PI update” y “Start”): Empleando este proceso podemos realizar una consulta a la base de datos PI y revisar los valores obtenidos antes de lanzar el proceso de cálculos económicos. El procedimiento para emplear este modo sería el que muestra en la siguiente figura.



Figura 19: Proceso para ejecutar el cálculo de la estimación con opción de corrección.

De cualquiera de las dos maneras, la macro comenzará a realizar todos los cálculos y activará la ejecución periódica. Una vez finalice, se mostrará una ventana informativa en la que se indican los parques en los que se debe activar el retén y el motivo.

En el caso de ser necesario algún tipo de corrección en el número total de aerogeneradores en stop, en fallo de comunicación, eliminar un parque de los cálculos PI, modificar la fecha estimada de puesta en marcha o indicar que el día en curso ha de tomarse como festivo para un parque, se realizará pulsando el botón asignado a cada parque/agrupación en la columna “WPP”. Empleando dichos botones se abrirá un formulario con la siguiente información:

- a) “PI error”:
  - b) “Stop/No comm → PI”:
  - c) “Stop/No comm → Correction”:
  - d) “WTG estimated start date”:
- a) con esta opción seleccionada se inhibe la consulta de datos PI para el parque indicado (solo es a nivel de parque, no a nivel de agrupación). Esta opción se utiliza ante problemas de comunicación.
- b) indica el número de turbinas en estado Stop/No comm obtenido de la consulta de datos a la base de datos PI.
- c) mediante el cuadro de texto asociado a esta opción podemos modificar el número total de turbinas Stop/No comm que se tendrá en cuenta a la hora de realizar los cálculos. El valor numérico introducido en este campo será sumado al valor numérico obtenido de la consulta a la base de datos PI System, en caso de que el valor que introduzcamos sea negativo se restará.
- d) En este cuadro de texto se modifica la fecha estimada de puesta en marcha de las turbinas en Stop y No comm. Siempre se tomará como fecha de puesta en marcha la indicada en el cuadro de texto a las 8:30, sea inferior o superior a la fecha de puesta en marcha calculada por defecto. En caso de tratarse de un periodo festivo debemos introducir la fecha del primer día laborable como fecha de puesta en marcha, en formato *dd/mm/aaaa*.

- e) “Current day as public holiday”: Seleccionando esta opción indicamos que el día en curso es festivo, esto modificará los precios de los retenes a la hora de realizar los cálculos.

The screenshot shows a window titled 'ARICO' with two main sections: 'WPP Info' and 'Holiday'.  
In the 'WPP Info' section, there are two sub-sections: 'Stop' and 'No Comm'. Each has a 'PI' value (0) and a 'Correction' input field. There are checkboxes for 'PI error' and 'PI' (under 'No Comm').  
In the 'Holiday' section, there is a 'WTG estimated start date' input field and a 'Current day as public holiday' checkbox.  
At the bottom, there are three buttons: 'Save & calculate this group', 'Save correction', and 'Close'.

Figura 20: Formulario para realizar modificaciones manuales para el cálculo final.

- 2) **Pestaña “O\_W”**: sirve para la introducción de un nuevo parque en el cálculo. Todos los datos introducidos por el usuario están protegidos contra escritura para evitar que se modifiquen de forma involuntaria. De este modo, para la inclusión en el cálculo de un nuevo parque hay que seguir un orden específico en los comandos que se tienen en esta hoja. Además, se tiene un registro visual de todos los parques que existen en la macro, indicando si solamente están registrados o también se tienen en cuenta para los cálculos.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data in the 'O\_W' tab:

WPP	Default	Backup
ZAS	1	1
CORME	1	1
FONTESIL	1	1
CELAYA	0	0
MONSEIV	0	0
PTEREBOR	1	1
VALSAGUE	1	1
ACEBO	1	1
CUESTA	1	1
LAGOS	1	1
MURIELLO	1	1
CURISCAO	1	1
PUMAR	1	1
GMUNOZ	1	1
LOMILLAS	1	1
CABANA	1	1
GRAMAL	1	1
PORTACH	1	1
BOQUERON	0	0
HOYA	1	1
MUNERA1	1	1
MUNERA2	1	1
DEHESICA	1	1
NAVICA	1	1
BECERRIL	1	1
ELPEDRON	1	1

Overlaid on the spreadsheet is a 'Configuration' panel with the following options: 'Out of warranty update', 'Out of warranty default wind farms', 'Write unlock', 'Autofill functions lock', 'RUN autofill', and 'Initialize'.

Figura 21: Pestaña “O\_W” del programa de estimación de viabilidad económica.

3) **Pestaña “O\_F”**: en esta hoja se tiene la información necesaria para conectarse a servidores externos que proporcionan las estimaciones meteorológicas y de precio de mercado que utiliza la Macro. En este caso no se adjunta una captura, para garantizar la confidencialidad de los datos.

4) **Pestaña “WTG”**: contiene la información de los aerogeneradores de cada parque eólico, indicando los siguientes parámetros:

- **“Enable/Disable”**: indica si se realizarán consultas a la base de datos PI para el parque seleccionado. Debe ponerse a 1 siempre que se quiera dar de alta un nuevo parque.
- **“Total”**: número total de turbinas del parque.
- **“% WPP in group”**: indica el porcentaje que representa el parque dentro de la agrupación a la que pertenece. Si se trata de un parque que no pertenece a ninguna agrupación, como en este caso, el valor es 1.
- Las demás columnas se rellenan automáticamente al ejecutarse el proceso. Son los datos sobre el número de turbinas paradas o en fallo de comunicación que proporciona PI Server en tiempo real, así como las correcciones manuales que puede introducir la persona al mando antes de realizar el cálculo final.

	WPP	Enable / Disable	Total	Stop (PI data)	Stop (PI Copy)	Stop (Operator correction)	Stop (Total)	No Comm (PI data)	No Comm (PI Copy)	No Comm (Operator correction)	No Comm (Total)	Wind speed (PI data)	Wind speed (PI Copy)	% WPP in group
2	ZAS	1	80			2	2		0		0	3.871604919	0.567375887	
3	CORME	1	60			0	0		1	-1	0	4.104838848	0.432624113	
4	FONTESIL	1	12			0	0		0		0	4.063450336	1	
5	CELAYA	0	32			0	0		0		0	0		
6	MONSEIV	0	46			0	0		0		0	0		
7	PTEREBOR	1	31			1	1		7		7	3.650000095	0.553571429	
8	VALSAGUE	1	25			1	1		0		0	3.091666698	0.446428571	
9	ACEBO	1	27			1	1		0		0	2.20714283	0.275510204	
10	CUESTA	1	12			0	0		0		0	2.646153927	0.12244898	
11	LAGOS	1	59			0	-1	-1	59	-1	58	5.360714436	0.602040816	
12	MURIELLO	1	25			0	0		0		0	4.279999733	1	
13	CURISCAO	1	58			1	1		1	-1	0	3.306896448	0.552380952	
14	PUMAR	1	47			1	-2	-1	0		0	2.927659512	0.447619048	
15	GMUNOZ	1	17			0	0		0		0	5.170488358	1	

Figura 22: Pestaña “WTG” del programa de estimación de viabilidad económica.

5) **Pestaña “O\_C\_S” (On Call Services):** en esta pestaña se tienen los datos correspondientes del coste asociado a la activación de cada retén. Tendremos por tanto la siguiente información en las columnas sombreadas (B-I)

- “Activation Cost (€)”: coste fijo en euros que el retén cobrará ante una activación. Si se dispone de tiempo de desplazamiento en este apartado no se añadirá nada.
- “Displacement (h)”: tiempo máximo de desplazamiento en horas que el retén tiene para acceder a las instalaciones desde la activación. Si se dispone de coste de activación, en este apartado no se añadirá nada.
- “Repair per turbine (h)”: tiempo estimado en horas que el retén tarda en reparar una avería en una turbina. Por defecto será de 1,5 horas.
- “Working days (Technician-h)”: precio que cobra cada técnico del retén por hora trabajada en días laborables.
- “Saturday (Technician-h)”: precio que cobra cada técnico del retén por hora trabajada en sábado.
- “Sunday and holidays (Technician-h)”: precio que cobra cada técnico del retén por hora trabajada en domingos o festivos.
- “Technician (no.)”: número de técnicos que componen el equipo de retén. Generalmente serán dos técnicos.
- “Work all days”: Indica si los retenes trabajan todos los días (sin activación) o no. El estado 1 indica que la contrata trabajará todos los días independientemente de la activación, el estado 0 indica que la contrata solo trabajará sin activación los días laborables.

En la captura de esta hoja se ha modificado el coste real de los retenes, para mantener la privacidad de los contratos que mantiene EDPR, además de que este dato no es relevante, el programa funciona de igual manera para cualquier precio que se introduzca en estas columnas.

WPP	Activation Cost (€)	Displacement (h)	Repair per turbine (h)	Working-days (Technician-h)	Saturday (Technician-h)	Sunday and holidays (Technician-h)	Technician (no.)	work all days	
ZAS			2	1.5	42	42	42	2	0
CORME			2	1.5	42	42	42	2	0
FONTESIL			2	1.5	52.34	53	63	2	1
CELAYA									0
MONSEIV									0
PTEREBOR			2	1.5	42	42	42	2	0
VALSAGUE			2	1.5	42	42	42	2	0
ACEBO			2	1.5	39.4	39.4	39.4	2	0
CUESTA			2	1.5	39.4	39.4	39.4	2	0
LAGOS			2	1.5	39.4	39.4	39.4	2	0
MURIELLO			2	1.5	57.58	57.58	46.49	2	0
CURISCAO			2	1.5	57.58	57.58	46.06	2	0
PUMAR			2	1.5	57.58	57.58	46.06	2	0
GMUNOZ			1	1.5	36	46	55	2	0

Figura 23: Pestaña “O\_C\_S” del programa de estimación de viabilidad económica.

6) **Pestaña “Group”**: en esta hoja se introduce la información sobre las agrupaciones de parques que hay que considerar. Simplemente hay que darle un nombre a elegir por el usuario e indicar qué posiciones ocupan cada uno de los parques de dicha agrupación en la hoja “O\_W”.

Group	Pos.					
Zas - Corme	2	3				
Ponte Rebordelo y Valsagueiro	7	8				
PECA	9	10	11			
Curiscao y Pumar	13	14				
Arlanzón	32	33				
Fresno Veleta	34	35	36	37		
Voltoya	43	44	45	46	47	
PEBEMA	26	27	28	29		
Burgos Este	39	40	41	42		
Sotonera-Rabosera	64	66				
Pola-Remolinos	52	53				

Figura 24: Pestaña “Group” del programa de estimación de viabilidad económica.

7) **Pestaña “Calc”**: es un registro de cada cálculo que va haciendo la aplicación. Va guardando los datos en esta hoja de forma ordenada para cada parque, y una vez que ha realizado todos los cálculos, cruza estos datos con la disposición en la pestaña “Main” para ofrecer el cálculo completo final de una manera más ordenada y vistosa.

WPP	Estimated repair time (h) Stop turbines	Estimated repair time (h) No comm. turbines	Stop economic losses	No comm economic losses	Availability	Stop on call service budget	No comm on call service budget
ZAS	3	0	261.9428831	0	0.975	420	0
CORME			0	0	1	0	0
FONTESIL			0	0	1	0	0
CELAYA							
MONSEIV							
PTEREBOR	1.5	10.5	905.2147452	6336.503216	0.96774194	294	1050
VALSAGUE	1.5	0	685.4106696	0	0.96	294	0
ACEBO	1.5	12	334.6740581	0	0.96296296	275.8	1103.2
CUESTA		0	0	0	1	0	0
MURIELLO			0	0	1	0	0
CURISCAO	1.5	0	119.3480334	0	0.98275862	403.06	0

Figura 25: Pestaña “Calc” del programa de estimación de viabilidad económica.

8) **Pestaña “Date”**: como la hoja anterior, simplemente es un registro para almacenar los datos relativos a fechas para cada parque, es decir, si el día considerado es festivo, el próximo rearme estimado (inicio del próximo horario laboral) o el próximo rearme estimado introducido manualmente por el usuario.

WPP	Current day as holiday	WTG estimated start date	New WTG estimated start date
ZAS	0	4/6/2018 9:00	
CORME	0	4/6/2018 9:00	
FONTESIL	0	2/6/2018 9:00	
CELAYA	0	4/6/2018 9:00	
MONSEIV	0	4/6/2018 9:00	
PTEREBOR	0	4/6/2018 9:00	
VALSAGUE	0	4/6/2018 9:00	
ACEBO	0	4/6/2018 9:00	
CUESTA	0	4/6/2018 9:00	

Figura 26: Pestaña “Date” del programa de estimación de viabilidad económica.



## DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO UTILIZADO EN VBA

El código utilizado para esta aplicación es muy complejo, ya que hay una gran cantidad de formularios (uno para cada agrupación o parque individual, además de para la introducción manual de datos por el uso de distintos comandos), procedimientos y funciones que realizan todo el cálculo necesario. Debido a que muchas partes de la programación incluyen información confidencial para conectarse a servidores FTP (File Transfer Process) de empresas que proporcionan las estimaciones meteorológicas o de mercado, no se adjunta el código fuente utilizado. Además, la totalidad del código es muy extenso, y alargaría la extensión del presente trabajo de manera desmesurada. No obstante, para las aplicaciones que se describirán en los siguientes apartados, se incluyen fragmentos de la programación, ya que no contienen información sensible que ponga en peligro la seguridad de los protocolos utilizados, y como siguen una estructura de cálculo muy parecido a este, es una prueba fehaciente de la creación del código por parte del autor, del mismo modo que la deducción del funcionamiento y el empleo de todas las condiciones necesarias.

Una vez expuesta esta justificación, se procede a definir un resumen de las principales funciones utilizadas en el código de la aplicación para realizar la estimación de la viabilidad económica de la activación de retenes:

- **Función “start\_date”:** se determina la fecha de puesta en marcha prevista para las turbinas, discriminando si se trata de día laborable, sábado o domingo. También se discrimina si en el parque tiene contratada presencia de personal diariamente. La fecha estimada de puesta en marcha son las 8:30 del próximo día laborable.
- **Función “ftp”:** Cada vez que se ejecuta el programa se comprueba si se tienen datos nuevos de previsiones de viento o precio pool en el servidor FTP de la empresa suministradora. En caso de haberlos, se descargan.
- **Función “imp\_dat”:** Importa los últimos datos descargados del servidor FTP de la empresa suministradora de estimaciones y les da un formato adecuado para proceder a su utilización.
- **Función “losses”:** Con la información descargada del FTP y de la base de datos PI Server, se procede a realizar una estimación de pérdidas por turbinas paradas o en fallo de comunicación. En dichos cálculos se tiene en cuenta la previsión de producción

estimada hasta la fecha de puesta en marcha considerada y el número de turbinas paradas por parque o agrupación.

- **Función “costs”**: Se realiza una estimación del coste de la intervención por parte de la contrata, discriminando si se trata de laborable, sábado o domingo/festivo. También se tiene en cuenta el tiempo de desplazamiento, número de técnicos y tiempo estimado de intervención. Durante el proceso de cálculo se tiene en cuenta que la jornada laboral tiene un máximo de 12 horas, tanto para parques eólicos individuales como para agrupaciones.

En la siguiente imagen, se adjunta una captura de pantalla del entorno de desarrollo integrado de VBA en Microsoft Excel para observar la gran cantidad de formularios y la extensión de la programación de esta aplicación:

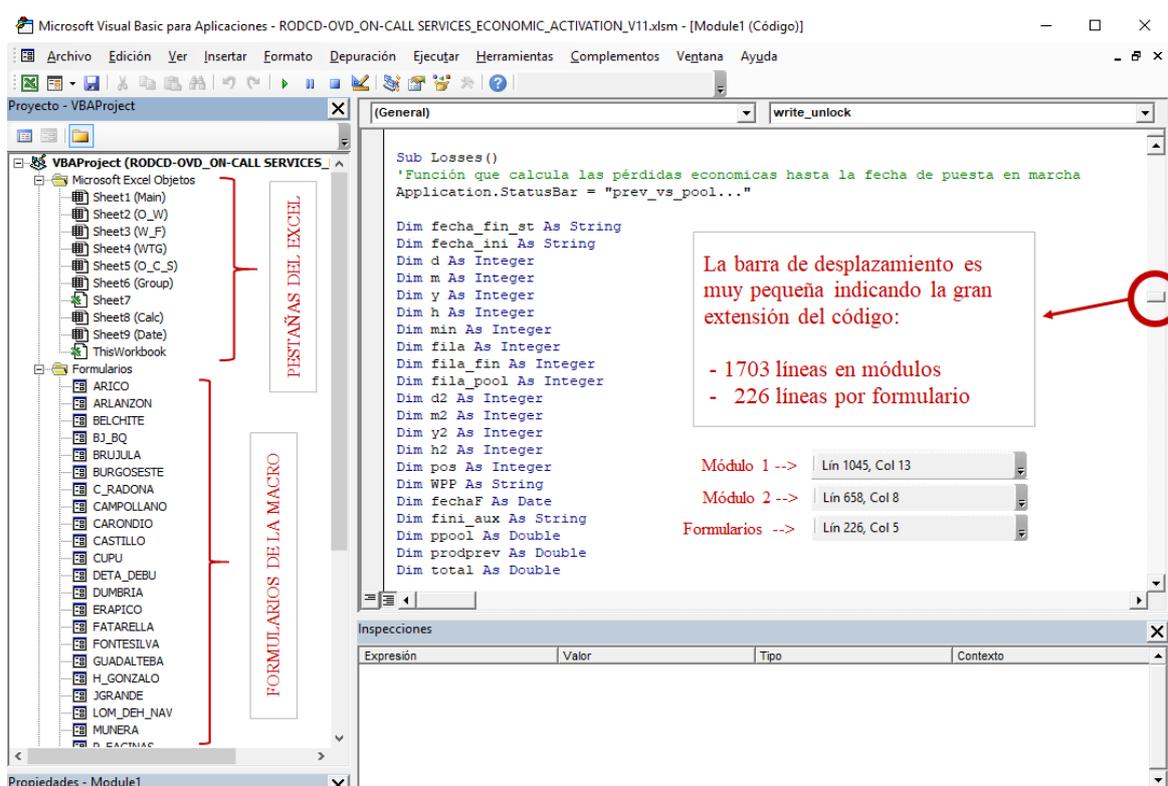


Figura 27: Captura del código del programa de estimación de viabilidad económica.

## RESULTADOS ALCANZADOS

Una vez explicado detalladamente el funcionamiento de la herramienta, se procede a la puesta en marcha. El resultado final del cálculo se ve reflejado en la pestaña “Main”, indicando bajo las columnas O (“Stop economic losses”) y AE (“No comm economic losses”) el valor en euros del beneficio económico por la posible energía generada para las turbinas paradas o las turbinas en fallo de comunicación considerándose como paradas; y en las columnas P (“Stop on call service budget”); y AF (“No comm on call service budget”), el valor del coste por la activación de retén.

Para los casos en que la resta entre las ganancias por la posible energía rearmada sea superior al coste del retén, se colorea el fondo de las celdas de amarillo, para indicar visualmente al jefe de turno que esa activación, según los criterios establecidos, generará un beneficio económico.

A continuación, se adjunta una captura con un ejemplo real de la pantalla principal que vería la persona al mando, indicando sobre fondo amarillo los parques o agrupaciones de parques para los que se estima un beneficio económico en caso de activar retén.

VPP	Stop PI Data	Stop operat	Stop Total	Stop economic	Stop on call	New start date	Current day as holiday	Avail. No comm	No comm Data	No comm operator	No comm Total	No comm economic	No comm call service	Wind (m/s)
Zas - Corme	2	0	2	262 €	420 €			99%	1	-1	0	0 €	0 €	3.97
P.Rebordelo - Valsaueleix	2	0	2	1.591 €	588 €			96%	7	0	7	6.337 €	1.050 €	3.40
Fontesilva	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4.06
PECA	1	-1	0	-160 €	315 €			100%	59	-1	58	28.695 €	1.103 €	4.16
Curiscao - Pumar	2	-2	0	31 €	461 €			100%	1	-1	0	0 €	0 €	3.14
Carondio	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4.28
Rabinaldo	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	4.18
Arlanzón	0	0	0	0 €	0 €			100%	2	0	2	751 €	546 €	2.57
Quintanilla	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	3.84
Fresno veleta	2	-1	1	497 €	819 €			99%	0	0	0	0 €	0 €	2.69
Cerros de Radona	1	0	1	1.293 €	321 €			94%	0	0	0	0 €	0 €	2.11
Voitova	2	0	2	1.302 €	393 €			98%	3	0	3	1.808 €	590 €	5.77
PEBEMA	1	0	1	712 €	210 €			99%	0	-2	-2	-1.243 €	60 €	2.48
Era del Ico	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	0	0	0 €	0 €	1.02
Bureos Este	0	-4	-4	-2.480 €	0 €			107%	56	0	56	33.755 €	1.466 €	2.68
Belchite	0	0	0	0 €	0 €			100%	30	-1	29	3.215 €	1.466 €	2.38
Sotonera - Rabosera	1	-1	0	0 €	0 €			100%	0	-1	-1	-510 €	46 €	4.63
Vireen Peña - Cantales	0	0	0	0 €	0 €			100%	0	-1	-1	-507 €	36 €	3.37
Pola - Remolinos	0	-2	-2	-733 €	0 €			103%	1	-1	0	0 €	0 €	6.14
Boquerón - Boria - C.Boria	3	-2	1	546 €	0 €			99%	8	0	8	4.029 €	0 €	0.73

Figura 28: Estimaciones de activaciones de retén con beneficio económico (amarillo).



#### 4.1.4. CONCLUSIONES

Esta herramienta informática creada mediante VBA en Microsoft Excel permite al despacho eólico de Oviedo de EDP Renovables realizar una estimación en tiempo real de la viabilidad económica de la activación de retenes para todos los activos que gestionan. Tiene un funcionamiento basado en predicciones de meteorología y precios de mercado, mediante el cual ofrece una vista simplificada de las posibles activaciones con beneficios, de tal manera que se la toma de decisión se puede realizar casi instantáneamente.

El último paso después del cálculo, consiste en la llamada por vía telefónica a la contrata responsable de atender ese parque o agrupación, para que vaya cuanto antes a las instalaciones. Posteriormente, se abrirá un aviso en la herramienta SAP para registrar los datos fundamentales de la activación de retén según vayan sucediendo, como el nombre del parque o agrupación afectada, la hora de activación de retén, la hora de llegada del retén a las instalaciones, la hora de fin de reparación, etc.

De esta manera, se obtiene un histórico de las activaciones de retén producidas con los datos reales. Esta información de SAP es la que se utilizará en la siguiente aplicación informática explicada en el presente Trabajo Fin de Máster, pudiendo realizar una comprobación exacta del beneficio o pérdida económica que han supuesto todas las activaciones de retén realizadas.

Analizando los datos que se obtengan en esta comprobación, se verificará el buen funcionamiento de esta herramienta, además de aportar ciertos datos y casos excepcionales que sirvan para optimizar de la mejor manera posible el algoritmo utilizado en esta macro de estimación de viabilidad económica en tiempo real.

## 4.2. CÁLCULO DEL BENEFICIO ECONÓMICO DE LOS RETENES ACTIVADOS

### 4.2.1. OBJETIVOS

Después de la puesta en marcha del programa de estimación de la viabilidad para la activación de retenes, es importante cuantificar de una manera exacta el beneficio económico que se ha obtenido por la activación de dichos retenes. De este modo, se requiere una aplicación que, utilizando una extracción de los datos registrados en SAP, calcule el beneficio obtenido. Para ello, es necesario seguir un procedimiento similar al utilizado en el programa anterior, pero con una serie de diferencias, provocadas principalmente por el formato que ofrecen los datos extraídos de SAP y porque los datos de energía producida por los aerogeneradores y el precio de mercado ya no son estimaciones, sino datos reales registrados en la base de datos de PI System.

Con el cálculo de esta información se podrá observar el beneficio o pérdida económica para cada retén activado y analizar si el algoritmo utilizado en el programa de estimación es el correcto, así como aplicar ligeras modificaciones para ir optimizándolo cada vez más. Además, resumen mensualmente los datos obtenidos, que posteriormente se presentarán en reuniones de la empresa para llevar un seguimiento y control de esta actividad.

### 4.2.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL

Esta macro realiza un cálculo muy similar al programa de estimaciones. La diferencia principal radica en que la herramienta anterior parte del momento en tiempo real donde los aerogeneradores están en situación de parada y se calculan todos los datos tomando como referencia unos valores estipulados e inamovibles (por ejemplo, se considera que todas las reparaciones tienen una duración de 1,5 horas y los desplazamientos una duración de 2 horas), mientras que para este caso, como se tienen los datos exactos, hay que realizar un cálculo individualizado para cada registro.

El primer paso consiste en una extracción manual de datos de SAP. Este programa proporciona los datos de partida referentes a las todas las fechas de cada retén. Además, se obtendrán los datos de energía producida y precio de mercado de otras plataformas.

Seguidamente, se comentan todos los datos de partida que se necesitan:

- Fecha de activación: es la fecha y hora en la que el jefe de turno del despacho eólico llama a la empresa encargada de realizar el retén.
- Fecha de entrada a parque: corresponde al momento en que los técnicos llegan a las instalaciones y comienzan las reparaciones.
- Fecha fin de reparación: es el instante en que el retén termina la reparación de todas las máquinas que estaban paradas, abandonando la instalación hasta nuevo aviso.
- Energía producida: sabiendo el instante en el que llegó la empresa contratada al parque eólico y la fecha del próximo horario laboral, se puede realizar una consulta a PI Server a través de PI Datalink para saber cuánta energía estuvieron produciendo los aerogeneradores durante ese período.
- Precio Pool: para este caso, los precios son datos ya casados, por tanto, basta con descargar el histórico de precios horarios en euros por MWh producido.

A partir de los datos de partida reales, la macro obtiene otros parámetros que se utilizan en los cálculos:

- Tiempo de desplazamiento: el período entre la fecha de activación y la fecha de entrada a parque será el tiempo de desplazamiento que ha necesitado la empresa para llegar al parque eólico, y dependiendo de esta duración se puede tener un coste variable o un coste fijo. El coste variable se aplica cuando no se supera el límite establecido en el contrato de mantenimiento y se calcularía como el tiempo de desplazamiento por el precio que cobran los técnicos por hora. Si se supera dicho límite (que normalmente suelen ser dos horas) se utilizaría el coste fijo. Determinar correctamente este parámetro es un paso importante, ya que hay que introducir estas condiciones en la programación de la aplicación para conseguir el resultado correcto.
- Tiempo de intervención: se obtiene como la resta entre la fecha de entrada a parque y la fecha fin de reparación. Con este dato se obtiene el coste de intervención del retén, como resultado de multiplicar el número de horas por el precio horario de cada técnico (que es distinto para cada parque o agrupación). Sumando el coste de desplazamiento más el coste de intervención se consigue el coste total de cada activación de retén.

- **Fecha del próximo horario laboral:** este momento coincide con la fecha en la que la máquina estaría repuesta una vez iniciado el siguiente horario laboral. Este dato es una estimación, ya que no se pueden obtener los datos exactos del momento en que las turbinas paradas estarían en condiciones de generación, porque ya se han rearmado en el retén. Entonces, para casi todos los casos, se estima que las turbinas paradas estarían repuestas a las 9:00 a.m. del próximo día laborable. Este dato no sería estrictamente así, ya que si existen muchos aerogeneradores parados y el horario laboral comienza a las 8:00 a.m., no se tendrían todas rearmadas a las 9:00 a.m., pero de esta manera se obtiene un cálculo conservador, evitando calcular más beneficios de los que realmente se produjeron.

Una vez explicados los datos iniciales a utilizar, se procede a definir el funcionamiento de la aplicación. Se puede dividir en cuatro procesos, que se describen a continuación:

1) **Cálculo energético y económico de los aerogeneradores rearmados:** el primer paso consiste en dividir todas las activaciones de retén múltiple en eventos individuales. Es decir, cuando se realiza una activación de una agrupación que afecte a tres parques eólicos, se divide esa activación en tres eventos distintos, con la misma fecha de aviso, entrada a parque y fin de reparación para los tres eventos, pero indicando para cada uno el número de aerogeneradores rearmados. Esto es una limitación impuesta por PI Datalink, ya que, al consultar la energía producida para cada turbina, hay que seleccionar uno a uno el código del parque eólico y el número de turbina afectada, impidiendo que se puede hacer una comprobación de la agrupación. De esta manera, con todos los eventos divididos, se consulta la energía producida de cada uno de los aerogeneradores entre la fecha de entrada a parque y la fecha del próximo horario laboral. Cruzando este dato con el precio pool para cada hora, se obtiene el beneficio total que se ha obtenido para cada parque eólico.

2) **Obtener el coste total del retén:** paralelamente al primer cálculo, y utilizando nuevamente los datos de SAP, se obtiene el coste de cada activación de retén. En este caso, no se subdividen las activaciones por agrupación, puesto que cada activación tiene un precio definido por el período de desplazamiento e intervención, independientemente de que

afecten a uno o más instalaciones. Por tanto, se calculan el tiempo de desplazamiento e intervención como se ha explicado anteriormente, y utilizando el coste de retenes para esas fechas, se obtiene el coste total. Como el objetivo final de esta aplicación es tener un registro de un año completo, se ha programado de tal manera para que el usuario que la utilice pueda elegir el criterio de costes que afecta a un cierto período. Por ejemplo, en los meses de enero y febrero el coste horario de cada técnico en un parque concreto puede ser de 80 €/hora, mientras que para marzo y abril puede ser de 65 €/hora. El programa está preparado para cualquier tipo de cambio que se pueda producir, y se definirá de una manera más detallada en el apartado de estructura y uso de la aplicación.

3) **Cruzar los datos del primer y segundo proceso, obteniendo el beneficio o pérdida total de cada activación de retén:** para este procedimiento hay que tener en cuenta que se cruzan los datos del coste de activación de cada retén sin dividir los casos de activación múltiple para agrupaciones, mientras que en el primer cálculo si se dividieron para obtener los datos de PI Datalink. Para solucionar este problema, se van recorriendo uno a uno todos los eventos divididos, determinando si se puede tratar de una activación múltiple o no. Para saber si una activación es múltiple, se comprueba el evento a analizar y el de inmediatamente después, y si coincide el código de la denominación técnica de la agrupación y la fecha de entrada del retén, se trata de una activación para una agrupación. En este caso, se suma el beneficio obtenido por los aerogeneradores de los parques afectados, y se resta del coste del retén. Para el caso de que sea una activación de retén individual es más sencillo, ya que simplemente es restar el beneficio obtenido en ese parque con el coste del retén.

4) **Analizar todos los datos calculados y presentar una tabla resumen:** finalmente, se consiguen una gran cantidad de datos, puesto que suele haber bastantes registros (hasta 200 activaciones de retén cada mes), calculándose para cada uno de ellos la energía producida en cada parque individual, el beneficio o pérdida total obtenida en cada activación (sea individual o múltiple), entre otros. De este modo, en este paso se procesa toda la información para mostrar los datos relevantes de cada mes del año en una tabla sencilla, en la que solo se indican el número de activaciones producidas, la energía total rearmada y el beneficio o pérdida económica obtenido, dando una visión general de todo el proceso.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo que sigue la aplicación:

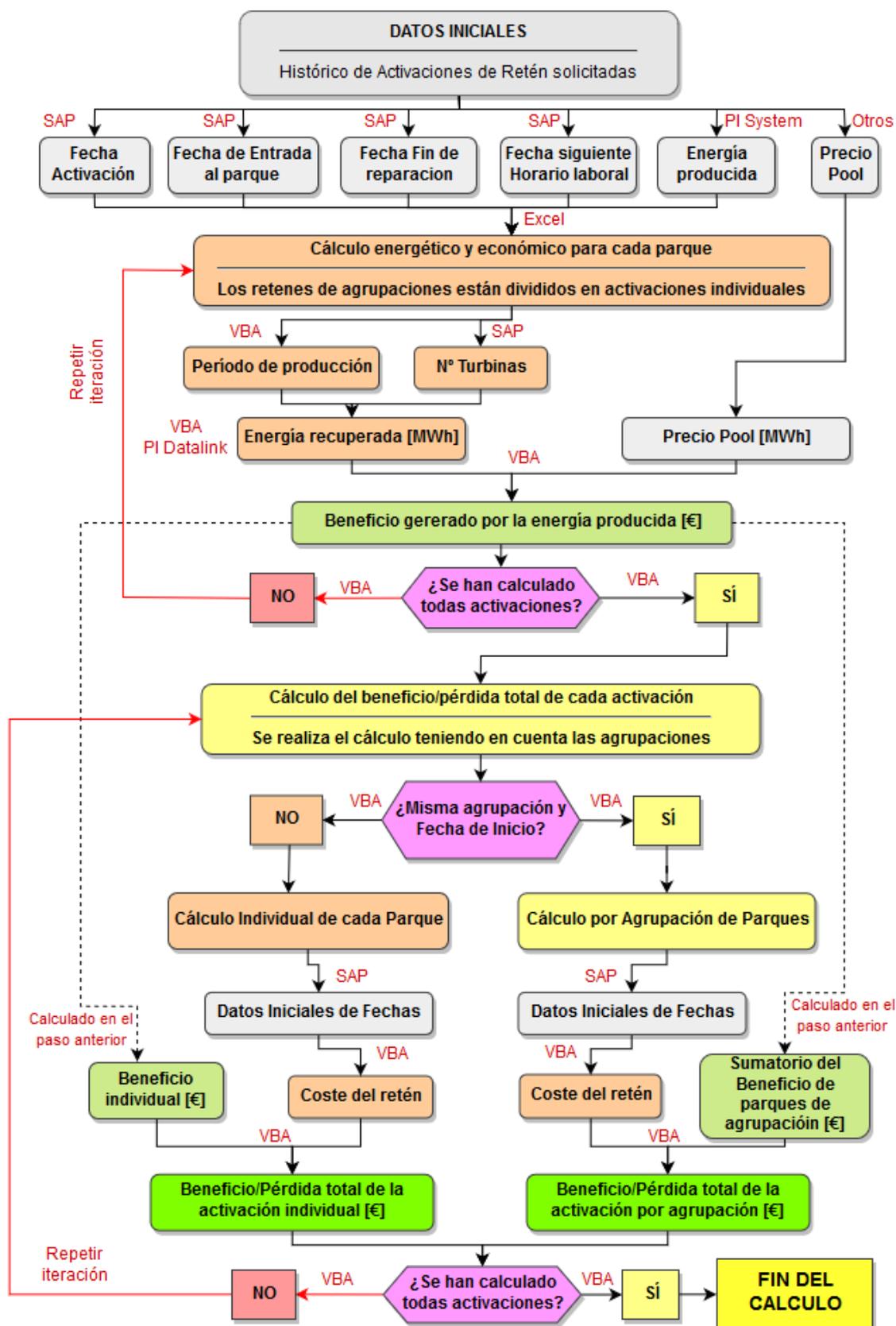


Figura 29: Funcionamiento del programa de cálculo de beneficio de retenes activados.

### 4.2.3. ESTRUCTURA Y USO DE LA APLICACIÓN

En este apartado se va a describir la estructura del archivo Excel que se utiliza para realizar todo el cálculo. Como en el caso de la anterior aplicación, como se tienen los datos de partida, el código fuente y los resultados en un mismo archivo, se va a seguir el siguiente orden para definir de una manera más sencilla esta sección:

- Estructura principal del archivo Microsoft Excel, explicando las características de cada pestaña y la función de sus elementos principales.
- Descripción del código utilizado en VBA, comentando brevemente las funciones utilizadas.
- Resultados alcanzados y un ejemplo para un caso concreto.

#### ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL ARCHIVO

Esta herramienta se trata en un archivo Microsoft Excel con extensión para la utilización de macros (.xlsm), que consta con 6 pestañas:

1) **Pestaña “Info”:** se trata de la pestaña principal que aparece cuando se abre el archivo. En ella se indica el objetivo de la aplicación, la información e instrucciones de uso, los botones de comando para ejecutar cada uno de los procesos por separado, y dos celdas para indicar la ruta donde se encuentra la macro de estimación de viabilidad económica de retén y el rango de celdas a copiar de dicha macro. Esta última información se introduce manualmente ya que los servidores donde se guarda la otra herramienta informática pueden cambiar, y de este modo, copiando en esta celda la ruta de acceso, la macro funcionará correctamente, sin necesidad de modificar el código. Las instrucciones que se observan en esta pestaña están muy resumidas, ya que introducir todos los detalles de cada paso aumentaría mucho el cuadro de texto en el que se muestra las instrucciones de uso.

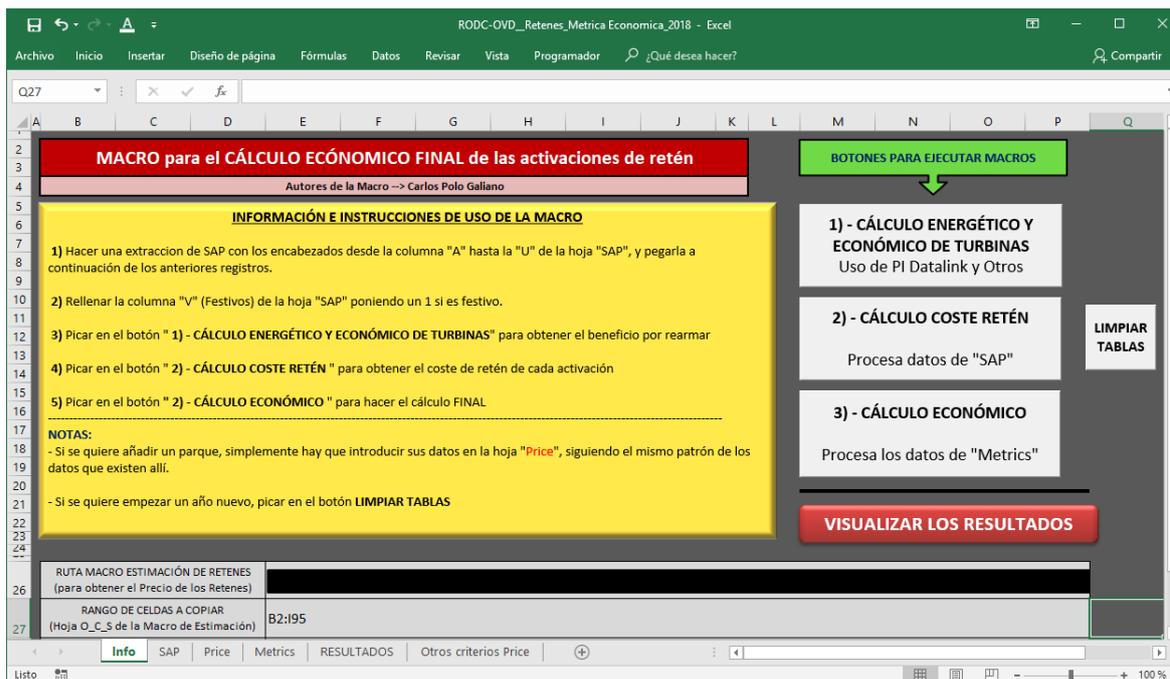


Figura 30: Pestaña “Info” del programa de cálculo económico de los retenes activados.

2) **Pestaña “SAP”:** en esta hoja se introducen en filas los datos de las activaciones de retenes extraídas de SAP, calculándose en primer lugar los tiempos de desplazamiento e intervención de cada retén y posteriormente el coste total de cada retén. Además, existen dos campos que indican comprobaciones que realiza la macro para informar al usuario de que los registros son correctos. De esta forma, existen 4 zonas diferenciadas por colores en los encabezados de las columnas:

- **Zona de encabezados grises y morados:** en estas columnas se incluyen los datos extraídos directamente de SAP. Algunas columnas no poseen información relevante para el cálculo, pero para evitar realizar el filtrado de la extracción de SAP, se incluyen todos los campos. El único campo en color morado es para indicar si esa fecha es un festivo nacional, regional o municipal, introduciéndose manualmente.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
	Denominación de la ubicación técnica	Descripción	Clase de aviso	Grupo planificac	Creado el	Hora del aviso	Autor del aviso	Modificado el	Hora de modificación	Modificado por	Fecha inicio	Hora	Fecha de fin	Hora	Festivo
2	CONVERTIDOR DE POTENCIA	FALLO_SOBREINTENSIDAD/25	ZP1		01/01/2018	11:08:00		01/01/2018	13:13:28		01/01/2018	12:00:00	01/01/2018	13:14:00	1
3	BORJA	ACTIVACION RETEN BOQ 20	ZP7		01/01/2018	13:59:00		01/01/2018	19:29:20		01/01/2018	16:07:00	01/01/2018	19:24:00	1
4	PONTE REBORDELO-VALSAGUEIF	ACTIVACION RETEN	Z0	ZP7	01/01/2018	15:41:00		01/01/2018	18:36:01		01/01/2018	16:25:00	01/01/2018	18:25:00	1
5	CARONDIO	ACTIVACION RETEN	Z0	ZP7	01/01/2018	15:56:00		01/01/2018	20:28:19		01/01/2018	16:50:00	01/01/2018	20:21:00	1

Figura 31: Pestaña “SAP”. Zona de encabezados grises y morados.

- Zona de encabezados azules: estos campos tienen dos funciones: la primera de ellas es unir la fecha y la hora de la información de SAP en un solo campo, para poder operar más fácilmente; y la segunda función consiste en calcular a partir de los datos anteriores, el tiempo de desplazamiento y de intervención de cada reten. También se incluye en tiempo de desplazamiento por contrato, para hacer una comparación posteriormente. Si el tiempo de desplazamiento calculado excede del establecido en el contrato de mantenimiento, se utiliza este último para el cálculo del coste total.

	W	X	Y	Z	AA	AB	
	Fecha de aviso	Fecha de entrada	Fecha de salida	Tiempo desplazamiento	Tiempo desplazamiento x contrato	Tiempo intervención	Coste de...
1							
2	01/01/2018 11:08	01/01/2018 12:00	01/01/2018 13:14	0:52:00		1:14:00	
3	01/01/2018 13:59	01/01/2018 16:07	01/01/2018 19:24	2:08:00		3:17:00	
4	01/01/2018 15:41	01/01/2018 16:25	01/01/2018 18:25	0:44:00		2:00:00	
5	01/01/2018 15:56	01/01/2018 16:50	01/01/2018 20:21	0:54:00		3:31:00	

Figura 32: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados azules.

- Zona de encabezados naranjas: estas columnas registran todos los parámetros de los que depende el coste del retén. Se calculan por separado el coste de desplazamiento, el coste de desplazamiento por contrato y el coste de intervención. A partir de ellos, se obtiene finalmente el “coste total” del retén si se utiliza el tiempo de desplazamiento real y el “coste total por contrato” del retén si se usa el tiempo de desplazamiento por contrato. De este modo, se dispone visualmente de cada uno de los parámetros, pudiendo hacer verificaciones puntuales del correcto funcionamiento de la aplicación. En el siguiente proceso, cuando se crucen los datos entre el coste del retén y el beneficio producido por los aerogeneradores rearmados, el programa solamente se quedará con uno de los dos costes calculados al final, dependiendo de si el tiempo de desplazamiento es menor que el establecido por contrato o no.

	AC	AD	AE	AF	AG	AH
	Coste desplazamiento	Coste desplazamiento x contrato	Coste intervención	Coste Total	Coste Total x contrato	¿Se ha utilizado este registro par cálculo en "Metrics?"
1						
2	80.58 €	185.96 €	114.68 €	195.26 €	300.64 €	Sí
3	157.60 €	157.60 €	258.73 €	416.33 €	416.33 €	Sí
4	61.60 €	168.00 €	168.00 €	229.60 €	336.00 €	Sí
5	83.68 €	185.96 €	326.98 €	410.66 €	512.94 €	Sí

Figura 33: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados naranjas.

- Zona de encabezados negros: esta zona contiene dos columnas que sirven únicamente como comprobaciones. La primera indica si después de cruzar estos registros con los de la pestaña “Metrics” se ha encontrado una coincidencia para ese registro y la segunda señala si algún registro está duplicado, debido algún error en la extracción de SAP.

	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
	Coste Total	Coste Total x contrato	¿Se ha utilizado este registro para el cálculo en "Metrics?"	¿Registro duplicado?		
1						
2	195.26 €	300.64 €	Sí	No		
3	416.33 €	416.33 €	Sí	No		
4	229.60 €	336.00 €	Sí	No		
5	410.66 €	512.94 €	Sí	No		

Figura 34: Pestaña “SAP” del cálculo económico. Zona de encabezados negros.

3) **Pestaña “Price”**: tiene una doble función: servir como base de datos para cruzar las distintas denominaciones que se les da a los parques eólicos y a las agrupaciones dependiendo de si se evalúa el código de SAP, el nombre utilizado en el cálculo económico de aerogeneradores o el código de PI Datalink, además de tener todos los datos necesarios para hacer el cálculo del coste de retén de cada parque eólico: el coste de activación (si hubiere), el tiempo de desplazamiento por contrato, el precio por hora de cada técnico dependiendo del día de la semana en la que se active el retén y el número de técnicos que van por activación. Asimismo, se incluyen dos columnas innecesarias en este cálculo, que son el tiempo estimado de reparación por turbina y de desplazamiento. Estos datos no se necesitan ya que esta información es copiada del Excel de estimación de viabilidad, y para evitar copiar solamente parte de la tabla se adjuntan también aquí estos datos, aunque realmente no se necesitan para alcanzar el objetivo final.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	WPP_PI	WPP_S AP	WPP_SA P_2	Activati on Cost (t)	Displacem ent (h)	Repair per turbine (h)	Working-dais (Technician-h)	Saturday (Technician-h)	Sunday and holidays (Technicia)	Technician (no.)	work all days	WPP_Métrica_r eames	Complex Métrica Reames	Agrupaciones para Activaciones de Retén
1														
2	ZAS	ZAS-01	ZAS	0	2	15	42	42	42	2	0	Zas	N/A	Zas - Corme
3	CDRME	CDR-01	CDR	0	2	15	42	42	42	2	0	Corme	N/A	Zas - Corme
4	FONTESIL	FTV-01	FTV	0	2	15	52.34	53	63	2	1	Fontesilva	N/A	N/A
5	CELAYA	MYC-02	MYC	0							0	La Celaya	N/A	N/A

Figura 35: Pestaña “Price” del programa de cálculo económico de los retenes.

4) **Pestaña “Metrics”**: se puede decir que esta es la pestaña en la que se incluye toda la información importante de cada activación de retén. En primer lugar, como se explicó en la sección anterior, se dividen las activaciones múltiples extraídas de SAP en activaciones individuales, indicando el nombre del parque eólico afectado, la fecha de entrada del retén y la fecha de fin de reparación. Una vez hecho este paso, la macro calcula la fecha del próximo horario laboral, procediendo después a realizar el cálculo energético para cada aerogenerador en cada parque eólico. Para ello, se cruza el dato del parque eólico con la base de datos incluida en la pestaña “Price”, obteniendo el código correspondiente para conectarse a PI Datalink. Con este código y el número de aerogenerador, PI Datalink devuelve el valor de energía producida por esa turbina en el período de tiempo entre la fecha de fin de reparación y del próximo horario laboral. Finalmente, se registra el sumatorio del dato de energía evitada de todos los aerogeneradores del parque sobre la columna “O” de esta pestaña. Después de obtener esta información, la macro multiplica el sumatorio de la energía producida en cada hora por el precio pool, obteniéndose el beneficio que se ha generado con todos los aerogeneradores rearmados en cada parque eólico durante ese período de tiempo.

Con todo lo procesado previamente, se dispone del coste total del retén y del beneficio generado en cada parque eólico. Solamente queda cruzar ambos datos. En este último cálculo, se añaden los datos del coste de los retenes en columnas a la derecha del beneficio generado, para finalmente mostrar en la columna “V” el beneficio total de cada retén. Como se puede apreciar en las siguientes capturas, cuando hay una activación de retén múltiple, el programa colorea alternativamente de azul y granate los parques afectados por ese retén, sumando para el cálculo final los beneficios obtenidos por el rearme de turbinas de todos los parques y restando solamente una vez el coste del retén.

	A	B	C	F	G	M	N	O	P
1	FACILITY IDENTIFICATION				GAIN WITH DISPATCH CENTER'S INTERVI				
2	#	Wind Power Plant	Complex	Stoppage Date/Hour	Startup Date/Hour	Foreseen On-site Intervention Date/Hour	at	Avoided Loss [MWh]	Increased Income
4	1	Boquerón (Gamesa)	Borja - Boquerón	01/01/2018 9:38	01/01/2018 12:24	02/01/2018 9:00	20:36	9.14	132.43
5	2	Planas de Pola	Pola - Remolinos	01/01/2018 9:48	01/01/2018 10:10	02/01/2018 9:00	22:50	11.23	137.39
6	3	Torre Madrina	T.M. - V.d.A. - C.d.M.	01/01/2018 11:52	01/01/2018 17:41	02/01/2018 9:00	15:19	68.26	1,204.66
7	4	Coll del Moro	T.M. - V.d.A. - C.d.M.	01/01/2018 11:52	01/01/2018 17:41	02/01/2018 9:00	15:19	74.35	1,286.80
8	5	Rabinaldo	N/A	01/01/2018 12:00	01/01/2018 13:14	02/01/2018 9:00	19:46	22.60	343.10
9	6	La Dehesica	Lomillas - Navica - Dehesica	01/01/2018 13:30	01/01/2018 15:54	02/01/2018 9:00	17:06	23.67	428.15
10	7	Borja 2	Borja - Boquerón	01/01/2018 16:07	01/01/2018 19:24	02/01/2018 9:00	13:36	3.19	72.17
11	8	Boquerón (Gamesa)	Borja - Boquerón	01/01/2018 16:07	01/01/2018 19:24	02/01/2018 9:00	13:36	12.35	297.14
12	9	Valsagueiro	P.Rebordelo - Valsagueiro	01/01/2018 16:25	01/01/2018 18:25	02/01/2018 9:00	14:35	12.44	184.98
13	10	Ponte Rebordelo	P.Rebordelo - Valsagueiro	01/01/2018 16:25	01/01/2018 18:25	02/01/2018 9:00	14:35	33.94	650.21

Figura 36: Pestaña “Metrics”. Cálculo energético y económico individual.

FACILITY IDENTIFICATION			CENTER'S INTERVENTION		Time		Cost		Total		Profit
Wind Power Plant	Complex	Avoided Loss [MWh]	Increased Income [€]	displacement	intervention	displacement	intervention	Coste Total	Ganancia		
1 Boquerón (Gamesa)	Borja - Boquerón	9.14	132.43	0:33	2:46	0.00 €	0.00 €	0.00 €	132.43 €		
2 Planas de Pola	Pola - Remolinos	11.23	137.39	0:40	0:22	0.00 €	0.00 €	0.00 €	137.39 €		
3 Torre Madina	T.M. - V.d.A. - C.d.M.	68.26	1,204.66		5:49	444.00 €	698.00 €	1,142.00 €	1,349.46 €		
4 Coll del Moro	T.M. - V.d.A. - C.d.M.	74.35	1,286.80								
5 Rabinaldo		22.60	343.10	0:52	1:14	80.58 €	114.68 €	195.26 €	147.84 €		
6 La Dehesica	Lomillas - Navias - Dehesica	23.67	428.15	1:26	2:24	157.92 €	264.43 €	422.36 €	5.79 €		
7 Borja 2	Borja - Boquerón	3.19	72.17	2:00	3:17	0.00 €	0.00 €	0.00 €	369.31 €		
8 Boquerón (Gamesa)	Borja - Boquerón	12.35	297.14								
9 Valsagueiro	P.Rebordelo - Valsagueiro	12.44	184.98	0:44	2:00	61.60 €	168.00 €	229.60 €	605.59 €		
10 Ponte Rebordelo	P.Rebordelo - Valsagueiro	33.94	650.21								

Figura 37: Pestaña “Metrics”. Cálculo beneficio/pérdida final de cada activación.

5) Pestaña “RESULTADOS”: en ella, mediante otro procedimiento definido en VBA, el programa recorre toda la hoja “Metrics”, obteniendo los datos de número de activaciones, energía evitada y beneficio que se ha generado por todos los retenes durante cada mes del año. Estos datos ofrecen una visión general, y son los que el departamento competente de la empresa EDP Renovables presenta de manera oficial. En la siguiente imagen se incluye una captura de pantalla de esta pestaña durante el año el curso, alterando los resultados para mantener la confidencialidad de la información.

		Nº Activaciones	Energía [MWh]	Beneficio/Pérdida [€]
Enero	200	2000	60000	
Febrero	199	1995	45000	
Marzo	198	3500	70000	
Abril	201	4500	90000	
Mayo	221	2500	65000	
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				

Actualizar Tabla

Los datos han sido adulterados para conservar la privacidad de la empresa

Figura 38: Pestaña “RESULTADOS”. Visión general de los resultados por meses.

6) **Pestaña “Otros Criterios Price”**: esta hoja es opcional y normalmente suele estar oculta. Se utiliza para guardar los distintos criterios de precios que van teniendo los retenes durante el año, y en el caso de que cambie el criterio a partir de una fecha y sea necesario recalcular los meses anteriores, hay que utilizar el criterio de precios anterior a esa fecha. En esta pestaña se va guardando esa información, para disponer de ella más fácilmente sin necesidad de tener que buscarla en otros documentos.

DESDE 01/01/2018 HASTA 01/04/2018													
WPP_PI	WPP_SAP	WPP_SAP_2	Activation Cost (€)	Displacement (h)	Repair per turbine (h)	Working days (Technician-h)	Saturday (Technician-h)	Sunday and holidays (Technician-h)	Technician (no.)	work all days	WPP_Métrica_rearmes	Complex_Métrica Rearmes	Agrupaciones para Activaciones de Retén
ZAS	ZAS-01	ZAS		2	1.5	42	42	42	2	0	Zas	N/A	Zas - Corme
CORME	COR-01	COR		2	1.5	42	42	42	2	0	Corme	N/A	Zas - Corme
FONTESIL	FTV-01	FTV		2	1.5	52.34	53	63	2	1	Fontesilva	N/A	N/A
CELAYA	MYC-02	MYC								0	La Celaya	N/A	N/A

Figura 39: Pestaña “Otros criterios Price”. Criterios de precios por fecha.

## DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO UTILIZADO EN VBA

Como se ha podido comprobar en las secciones anteriores, el funcionamiento de estas aplicaciones de manera general parece muy similar, a excepción de que para un caso hay que utilizar estimaciones para ciertos datos iniciales, mientras que para el otro se utilizan datos históricos reales y claramente definidos. Además, el objetivo de la aplicación que se describe actualmente es la obtención de un resultado a partir del análisis de unos datos de partida definidos, sin necesidad de ampliar el número de opciones al operador que maneja la aplicación para hacer correcciones, como era el caso de la anterior herramienta. Una vez explicado esto, a pesar de que el funcionamiento de ambas aplicaciones sea parecido, el tipo de código creado en VBA para cada herramienta es totalmente distinto. No es simplemente una adaptación del código de la anterior aplicación, sino que la totalidad de la programación de cada archivo se ha creado desde cero.

Para este archivo Excel, la programación utilizada reúne gran cantidad de características y procedimientos, además de ser menos extensa que el de las otras aplicaciones, por lo tanto, en el **Anexo I** del presente Trabajo Fin de Máster se va a adjuntar la totalidad del código programado en VBA, de modo que quede reflejada la complejidad de los procesos y la autoría de creación de la programación de todas estas aplicaciones.

Asimismo, en esta sección se explican de manera resumida los principales módulos utilizados en el código. A diferencia del anterior Excel, en este caso la programación se ha dividido en distintos módulos, cada uno con sus funciones, de manera que todo el código queda mucho más estructurado:

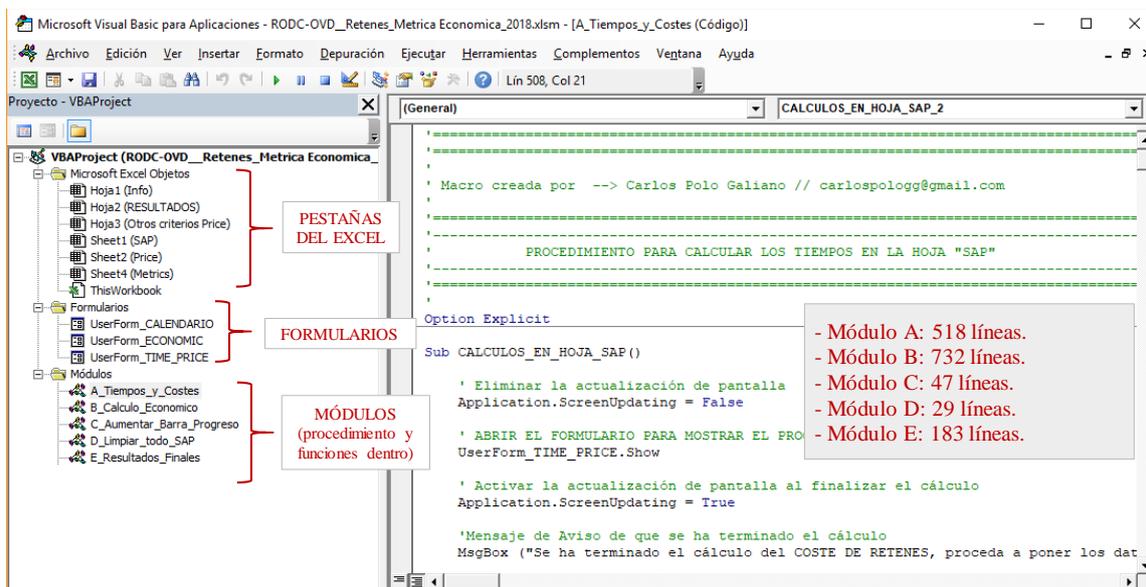


Figura 40: Captura del código utilizado en el programa de cálculo económico.

➤ **Módulo A\_Tiempos\_y\_Costes:** este apartado contiene dos procedimientos y una llamada al módulo “C\_Aumentar\_Barra\_Progreso” y sirve para calcular el coste de las activaciones de retén. Comienza realizando una pregunta al usuario, diciendo si se quiere utilizar el criterio de precios de retén más actualizado o usar el que esté actualmente en la pestaña “Price”. Este primer paso sirve para poder hacer cálculos con anteriores criterios. A continuación, se abre el formulario “UserForm\_TIME\_PRICE”, que no es más que una barra de progreso que indica el avance de la macro y cuanto queda para finalizar. Por último, va ejecutando la rutina de cálculo de cada activación de retén, mostrando un aviso por pantalla cuando finaliza todos los cálculos.

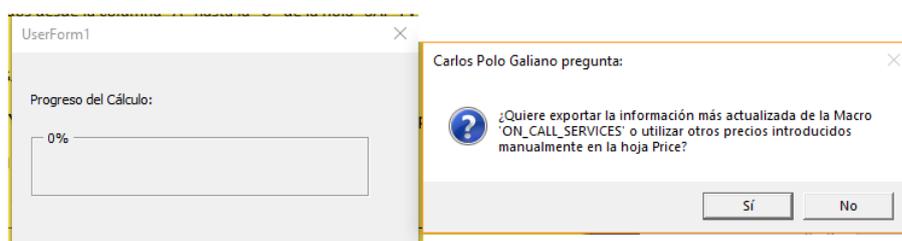


Figura 41: Formulario de progreso y pregunta inicial del módulo A\_Tiempos\_y\_Costes.

➤ **Módulo B\_Calculo\_Economico:** después de acabar el módulo A, se debe ejecutar este otro módulo. Contiene dos procedimientos y dos funciones. Al iniciarse, se muestra el formulario “UserForm\_CALENDARIO” en el que se pide al usuario que indique el período que se quiere calcular, de manera que permita calcular para cada período un criterio de costes distinto. Después de seleccionar las fechas adecuadas, se muestra otra barra de progreso, calculando en primer lugar la energía y beneficio producido por cada parque eólico y después cruzando los datos con los costes calculados en el Módulo A.

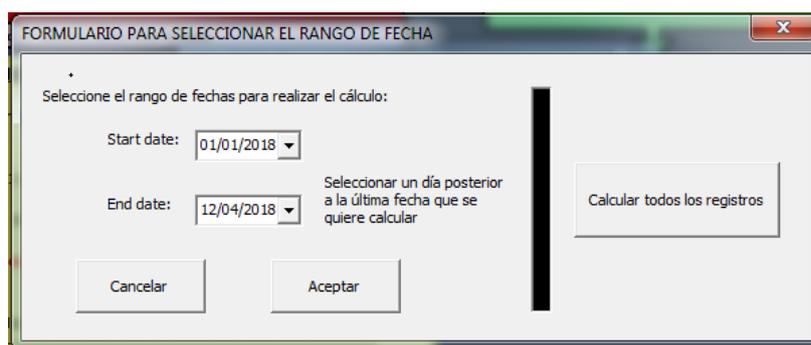


Figura 42: Formulario para indicar el período que se quiere calcular.

- **Módulo C\_Aumentar\_Barra\_Progreso:** aquí se encuentra el código y las fórmulas que se utilizan para aumentar la barra de progreso cada 10% en los módulos A y B.
- **Módulo D\_Limpiar\_todo\_SAP:** se trata de un procedimiento sencillo que simplemente elimina todos los eventos del Excel, quitando los comentarios y reiniciando los formatos de las celdas.
- **Módulo E\_Resultados\_Finales:** es también bastante simple. Determina en primer lugar si el año en curso es bisiesto, para contar 29 días en el mes de febrero si es el caso, y después recorre todos los cálculos de la hoja “Metrics”, sumando por meses el número de activaciones, la energía total rearmada y el beneficio obtenido.

## RESULTADOS ALCANZADOS

Después de explicar el funcionamiento y la estructura del archivo, se procede a su puesta en marcha. Como se ha podido comprobar anteriormente, los resultados finales se observan en una simple tabla en la pestaña “RESULTADOS”, indicando por meses el número de activaciones, la energía y el beneficio generado. Además, se tiene la posibilidad

de acudir a la pestaña “Metrics” para ver que todos los registros se han calculado perfectamente y a la pestaña “SAP” a revisar las columnas en la zona de encabezados de color negro, que también sirven de comprobaciones para saber si se ha encontrado al menos un registro en “Metrics” para cada evento de SAP. En el caso de que ocurriera cualquier error, la macro introduce comentarios con colores llamativos indicando el posible error de ese registro, ayudando a solventar cuanto antes la incidencia.

		Nº Activaciones	Energía [MWh]	Beneficio/Pérdida [€]
4				
5	Enero	200	2000	60000
6	Febrero	199	1995	45000
7	Marzo	198	3500	70000
8	Abril	201	4500	90000
9	Mayo	221	2500	65000
10	Junio			
11	Julio			
12	Agosto			
13	Septiembre			
14	Octubre			
15	Noviembre			
16	Diciembre			
17				

← ▶ ... SAP Price Metrics RESULTADOS Otros crito ...

Figura 43: Resultados alcanzados por el programa de cálculo de económico de retenes.

#### 4.2.4. CONCLUSIONES

Para conseguir unos datos reales sobre el beneficio producido por las activaciones de retén estimadas en las previsiones ha sido necesario la creación de esta aplicación en Microsoft Excel mediante VBA. A través de unos datos de partida extraídos desde SAP sobre las activaciones realizadas, permite calcular de una manera casi exacta la energía rearmada y el beneficio producido por cada retén, para mostrar finalmente un resultado de carácter mensual de estos parámetros. Además, analizando los datos mensuales se puede ratificar que el algoritmo utilizado en la macro de estimaciones es correcto, ya que se obtienen beneficios al final de cada mes, y analizando puntualmente cada activación se pueden deducir pequeñas condiciones a implementar en la macro de estimaciones para optimizar aún más algoritmo y obtener los mayores beneficios posibles.

En el siguiente capítulo se va a explicar la última herramienta, que se trata de otra comprobación más de la eficacia del algoritmo de la primera aplicación. De esta manera, con estas tres aplicaciones, el despacho eólico de Oviedo dispone de todos los posibles cálculos que se pueden hacer sobre las activaciones de retenes, teniendo demostraciones fiables de que esta práctica está generando grandes beneficios a la empresa.

## 4.3. COMPROBACIÓN DE LA INVIABILIDAD ECONÓMICA PARA LOS RETENES NO ACTIVADOS

### 4.3.1. OBJETIVOS

Con las dos herramientas explicadas en los anteriores apartados se dispone de los datos suficientes para demostrar que las activaciones de retén tienen un resultado positivo para la empresa, además de cuantificar de manera casi exacta todos los datos relevantes que se pueden obtener. Pero en EDP Renovables se quería dar un paso más para completar la optimización del programa de estimaciones. Para ello, se necesitaba obtener aquellos casos en los que fue posible activar el retén pero que según el algoritmo utilizado en la estimación no producían un beneficio económico, realizando una estimación del beneficio o pérdida obtenido en el caso de que sí se hubieran activado.

También, se obtendría de manera indirecta la energía que se habría generado, ya que la empresa también posee ciertos objetivos correspondientes a llegar a un número mínimo de energía producida en cada parque eólico. Por tanto, otro objetivo de este cálculo es demostrar que el impacto energético que tendrían estas activaciones a lo largo de un mes es muy reducido, ratificando que el procedimiento que se utiliza actualmente es el adecuado tanto para un criterio económico como para un hipotético criterio energético.

### 4.3.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL

El problema fundamental que posee el realizar este cálculo, reside en el hecho de que no se tiene un registro del número de aerogeneradores parados durante los períodos de activación de retén, ya que esta información no es relevante para otros procesos en la empresa, además de que cada período de retén es distinto en cada instalación.

Por ello, la única manera de conseguir esta información es partiendo de los registros de cambio de estado de cada aerogenerador perteneciente a EDP Renovable, incluyendo los parques de todos los países, lo que significa partir con una inmensa cantidad de información que posteriormente habrá que filtrar. Los datos ofrecen la siguiente información:

- Nombre del parque eólico al que pertenece.
- Número de aerogenerador que cambia de estado.



- Hora de inicio en la que produce el cambio de estado.
- Estado al que cambia en la hora de inicio.
- Hora de fin en la que vuelve a cambiar de estado o que vuelve a un estado de normalidad.

Toda esta información es proporcionada en formato Excel al despacho eólico de Oviedo a través de otro departamento de la empresa, sin la aplicación de ningún tipo de filtro, siendo los únicos datos de partida que se disponen para realizar todos los cálculos. Después de un profundo análisis, los primeros pasos que debe realizar esta aplicación consisten en discriminar todos aquellos eventos que no interesan en el cálculo. El proceso a seguir es el siguiente:

- 1) Eliminar todos los eventos que no correspondan con los parques eólicos en España.
  - 2) Quitar los eventos de los parques eólicos de España en los que no se puede realizar la activación de retén, o que dicha activación es gratuita al estar incluida en el contrato de mantenimiento.
- **Enlazar los distintos tipos de eventos.** Para entender este paso, hay que detallar las posibilidades que pueden tener los datos de partida. Los eventos pueden ser de dos tipos:
    - Eventos individuales: algunos eventos indican en un solo registro (en una fila del Excel) la fecha de inicio de parada, la fecha de fin y el estado con el cual la máquina fue rearmada (por ejemplo, rearme local).
    - Eventos enlazados: puede darse el caso de que, a lo largo del período total de parada de un aerogenerador, este vaya cambiando de estados, aunque la parada continúe. En estos sucesos, los eventos tienen que ser cronológicamente consecutivos si están ordenados siguiendo este orden: parque eólico, número de máquina y fecha de inicio. Si para dos eventos consecutivos coincide en nombre del parque, el número de turbina y la fecha de fin del primer evento con la fecha inicial del segundo evento, estarían enlazados. La información que se requiere en el cálculo sería la unión de todos estos eventos enlazados en un solo registro (en una sola fila del Excel), teniendo como fecha inicial la del primer evento y como fecha fin y estado de rearme la del último evento. Por ello, el programa tiene que crear un algoritmo para determinar en

primer lugar si el registro que se está comprobando es individual o enlazado, y si es así, crear un registro con la información necesaria y eliminar los eventos afectados.

- 3) Una vez enlazados todos los eventos de los parques eólicos con posibilidad de activación de retén, hay que eliminar aquellos cuyo cambio de estado sea ajeno a paradas de máquina que se puedan rearmar por la actuación de retenes. Es un tema complejo, difícil de explicar de manera resumida, ya que existen gran cantidad de estados, pero se resume en que el algoritmo creado en la aplicación evalúa este campo en cada registro, eliminando aquellos eventos que no interesen.
- 4) Filtrar todos los registros cuya parada no se produzca en horario de retén. Este filtrado es también muy complejo, ya que hay que considerar los siguientes aspectos sobre el horario de retén:
  - Horarios de retén distintos en cada parque eólico.
  - Para el caso de fines de semana, hay que tener en cuenta el horario de retén desde el viernes por la tarde hasta el lunes por la mañana, ya que, aunque una máquina pare la madrugada del sábado y no sea período de retén, el próximo horario de posible rearme sería el siguiente lunes, por lo que se tiene que considerar que ese aerogenerador se podría rearmar cuando empiece el horario de retén del sábado.
  - Hay que tener presente también las fiestas nacionales, debido a que cuentan como si fueran un domingo en cuanto al precio que cobran los retenes por hora trabajada.
  - No se han considerado las fiestas regionales y municipales por la dificultad que conlleva recopilar esta información, así como aplicarla al algoritmo de cálculo.
- 5) No contar aquellos eventos en los que sí se ha activado retén. Hay que cruzar los registros que se tengan en esta fase del filtrado con el histórico de activaciones.

Después de aplicar todos estos filtros, se tendrían todos los eventos de paradas de máquinas dentro del horario de posible activación de retén, que además no fueron activados. El siguiente paso consiste en considerar si para estos casos pudo haberse realizado una activación múltiple, es decir, que con una sola activación se pudieran rearmar varios aerogeneradores de distintos parques eólicos, ya que si consideramos todos los eventos como activaciones individuales el resultado obtenido no sería representativo.



La manera de afrontar este paso es añadiendo un campo a cada evento, que indique el nombre de la agrupación (en caso de tenerla) o un guion en caso de ser exclusivamente una activación individual. Con este nuevo campo, ordenando todos los eventos mediante dos criterios distintos y ejecutando el cálculo fila a fila manteniendo el orden de numeración de filas de Microsoft Excel, se puede realizar el cálculo correctamente siguiendo este proceso:

➤ **1º Criterio → Calcular todos los eventos que no tienen activación múltiple:** para ello, hay que ordenar los eventos en sentido ascendente siguiendo estos criterios en orden de preferencia:

- Agrupación
- Nombre del parque
- Fecha de parada del aerogenerador

De esta manera, Microsoft Excel pondrá todos aquellos eventos que tengan un guion en el campo “Agrupación” en primer lugar, siendo todos ellos correspondientes a parques con activación individual. Asimismo, como están ordenados a continuación por parque eólico y por fecha de parada, en la macro existe un algoritmo que identifica si cada evento puede estar relacionado con el inmediatamente posterior, debido a que si existen varias paradas de aerogeneradores en un mismo parque dentro del mismo período de retén, hay que incluir esas máquinas en la misma activación de retén, además de estimar una posible hora de rearme de cada máquina teniendo en cuenta el tiempo de reparación de las anteriores. Se van calculando para cada aerogenerador los siguientes parámetros:

- Fecha después de reparación: para el primer evento hay que sumarle a la fecha de parada de turbina 2 horas de desplazamiento de los técnicos más 1,5 horas de reparación. A partir de entonces, si hay más máquinas afectadas en ese horario de retén, la fecha después de reparación será 1,5 horas después de la anterior, siempre y cuando nunca se sobrepase el horario de retén (puede durar hasta las 10:00 p.m., por ejemplo). En caso de pasarse, la nueva fecha de después de reparación será el inicio del siguiente horario de retén (normalmente a las 8:30 a.m.), solamente en el caso de que lo hubiera, ya que, si el siguiente día es un día laborable, esta turbina se repararía con el servicio de mantenimiento. Si se da esta posibilidad, la macro descarta este evento del cálculo.

- Fecha hasta el próximo horario laboral: este cálculo es más sencillo que el anterior, y se obtiene simplemente teniendo en cuenta la fecha de parada de cada turbina. Teniendo este dato y restándole la fecha después de reparación de cada aerogenerador, se consigue el período de tiempo estimado que habría estado dicho aerogenerador en condiciones de producción energética. Hay que tener presente que, aunque una turbina esté en condiciones de generación, es posible que no se produzca energía debido a unas malas condiciones de viento durante ese rango de tiempo.

➤ **2º Criterio → Calcular los eventos con posible activación múltiple**: En cuanto la macro encuentre en el campo “Agrupación” cualquier dato que no sea un guion, identifica que ya se han calculado todos los eventos de parques eólicos con activación de retén individual. A partir de entonces, el primer paso es realizar de nuevo la ordenación ascendente de todos los registros, siguiendo este orden de preferencia:

- Agrupación
- Fecha de parada de aerogenerador

De esta forma, se logra tener los eventos ordenados por agrupaciones sin tener en cuenta el parque eólico al que pertenezca cada aerogenerador, consiguiendo agrupar estos eventos de una manera correcta. El siguiente paso es calcular los parámetros fecha después de reparación y fecha hasta el próximo horario laboral de cada aerogenerador para los registros restantes, usando el mismo proceso que se utilizaba en el caso anterior.

Es importante hacer hincapié en que el algoritmo que se necesita para hacer los cálculos anteriores es muy complejo, y hay que considerar el distinto horario de retén que tiene cada parque, el día de la semana en el que se produce la parada, si hay festivos nacionales que afecten al período de tiempo de cada registro, entre otras muchas condiciones que son complejas de explicar con claridad.

Después de este breve inciso, la macro ya tendría calculadas todas las fechas necesarias de cada aerogenerador, teniendo en cuenta si hay otras máquinas con reparación previa, etc. El siguiente paso es el cálculo energético y económico de cada uno de estos aerogeneradores y del coste de activación de retén, sea individual o múltiple.

El procedimiento es el mismo que el seguido para calcular la fechas, es decir, hay que aplicar los dos criterios de ordenación, para calcular primero los eventos sin agrupación y luego las posibles activaciones múltiples. Esto es debido a que se realizan dos procesos paralelos, siendo necesario tener los registros ordenados adecuadamente para uno de ellos:

➤ **Estimación del cálculo energético y económico de cada aerogenerador:** utilizando los datos de fecha después de reparación y fecha del próximo horario laboral, se obtiene el período en el cual la máquina de ese parque eólico habría estado produciendo energía. Introduciendo estos datos en la aplicación implementada en Excel, PI Datalink, se adquiere un valor estimado de la energía que se habría producido, teniendo en cuenta las condiciones de viento que había en ese lugar. Haciendo el sumatorio de esa energía por horas y utilizando el dato histórico de precio pool, se obtiene el beneficio económico que habría otorgado esa turbina (en muchos casos es cero, ya que el motivo de no activar esa turbina pudo ser las malas condiciones de viento).

➤ **Estimación del coste de cada retén:** para el cálculo anterior no se necesitaba que estuvieran ordenados los eventos, pero para este dato sí. La macro va comprobando si el evento evaluado puede estar enlazado con el siguiente, ya que puede haber varias paradas de aerogeneradores para un mismo parque o agrupación, y en ese caso, solamente hay que tener en cuenta un coste de retén para todos esos registros. De esta manera, utilizando la fecha de parada de la primera turbina, la fecha de fin de reparación del último aerogenerador, y considerando siempre un desplazamiento igual a 2 horas, se consigue obtener el tiempo de intervención de cada retén. Con estos datos y utilizando los criterios de precios de retén, se calcula el precio final que cuesta cada activación.

Cruzando toda la información calculada en estos dos últimos procesos, se puede obtener el beneficio o pérdida total de cada retén, como la diferencia entre el beneficio generado por todos los aerogeneradores implicados en el mencionado retén, y el coste de su activación.

Todo el proceso explicado previamente se resume en los siguientes diagramas de flujo, que posiblemente puedan ofrecer una visión más clara del funcionamiento de la macro:

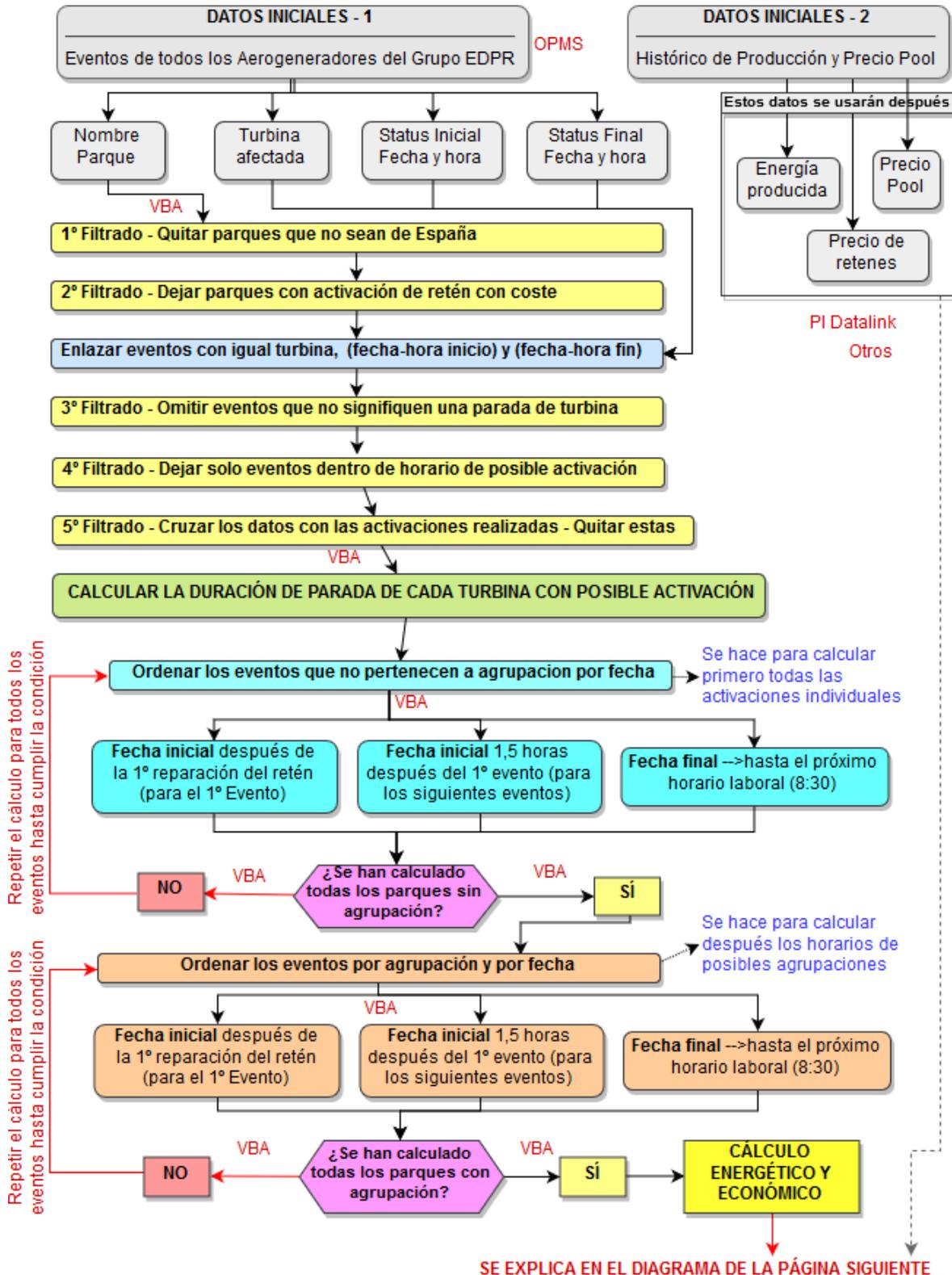


Figura 44: Primera parte del funcionamiento del cálculo de retenes no activados.

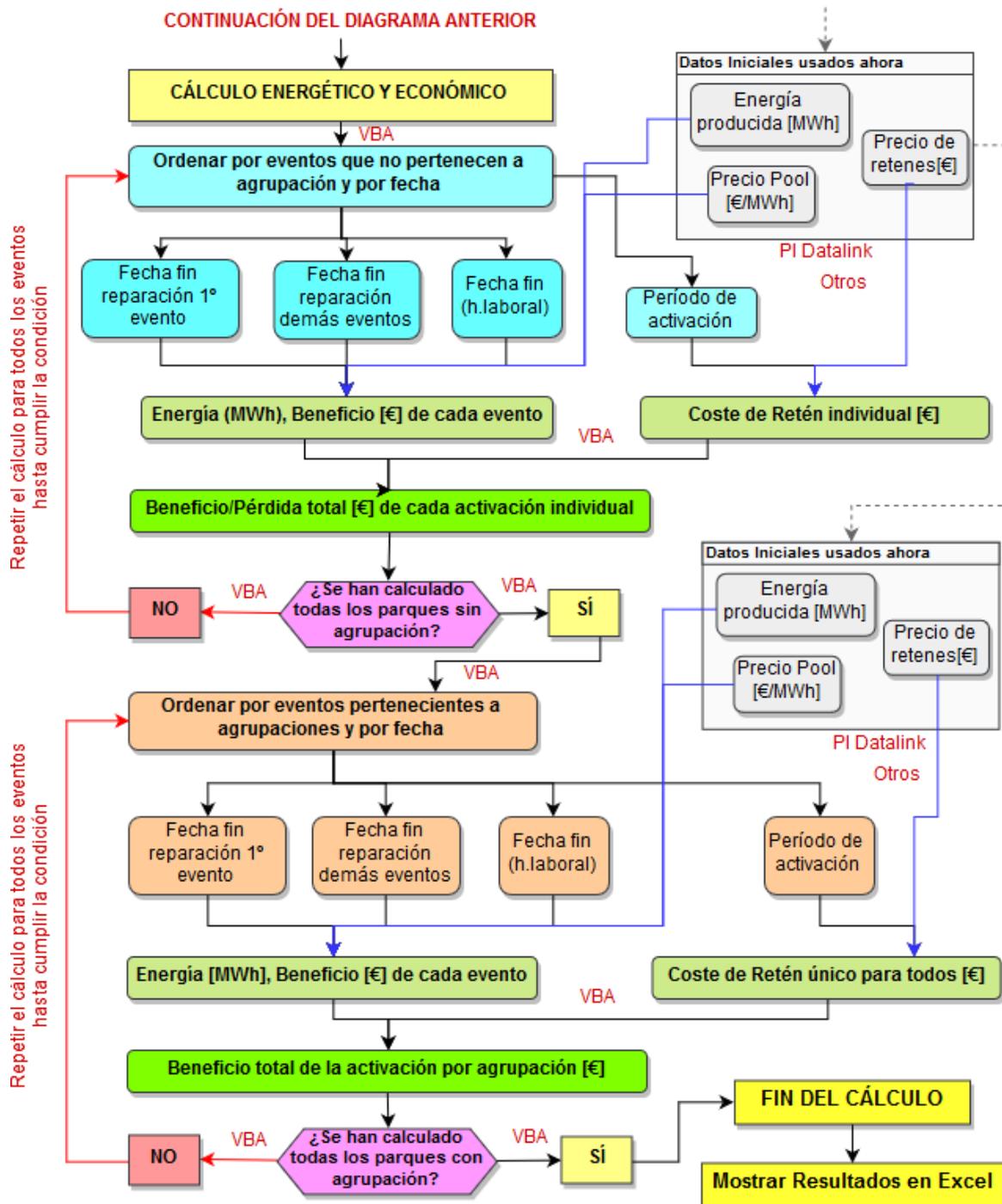


Figura 45: Segunda parte del funcionamiento del cálculo de retenes no activados.

### 4.3.3. ESTRUCTURA Y USO DE LA APLICACIÓN

Hay que tener en cuenta que este cálculo es el más complejo de los tres explicados en este Trabajo Fin de Máster, ya que se parte de unos datos iniciales muy generales, los cuales hay que procesar mediante un gran número de condiciones para obtener los datos que interesan. Además, como el objetivo es calcular la energía y el beneficio que posiblemente podrían haber generado ciertas turbinas, hay que guiarse por medio de estimaciones, lo que aumenta la dificultad del algoritmo a utilizar, así como el error que se pueda cometer.

En vista de todo esto, se puede decir que este último archivo Excel es más complejo que los anteriores. Se va a explicar siguiendo el orden que se ha seguido para las otras aplicaciones:

- Estructura principal del archivo Microsoft Excel, explicando las características de cada pestaña y la función de sus elementos principales.
- Descripción del código utilizado en VBA, comentando las funciones utilizadas.
- Resultados alcanzados.

#### ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL ARCHIVO

➤ **Pestaña “Main”:** aquí se encuentra toda la información principal de la aplicación. En la parte superior izquierda existen unos campos que resumen cada cálculo mensual, indicando el año en curso, el mes calculado, el número de parques en los que se ha encontrado al menos uno de estos eventos, el número total de posibles activaciones que no se han realizado siguiendo el criterio de estimación, la energía que habrían producido esas activaciones y el beneficio o pérdida económica total en todo el mes.

También se incluye un cuadro de texto con los pasos necesarios antes de empezar a efectuar el cálculo, así como los botones de comando para ejecutar el algoritmo. Se pueden seguir dos procedimientos: ir paso a paso realizando los procesos por separado para tener la posibilidad de ir comprobando el funcionamiento de la macro, o ejecutar todo el cálculo de una solo vez. Debajo de cada botón se advierte con letras en color azul un mensaje indicando si se ha ejecutado ese cálculo previamente o no.

Finalmente, en la parte superior derecha se ha incluido un cuadro de color amarillo en el que introducen los festivos nacionales que se quieren considerar en el cálculo, así como otra información relevante que ayuda al usuario a interactuar con la aplicación.



Figura 46: Pestaña “Main” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “Datos\_Brutos”:** en este apartado se tienen que introducir los datos de cambio de estado de todos los aerogeneradores que gestiona EDP Renovables en todo el mundo. Esta información es facilitada a través de otro departamento de la empresa, y simplemente hay que copiar los datos en la tabla, ya que la aplicación realiza todos los filtrados necesarios automáticamente.

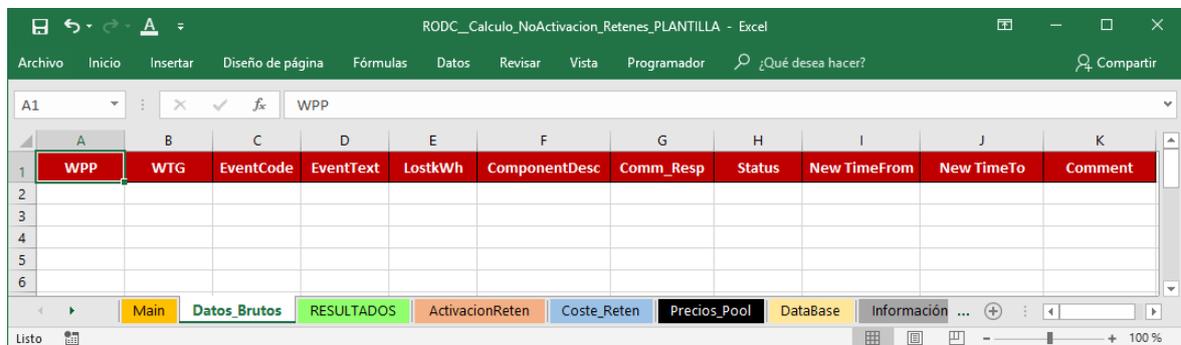


Figura 47: Pestaña “Datos Brutos” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “RESULTADOS”**: se muestra una tabla resumen en la que se desglosa por parque la información más relevante calculada en el proceso. Se incluye el número de paradas de aerogeneradores, la energía total perdida, los ingresos que se obtendrían por esa energía, el coste del retén, y el cálculo económico total, que resulta de la resta de los ingresos de la energía rearmada y el coste del retén. También se muestra el sumatorio de todos los parques en la parte inferior de la tabla. Estos últimos datos son los que se muestran en la pestaña “Main” anteriormente mencionada.

WPP	Paradas WTGs	¿Se puede Activar de Retén?	Energía Perdida (MWh)	Ingresos por Energía (€)	Coste de Retén (€)	Cálculo Económico Total (€)
Valsagueiro		Si				
Veleta		Si				
Villacastin		Si				
Villalba dels Arcs		Si				
Villamiel		Si				
Villoruebo		Si				
Virgen de la Peña de Alfarajin		Si				
Zas		Si				
<b>TOTALES --&gt;</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Parques afectados este mes --&gt; 0</b>						

Figura 48: Pestaña “RESULTADOS” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “ActivacionReten”**: en esta hoja simplemente se copian los datos calculados con la segunda herramienta explicada en esta memoria, para que el algoritmo compruebe si alguno de los registros que se estaba teniendo en cuenta en este cálculo fue ya activado por el despacho eólico y si es así, descartarlo.

FACILITY IDENTIFICATION	DESCRIPTION OF THE VTG(S) STOPPAGE(S)				GAIN WITH DISPATCH CENTER'S INTERVENTION			
Wind Power Plant	Complex	VTG(s)		Stoppage Date/Hour	Startup Date/Hour	Foreseen On-site Intervention Date/Hour	Avoided Loss [MWh]	Increased Income [I]
		ID	#				Δt [h]	

Figura 49: Pestaña “ActivacionReten” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “Coste\_Reten”**: la información incluida aquí es la misma que en la pestañas “Price” de las otras aplicaciones. Solamente hay que copiar la tabla del criterio de precios de retén que se quiere aplicar, para que la macro aplique dichos precios a los cálculos realizados. Siguiendo con el criterio de estimación, se aplica un tiempo de desplazamiento de retén de 2 horas y un período de reparación por turbina de 1,5 horas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	NOMBRE OPMS	WPP	Activation Cost (€)	Displacement (h)	Repair per turbine (h)	Working-dais (Technician-h)	Saturday (Technician-h)	Sunday and holidays (Technician-h)	Technician (no.)	work all days
3	Sierra del Acebo	ACEBO		2	1.5	40	40	40	2	0
4	Ampliación Cruz de Hierro	ACHIERRO		2	1.5	40	40	40	2	0
5	El Alamo	ALAMO		2	1.5	50	60	70	2	0
9	Ávila	AVILA		2	1.5	40	40	40	2	0

Figura 50: Pestaña “Coste\_Reten” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “Precios\_Pool”**: para el caso de esta aplicación se ha añadido una pestaña con la información histórica del precio pool. En las otras aplicaciones se obtiene estos datos mediante la descarga automática desde otros servidores, pero este proceso aumenta el tiempo de ejecución. Debido a que el tiempo de ejecución de esta herramienta es bastante más elevado que en las anteriores, sobre todo por el filtrado de gran cantidad de datos iniciales (hasta 800.000 filas por mes), se ha decidido incluir manualmente esta información y reducir la complejidad del algoritmo.

	A	B	C	D
	Timestamp	Precio Pool		
29	02/01/2018 3:00	4.52		
30	02/01/2018 4:00	4.24		
31	02/01/2018 5:00	8.36		
32	02/01/2018 6:00	22.58		
33	02/01/2018 7:00	41.92		
34	02/01/2018 8:00	47.95		
35	02/01/2018 9:00	49.9		
36	02/01/2018 10:00	50.5		
37	02/01/2018 11:00	49.7		
38	02/01/2018 12:00	48.16		
39	02/01/2018 13:00	48.02		

Figura 51: Pestaña “Precios\_Pool” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “DataBase”:** puesto que en el funcionamiento de esta macro intervienen datos de distinto origen, el nombre de los parques eólicos puede tener ligeras modificaciones (“Parque\_1” en un caso y “El Parque\_1” en otro, por ejemplo). Por este motivo, ha sido necesario crear una hoja que tuviera enlazadas todas las posibles denominaciones que se le puede dar a cada parque eólico. De esta manera, cuando la macro tiene que cruzar datos de distinto origen, tiene que acudir a esta pestaña para encontrar el nombre adecuado y poder realizar las comparaciones correctamente. Asimismo, se incluyen otros campos, como la agrupación a la que pertenece cada instalación en caso de tenerla, el horario laboral y el horario de retén. Cuando la macro tiene que calcular el próximo horario laboral o cuando tienen que determinar si una parada de aerogenerador está dentro del horario de retén, debe acudir a la información introducida en esta tabla. Se puede observar como los horarios laborales y de retén cambian, teniendo que hacer un cálculo individual para cada caso, incrementando la complejidad de los algoritmos.

#	Nombre del Archivo OPMS	Nombre Tag	Nombre del Archivo Retenes	Agrupaciones para Activación de Reten	Horario Retén Laboral	Horario Retén NO Laboral
16	Castillo Garcimuñoz	GMUNOZ	Castillo Garcimuñoz	-	18:00 - 22:00	08:30 - 22:00
17	Celaya	CELAYA	La Celaya	-	-	-
18	Cerro Becerril	BECERRIL	Cerro Becerril	Pebema	21:00 - 21:00	08:00 - 22:00
19	Cerro del Conilete	CONILETE	Cerro del Conilete	-	-	-
20	Cerro Duran	CDURAN	Cerro Durán	Guadalteba	17:30 - 22:00	08:30 - 20:00
21	Cerros de Radona	CERADONA	Cerros de Radona	-	18:00 - 22:00	08:00 - 20:00
22	Coll de la Garganta	GARGANTA	Coll de la Garganta	S. Voltorera - C. Garganta	18:00 - 22:00	08:30 - 22:00
23	Coll de Moro	COLLMORO	Coll del Moro	T.M. - V.d.A. - C.d.M.	18:00 - 22:00	08:30 - 22:00
24	Colladillo	COLLAD	Colladillo	-	-	-
25	Corme	CDRME	Corme	Zas - Corme	18:00 - 22:00	08:30 - 18:00
26	Cruz de Hierro	CHIERRO	Cruz de Hierro	Volkova	18:00 - 22:00	08:30 - 18:00
27	El Alamo	ALAMO	El Alamo	Guadalteba	17:30 - 22:00	08:30 - 20:00
28	El Gramal	GRAMAL	El Gramal	Campollano	18:00 - 22:00	08:00 - 20:00

Figura 52: Pestaña “DataBase” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “Información”:** en esta pestaña se ha incluido un resumen de las condiciones principales aplicadas en el proceso. Sirve como compendio para ver de una manera general las reglas utilizadas en el código, sin necesidad de estudiarlo detalladamente, además de saber en qué módulo de la programación hay que hacer esas modificaciones en el caso de que se produce algún cambio sustancial.

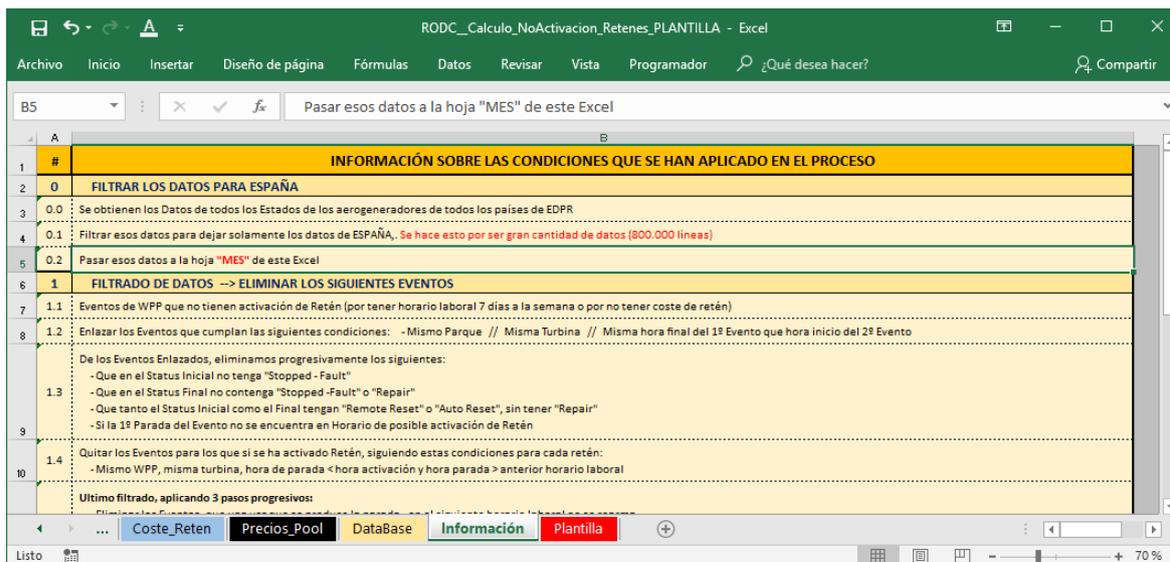


Figura 53: Pestaña “Información” del cálculo de retenes no activados.

➤ **Pestaña “Plantilla”:** es la última hoja del Excel. En ella se incluye una cabecera para que el algoritmo vaya introduciendo los datos importantes de cada evento con posibilidad de retén. Podemos encontrar la siguiente información:

- Datos de partida filtrados:
  - Nombre del parque eólico.
  - Número de aerogenerador parado.
  - Estados por lo que va pasando a lo largo del tiempo.
  - Fecha de inicio, reparación y fin.
  - Fechas inicio y final.
- Datos necesarios calculados por la macro:
  - Fecha de inicio y final necesarias para el cálculo energético.
  - Complejo al que pertenece el parque.
  - Código para solicitar la información energética a PI Datalink.
  - Fechas para el cálculo del coste de cada retén.

- Resultados finales:
  - Energía pérdida en MWh.
  - Beneficio por energía pérdida en euros.
  - Coste del retén en euros.
  - Beneficio / Pérdida total en euros.

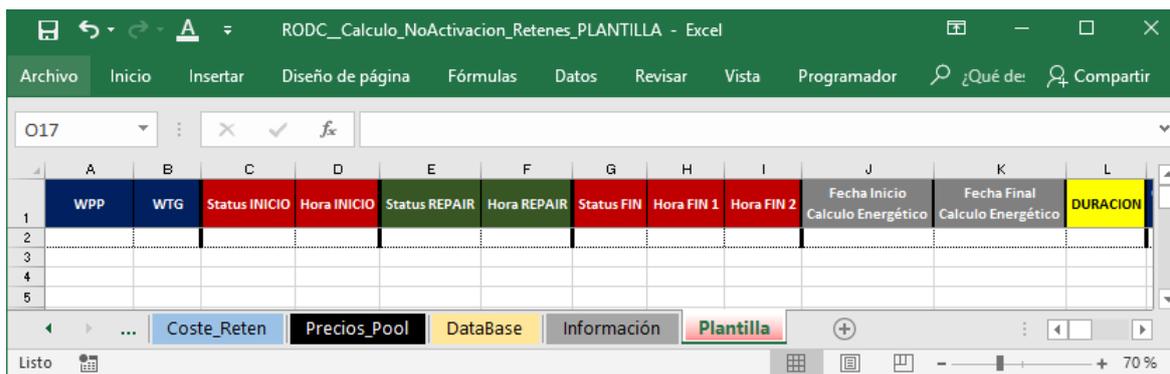


Figura 54: Pestaña “Plantilla” del cálculo de retenes no activados (1).

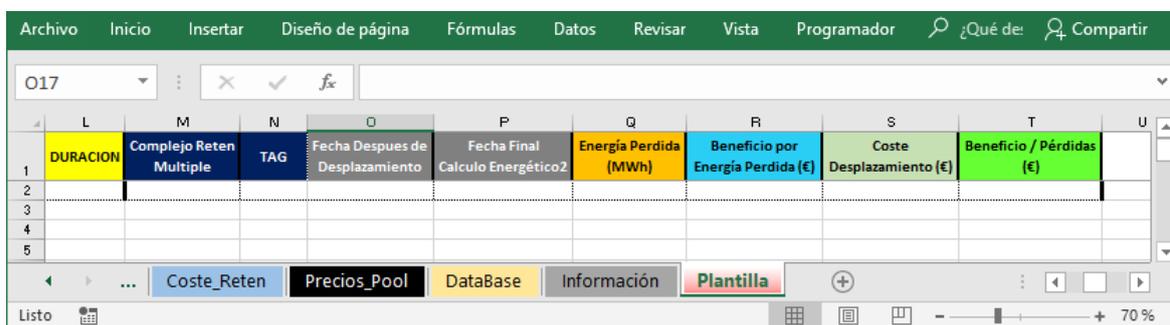


Figura 55: Pestaña “Plantilla” del cálculo de retenes no activados (2).

## DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO UTILIZADO EN VBA

Sin lugar a dudas, los algoritmos más complicados y extensos son los correspondientes a esta aplicación. Hay considerar que se parte de unos datos muy generales, a los que es necesario aplicar unos determinados criterios para obtener otros datos con una información más sencilla de procesar, con los cuales se puede conseguir finalmente el cálculo energético y económico.

Para la creación de esta herramienta se han necesitado programar tres formularios y catorce módulos con sus respectivas funciones y procedimientos, teniendo que escribir hasta

4199 líneas en el editor de VBA. En la siguiente tabla se puede observar la complejidad de cada módulo y formulario, teniendo en cuenta la extensión en líneas de código en cada uno de ellos:

Tabla 3: Extensión de código utilizado en cada módulo y formulario del 3º programa.

Módulo	Líneas de código	Formulario	Líneas de código
A_FILTRADO_DATOS	259	Form_ENERG_ECONO	17
A0_Filtrado_Spain	112	Form_FILTRADO	17
A1_Quitar_Parques_No_Reten	174	Form_MES	34
A2_Enlazar_Filas_Tiempos	363	<b>TOTAL =</b>	<b>68</b>
A3_Filtrado_Status_H_Reten	364		
A4_Filtrado_Activacion_Reten	575		
A5_Calculo_Duracion_y_Filtro	400		
B_CALCULO_ENERGIA_ECONOMICO	91		
B1_Calculo_Fechas_INI_FIN	884		
B2_Calculo_Energetico_Economico	317		
B3_Calculo_Desp_Reparacion	350		
C_ACTUALIZAR_RESULTADOS	209		
D_PROGRAMA_PRINCIPAL	33		
<b>TOTAL =</b>			<b>4131</b>

```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - RODC_Calculo_NoActivacion_Retenes_PLANTILLA.xlsm - [A0_Filtrado_Spain (Código)]
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Proyecto - VBAProject [General] QUITAR_WPP_QUE_NO_SON_DE_ESPANA
*****
***** Autor --> CARLOS POLO GALIANO (carlospologg@gmail.com) *****
***** Fecha --> 09/05/2018 *****
*****
' PROCEDIMIENTO PARA FILTRAR LOS DATOS --> QUEDARSE SOLO CON LOS PARQUES ESPAÑOLES
'
'
Sub QUITAR_WPP_QUE_NO_SON_DE_ESPANA()
'-----
' A0.1) SELECCIONAR TODO EL RANGO Y CREAR LA TABLA
'-----
Worksheets("Datos_Brutos").Activate
Range("A1:K1").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
ActiveSheet.ListObjects.Add(xlSrcRange, Selection, , xlYes).Name _
    = "Tabla_Datos_Brutos"
'-----
' A0.2) AJUSTES ESTÉTICOS DE LA TABLA
'-----
Inspecciones
Expresión Valor Tipo Contexto
  
```

Figura 56: Captura del código utilizado en el cálculo de retenes no activados.

Teniendo esto en cuenta, se puede deducir la gran cantidad de funciones y procedimientos distintos incluidos en el código fuente. Siguiendo el método de explicación utilizado para la anterior herramienta, se va a definir brevemente el funcionamiento de cada uno de los módulos, a pesar de que no se pueda ver de manera directa la gran complejidad de algunos de ellos:

➤ **A\_FILTRADO\_DATOS:** es el módulo general que va ejecutando uno a uno los otros módulos de filtrado, para obtener finalmente las fechas inicio y fin necesarias para el cálculo energético, económico y del coste de reten. El primer paso es abrir el formulario “UserForm\_MES”, en el que el usuario debe seleccionar de una lista desplegable el mes que se pretende calcular. A continuación, la macro abre otro formulario con dos barras de progreso, la primera de ellas va mostrando el progreso del módulo general y la segunda el progreso de cada filtrado.

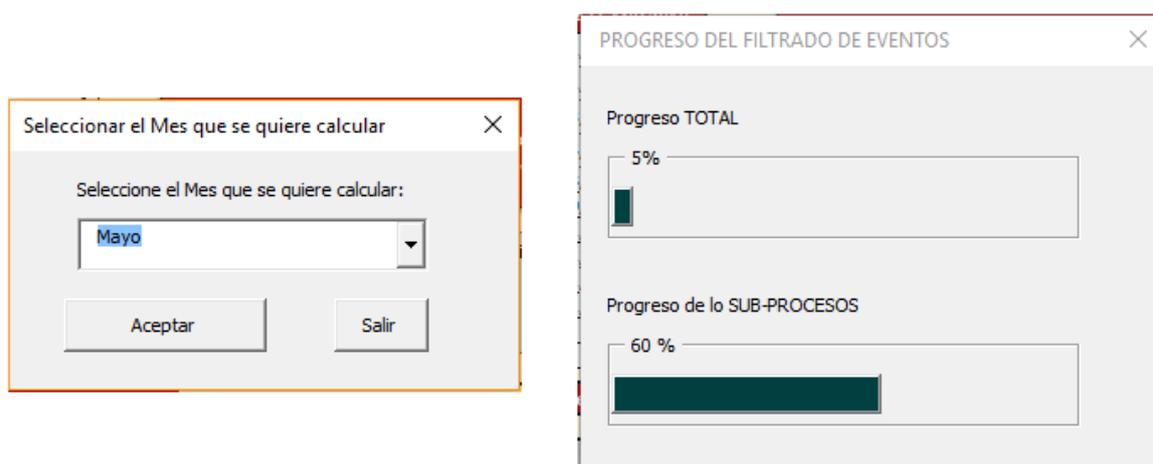


Figura 57: Formularios utilizados en el módulo A\_FILTRADO\_DATOS

➤ **A0\_Filtrado\_Spain:** es uno de los subprocesos del módulo A. Básicamente se encarga de eliminar los eventos que no pertenezcan a parques eólicos españoles, reduciendo en gran medida la cantidad de información a analizar.

➤ **A1\_Quitar\_Parques\_No\_Reten:** a partir de este módulo se traslada toda la información a listas guardadas en la memoria interna. Esto ahorra una gran cantidad de tiempo de ejecución, ya que, si la información está guardada en celdas del archivo Excel, cada vez que el algoritmo necesite un dato tiene que evaluar cada celda, siendo un proceso bastante lento e incrementando de manera sustancial el tiempo total de cálculo. Es tal la mejora, que inicialmente no se utilizaron estas listas internas y el programa se bloqueaba, llegando a tardar hasta 1 hora en realizar todo el cálculo (no solamente el de este subproceso).

Utilizando listas internas y usando exactamente los mismos procesos, se ejecuta en alrededor de 2 minutos (dependiendo de la cantidad de datos de cada mes).

- **A2\_Enlazar\_Filas\_Tiempos:** el primer paso es clasificar la lista interna creada en el proceso anterior aplicando el siguiente orden: nombre del parque, número de aerogenerador y fecha inicial. De esta manera, se van recorriendo uno a uno todos los eventos, comprobando si coinciden los siguientes datos con el evento inmediatamente posterior: el nombre del parque, el número de turbina y la fecha final del primer evento con la fecha inicial del segundo evento. Si es así, la macro une estos eventos considerándolos como uno solo, guardando la información necesaria para el cálculo posterior.
- **A3\_Filtrado\_Status\_H\_Reten:** en este subproceso se realizan dos discriminaciones. Se evalúa el primer cambio de estado de cada evento. Si no cumple una serie de requisitos, la macro elimina el registro. El segundo filtrado se centra en quitar aquellos eventos cuya parada no se produzca en el horario de posible activación de retén de cada parque eólico. Por eso, previamente hay que tener en cuenta el horario de retén de cada instalación. Este proceso se realiza mediante una función que comprueba este dato en la hoja “DataBase”.
- **A4\_Filtrado\_Activacion\_Reten:** cruza los datos con las activaciones e retén producidas (que deben ser registradas en una de las pestañas del Excel antes comenzar la ejecución de la macro). Su función principal es no hacer cálculos de eventos para los cuales si se ha solicitado la activación de retén.
- **A5\_Calculo\_Duracion\_y\_Filtro:** después de realizar todos los filtrados anteriores, excluye algunos eventos teniendo en cuenta la fecha en la que la turbina fue rearmada además de la duración total que tuvo la parada. Es una comprobación final para ratificar que se han filtrado correctamente los registros en los anteriores procesos y no se han colado eventos que se rearmaran remotamente, por ejemplo.
- **B\_CALCULO\_ENERGIA\_ECONOMICO:** es el procedimiento general que va ejecutando otros subprocesos, igual que el módulo A. Comienza abriendo el formulario “UserForm\_ECONO”, que contiene dos barras de progreso para indicar al usuario el estado de la ejecución.
- **B1\_Calculo\_Fechas\_INI\_FIN:** se calculan las fechas y horas necesarias para poder consultar en PI Datalink la energía producida, así como para obtener el coste estimado del

retén si se hubiera activado. En este procedimiento es donde se tiene en cuenta si puede haber eventos enlazados entre sí, de manera que se active solamente un retén para rearmar varias máquinas de un mismo parque eólico o de parques de la misma agrupación.

➤ **B2\_Calculo\_Energetico\_Economico:** la macro va recorriendo cada registro, obteniendo el código de PI Datalink cruzando en nombre del parque en la hoja “DataBase”. Usando este código, el número de aerogenerador, la fecha después de reparación y la fecha del próximo horario laboral, se consigue la energía estimada que habría producido esa máquina. Con este dato y empleando la información de precio pool, se consigue calcular el beneficio económico que se habría obtenido. Toda esta información se va plasmando en las celdas correspondientes del Excel, para poder visualizarla si es necesario.

➤ **B3\_Calculo\_Desp\_Reparacion:** en este módulo se consigue el coste total del retén. Para ello, el algoritmo comprueba si hay activaciones de varias máquinas, y después calcula por separado el coste de desplazamiento y el coste de intervención, consultando los precios introducidos en la hoja “Coste\_Reten” del Excel. De nuevo, como en el paso anterior, este dato se introduce en la celda correspondiente del archivo Excel.

➤ **C\_ACTUALIZAR\_RESULTADOS:** con la finalización del módulo anterior, se tendrían todos los cálculos realizados. Solamente quedaría pasar esta información a la hoja “RESULTADOS” para tener una visión más global de los cálculos, y poder observar con un simple vistazo la energía rearmada y el beneficio o pérdida económico producido en ese mes.

➤ **D\_PROGRAMA\_PRINCIPAL:** simplemente es un módulo en el que se ejecutan todos los procesos anteriores de una sola vez. De esta manera, el usuario puede decidir si realizar los cálculos uno a uno e ir comprobando el desarrollo del algoritmo, o ejecutar todo el cálculo con un solo clic.

## RESULTADOS ALCANZADOS

Los resultados obtenidos por esta aplicación son el número de paradas de aerogenerador por parque, la energía total perdida, los ingresos que se obtendrían por esa energía, el coste del retén, y el cálculo económico total. Se muestran en la hoja “RESULTADOS” y analizándolos se puede comprobar que el algoritmo utilizado en el programa de estimación de viabilidad económica de retenes es el adecuado.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	WPP	Paradas WTGs	¿Se puede Activar de Retén?	Energía Perdida (MWh)	Ingresos por Energía (€)	Coste de Retén (€)	Cálculo Económico Total (€)	
76	Serra Voltorera		Sí					
77	Sierra de Baos y Pumar	11	Sí	68.77	1777.71	4433.66	-2655.95	
79	Sierra de Carondio y Muriellos	1	Sí	5.91	319.71	403.06	-83.35	
80	Sierra de Curisco	1	Sí	4.22	229.52	403.06	-173.54	
81	Sierra de la Cuesta	2	Sí	0.00	0.00	725.48	-725.48	
82	Sierra de Lagos	30	Sí	413.67	6696.75	6146.40	550.35	
83	Sierra del Acebo	4	Sí	32.27	644.08	551.60	92.48	
84	Tahivilla	14	Sí	17.62	907.86	4074.00	-3166.14	
86	Torre Madrina	1	Sí	1.65	98.93	420.00	-321.07	
87	Valsaqueiro	5	Sí	15.76	901.22	1722.00	-820.78	
88	Veleta	4	Sí	15.52	568.05	1528.80	-960.75	
89	Villacastin	6	Sí	31.72	673.41	1497.20	-823.79	
90	Villaiba dels Arcs		Sí					
91	Villamiel	8	Sí	23.90	989.91	2293.20	-1303.29	
92	Villoruebo	5	Sí	20.67	394.96	2238.60	-1843.64	
93	Virgen de la Peña de Alfarañin		Sí					
94	Zas	7	Sí	28.64	764.68	2016.00	-1251.32	
95	<b>TOTALES --&gt;</b>	<b>164</b>	<b>63</b>	<b>1119</b>	<b>33750</b>	<b>47994</b>	<b>-14244</b>	
96	<b>Parques afectados este mes --&gt; 32</b>							

Figura 58: Resultados obtenidos en la aplicación de cálculo de retenes no activados.

#### 4.3.4. CONCLUSIONES

En esta memoria no se incluyen los resultados reales obtenidos en EDP Renovables por motivos de confidencialidad establecidos en los protocolos de seguridad de la empresa, pero se ha podido comprobar que desde que se lleva haciendo este cálculo, el resultado final de la mayoría de estos eventos se traduce en pérdidas económicas, además de conseguir una producción energética muy baja. Por tanto, se ratifica la buena optimización del criterio utilizado en el programa de estimación de viabilidad económica de activación de retenes, además de obtener un seguimiento de los casos en los que no se decide solicitar la activación. De esta manera, se puede demostrar con cifras que la activación de esos casos habría sido una mala decisión.

## 5. CONCLUSIONES FINALES DEL TRABAJO

El objetivo global que se buscaba con la realización de este Trabajo Fin de Máster era la creación de una serie de herramientas que permitieran al despacho eólico de Oviedo de la empresa EDP Renovables realizar una estimación de viabilidad económica de las futuras activaciones de reten, además de obtener a posteriori los datos energéticos y económicos de dichas activaciones, así como conseguir una serie de comprobaciones para demostrar que los algoritmos utilizados en la estimación son los adecuados.

Una vez expuesto el desarrollo del trabajo, se evaluará a modo de conclusiones en qué medida se han conseguido cumplir los objetivos específicos descritos en el primer capítulo, así como las conclusiones técnicas observadas durante la realización del estudio:

- 1) El primer objetivo se centraba en entender el proceso de activación de retenes dentro de la empresa EDP Renovables. Ha sido fundamental conocer todos los departamentos que están involucrados en esta tarea, al igual que todas las herramientas informáticas que están enlazadas de alguna manera en el proceso, ya sea para ofrecer información o para realizar la gestión de cada activación de retén.
- 2) El segundo objetivo era realizar un minucioso estudio del funcionamiento completo de la activación de retenes. Se han definido todos los parámetros que entran en juego en este procedimiento, ya sea de períodos de retén, condiciones meteorológicas, precios de la energía, entre otros muchos factores, así como los posibles casos excepciones que pueden aparecer. Todo ello se demuestra con la considerable complejidad que tiene la programación de las aplicaciones, necesitando una gran cantidad de código para definir todos los parámetros y obtener de ese modo un algoritmo lo más optimizado posible.
- 3) La optimización del código en el caso de una de las aplicaciones explicadas en esta memoria y la creación de las otras dos herramientas desde cero, demuestran que se ha adquirido un notable conocimiento sobre el lenguaje de programación VBA (Visual Basic for Applications) que se utiliza en Microsoft Excel. Se han creado más de 6000 líneas de código, utilizando procedimientos de todo tipo y estableciendo conexiones con servidores externos, como PI Server o FTP.
- 4) El cuarto objetivo consistía en mejorar el rendimiento de la aplicación usada en el despacho eólico para tomar la decisión de activar o no un retén, mediante la estimación de



la viabilidad económica de cada posible activación. De este modo, se revisó todo el código y se aumentaron el número de parámetros a utilizar, añadiendo ciertas condiciones que después de un análisis de datos, se consideraba que serían beneficiosas económicamente.

5) El siguiente objetivo era la creación desde cero de una aplicación para calcular de la manera más exacta posible los resultados de las activaciones de retén solicitadas. Se optó por crear un archivo Excel con extensión para el uso macros para crear unos algoritmos capaces de obtener el número de activaciones, la energía rearmada y el beneficio económico de las todas las activaciones de retén.

6) Finalmente, por petición de un departamento de la empresa y para obtener una comprobación adicional de que el algoritmo de estimación es el correcto, el último objetivo consistía en hacer una estimación de la energía y el beneficio o pérdida económica de los posibles casos en los que el algoritmo de estimación decide no activar retén. En un primer momento parecía una tarea muy compleja, debido a la falta de información que posibilitara conseguir estos casos. Después de pensar en varias opciones, se decidió crear otra macro en Excel, que a partir de unos datos muy generales y mediante el uso de algoritmos, se consiguiera en un primer paso obtener estos posibles casos en los que se decidió no activar retén, y a partir de ellos, calcular finalmente los datos requeridos. Los resultados obtenidos corroboraron el correcto funcionamiento del algoritmo de estimación, ya que la mayoría de estos registros conllevarían pérdidas económicas, además de no suponer un impacto energético importante.

A modo personal, este trabajo ha supuesto la ampliación de conocimientos adquiridos durante el Máster en áreas como la ingeniería energética, los sistemas eléctricos de potencia, la automatización de procesos y la programación de rutinas, los cuales han sido imprescindibles para alcanzar todos los objetivos que se proponían en este trabajo.

Por último, resaltar que este proyecto ha sido un reto personal apasionante, ya que las tres aplicaciones que se han explicado se utilizan actualmente en la empresa EDP Renovables, teniendo una función clave que se traduce en un incremento del beneficio económico de la empresa. La considerable responsabilidad que supone el correcto funcionamiento de estas herramientas ha sido una motivación que me ha llevado a participar directamente en el funcionamiento de uno de los departamentos de esta gran empresa internacional, siendo una experiencia positiva de cara a finalizar mi etapa académica y afrontar una introducción en el mundo laboral con una perspectiva más experimentada.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AEE, *Análisis eólico 2017 y retos para 2018*. Asociación Empresarial Eólica, 2018
- [2] Cuatrecasas, Gonçalves Pereira, *Nota monográfica sobre el R.D. 413/2014, de 6 de junio*, 2014
- [3] EDPR, *Informe Anual de EDPR del año 2017*, 2017
- [4] EDPR, *Documentación interna de la empresa y procedimientos de trabajo del departamento en el que estuve asignado*, 2018
- [5] Emilio Villalba Higinio F. Menéndez, *Análisis de la subasta de energía renovables en España*. Universidad Alfonso X el sabio, 2017
- [6] Mur Amada, Joaquín, *Curso de Energía Eólica*, Máster Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética, Universidad de Zaragoza, s.f.
- [7] Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, BOE, 2014.
- [8] REE, *Las energías renovables en el sistema eléctrico español*, 2016
- [9] REE, *Operación del sistema eléctrico y la gestión de los servicios de ajuste*, 2018
- [10] R.D. 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. BOE. 2014

## II. ANEXOS

## ANEXO I: CÓDIGO FUENTE DE LA 2ª APLICACIÓN EXPLICADA

En este anexo se va a adjuntar el código fuente de la herramienta informática “Cálculo de viabilidad económica de la activación de retenes” explicada en este Trabajo Fin de Máster. Se ha escogido esta aplicación, ya que dispone de un gran número de algoritmos, además de ser la que menor extensión tiene. De esta manera, sabiendo que los objetivos de las tres aplicaciones son relativamente parecidos, se ratifica la creación del código por parte del autor.

El código se va a adjuntar siguiendo el orden que posee el entorno de desarrollo de VBA en Microsoft Excel, definiendo en primer lugar los formularios y por último los módulos, como se puede ver en la siguiente figura:

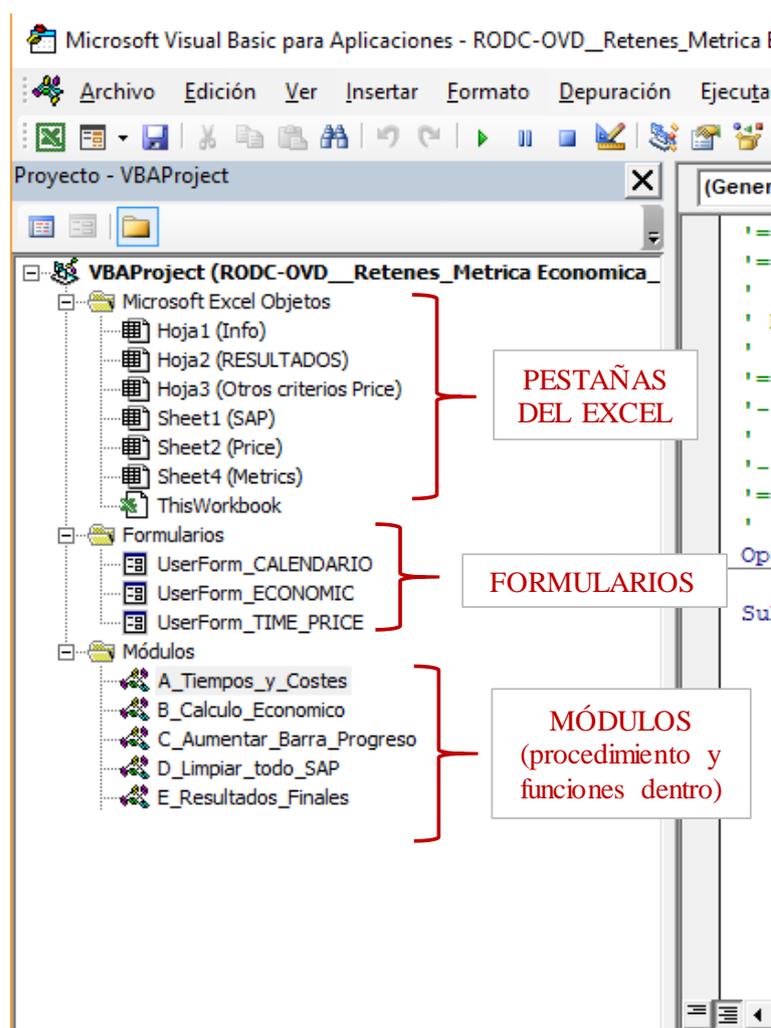


Figura 59: Estructura de la programación de la aplicación de cálculo económico.



## FORMULARIO USERFORM\_CALENDARIO

```
'-----  
' FORMULARIO PARA SELECCIONAR EL PERÍODO A CALCULAR EN LA HOJA "Metrics"  
'-----
```

```
'BOTÓN CANCELAR
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()  
    Unload UserForm_CALENDARIO  
    Exit Sub  
End Sub
```

```
'BOTÓN ACEPTAR
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    Dim Inicio_seleccionado As Date  
    Dim Final_seleccionado As Date  
  
    Dia_inicio = Left(DTPicker1.Value, 2)  
    Mes_inicio = Mid(DTPicker1.Value, 4, 2)  
    Ano_inicio = Right(DTPicker1.Value, 4)  
  
    dia_fin = Left(DTPicker3.Value, 2)  
    Mes_fin = Mid(DTPicker3.Value, 4, 2)  
    Ano_fin = Right(DTPicker3.Value, 4)  
    'Comprobación de que la fecha inicial es antes que la fecha final  
    If Ano_fin < Ano_inicio Then  
        MsgBox ("Error --> el año de la fecha fin es menor que la fecha inicial")  
        Unload UserForm_CALENDARIO  
        Exit Sub  
  
    ElseIf Mes_fin < Mes_inicio Then  
        MsgBox ("Error --> la fecha fin es menor que la fecha inicial")  
        Unload UserForm_CALENDARIO  
        Exit Sub  
  
    ElseIf Mes_fin = Mes_inicio And dia_fin < Dia_inicio Then  
        MsgBox ("Error --> el día de la fecha fin es menor que la fecha inicial")
```



```
Unload UserForm_CALEDARIO  
Exit Sub  
End If
```

```
Inicio_seleccionado = CDate(Dia_inicio & "/" & Mes_inicio & "/" & Ano_inicio)  
Final_seleccionado = CDate(dia_fin & "/" & Mes_fin & "/" & Ano_fin)
```

```
MsgBox ("Se ha seleccionado el siguiente rango: " & Inicio_seleccionado & "-" & Final_seleccionado)  
Unload UserForm_CALEDARIO
```

```
'Llamada al procedimiento de cálculo  
Call CALCULO_ECONOMICO_FINAL_2(Inicio_seleccionado, Final_seleccionado)
```

```
End Sub
```

---

```
'BOTON CALCULAR TODOS LOS REGISTROS --> Se pone 01/01/2000 para hacer un if después  
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```
Dim Inicio_seleccionado As Date  
Dim Final_seleccionado As Date
```

```
Inicio_seleccionado = CDate("01/01/2000")  
Final_seleccionado = CDate("01/01/2000")
```

```
Unload UserForm_CALEDARIO
```

```
'Llamada al procedimiento de cálculo  
Call CALCULO_ECONOMICO_FINAL_2(Inicio_seleccionado, Final_seleccionado)
```

```
End Sub
```



## FORMULARIO USERFORM\_ECONOMIC

```
'-----  
' FORMULARIO PARA MOSTRAR LOS PROGRESOS DEL CALCULO ECONÓMICO  
'-----  
'
```

```
Private Sub UserForm_Activate ()
```

```
'ABRIR EL FORMULARIO PARA SELECCIONAR LA FECHA INICIAL Y LA FECHA FINAL QUE SE QUIERE CALCULAR  
UserForm_CALENDARIO.Show
```

```
'Quitar el formulario  
Unload UserForm_ECONOMIC
```

```
End Sub
```

## FORMULARIO USERFORM\_TIME\_PRICE

```
'-----  
' FORMULARIO PARA MOSTRAR LOS PROGRESOS DEL CALCULO DE TIEMPOS Y PRECIOS RETÉN  
'-----  
'
```

```
Private Sub UserForm_Activate ()
```

```
'Llamada al procedimiento  
Call CALCULOS_EN_HOJA_SAP_2
```

```
'Quitar el formulario  
Unload Me
```

```
End Sub
```



## MÓDULO A\_TIEMPOS\_Y\_COSTES

```
'=====  
'=====  
'  
' Macro creada por --> Carlos Polo Galiano // carlospologg@gmail.com  
'  
'=====  
'  
'          PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LOS TIEMPOS EN LA HOJA "SAP"  
'-----  
'=====  
'  
Option Explicit  
  
Sub CALCULOS_EN_HOJA_SAP()  
  
    ' Eliminar la actualización de pantalla  
    Application.ScreenUpdating = False  
  
    ' ABRIR EL FORMULARIO PARA MOSTRAR EL PROGRESO DE EJECUCIÓN E INICIAR EL PROCESO  
    UserForm_TIME_PRICE.Show  
  
    ' Activar la actualización de pantalla al finalizar el cálculo  
    Application.ScreenUpdating = True  
  
    'Mensaje de Aviso de que se ha terminado el cálculo  
    MsgBox ("Se ha terminado el cálculo del COSTE DE RETENES, proceda a poner los datos que se quieren calcular"  
        & " en la hoja 'Metrics' del archivo 'RODC-OVD__Retenes_Metrica Energetica' y ejecute el 2º cálculo")  
  
    Sheets("Info").Activate  
  
End Sub
```



```
Sub CALCULOS_EN_HOJA_SAP_2 ()
, .....
' 1.1.) --> INICIALIZAR FORMULARIO DE PROGRESO
, .....
'Iniciar el % de la barra de Progreso del formulario en 0% y una variable que irá cambiando
UserForm_TIME_PRICE.F_Progreso_Subproceso.Caption = "0%"
UserForm_TIME_PRICE.L_Progreso_Subproceso.Width = 0

Dim porcentaje_comprobacion As Integer
porcentaje_comprobacion = 0
, .....
' 1.2.) --> PREGUNTAR SI TRAER LA INFORMACIÓN DE COSTE DE RETENES DE LA MACRO DE ESTIMACIÓN A ESTA MACRO
, .....
'Preguntar si exportar de la última versión o usar lo que se ponga manualmente en la hoja Price
Dim Mensaje As Variant
Mensaje = "¿Quiere exportar la información más actualizada de la Macro 'ON_CALL_SERVICES' o utilizar " _
        & " otros precios introducidos manualmente en la hoja Price?"
Mensaje = MsgBox(Mensaje, vbQuestion + vbYesNo, "Carlos Polo Galiano pregunta:")

If Mensaje = vbNo Then
    'Codigo si la respuesta es NO
    MsgBox ("Selecciono NO! --> Se utilizará la información que haya actualmente en la hoja Price")
ElseIf Mensaje = vbYes Then
    'Codigo si la respuesta es SI
    MsgBox ("Selecciono SI! --> Se exportará la información de la última versión guardada en la " _
        & "carpeta 'copias' donde se están las copias de la Macro ON_CALL_SERVICES")
End If
, .....
'Código solamente si se selecciona SÍ en el mensaje!
If Mensaje = vbYes Then

    Dim ffss, Carpeta_Estimacion, Archivo As Object
    Dim ruta_estimación As String
    Dim version_archivo As Variant
    Dim ultima_version As Integer
    Dim Nombre_Macro As String
    Dim Ruta_Macro As String
```



```
Dim Direccion_Macro As String
Dim Rango_a_copiar_1 As String
Dim Rango_a_copiar_2 As String
Dim Macro_Metrica_Economica As String
Dim nombb As String

Macro_Metrica_Economica = ThisWorkbook.Name
ruta_estimacion = Sheets("Info").Range("E26").Value
Rango_a_copiar_1 = Sheets("Info").Range("E27").Value
Rango_a_copiar_2 = Sheets("Info").Range("E28").Value

'Ajustes necesarios a la ruta
If ruta_estimacion = "" Then
    MsgBox ("La ruta que de la Macro 'On Call Services' de la celda 'E26' de 'Info' no se ha encontrado")
    Exit Sub
ElseIf Right(ruta_estimacion, 1) <> "" Then
    ruta_estimacion = ruta_estimacion & ""
End If

Set ffss = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set Carpeta_Estimacion = ffss.GetFolder(ruta_estimacion)

'Recorrer todos los archivos y obtener el nombre de la Macro con la última versión
ultima_version = 0
For Each Archivo In Carpeta_Estimacion.Files
    nombb = Archivo.Name
    If InStr(Archivo.Name, "RODCD-OVD_ON-CALL_SERVICES_ECONOMIC_ACTIVATION_V") <> 0 Then
        version_archivo = Mid(Archivo.Name, 49, 2)
        'Ajustes para si se tiene un dígito o dos
        If InStr(version_archivo, ".") <> 0 Then
            version_archivo = Left(version_archivo, 1)
        End If
        'Comprobacion para determinar ultima version
        If CInt(version_archivo) > ultima_version Then
            ultima_version = CInt(version_archivo)
        End If
    End If
Next
```



```
Nombre_Macro = "RODCD-OVD_ON-CALL_SERVICES_ECONOMIC_ACTIVATION_V" & ultima_version & ".xlsm"
Ruta_Macro = ruta_estimacion
Direccion_Macro = Ruta_Macro & "\" & Nombre_Macro & ""

'Abrir el archivo y copiar los datos necesarios
Workbooks.Open Filename:=Direccion_Macro
Workbooks(Nombre_Macro).Sheets("O_C_S").Activate
'1ºRango
Workbooks(Nombre_Macro).Sheets("O_C_S").Range(Rango_a_copiar_1).Select
Selection.Copy
Workbooks(Macro_Metrica_Economica).Sheets("Price").Range("D2").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False
'2ºRango
Workbooks(Nombre_Macro).Sheets("O_C_S").Range(Rango_a_copiar_2).Select
Selection.Copy
Workbooks(Macro_Metrica_Economica).Sheets("Price").Range("P2").PasteSpecial xlPasteValues
Application.CutCopyMode = False

Workbooks(Nombre_Macro).Close savechanges:=False
Set ffss = Nothing
Set Carpeta_Estimacion = Nothing
End If
| .....
| .....
' 1.3.) --> INICIALIZAR Y DAR FORMATOS
| .....
Sheets("SAP").Select
Sheets("SAP").Range("W:AG").clear

Range("U1").Select
Selection.Copy
Range("V1:AG1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
```



```
'Colorear de fucsia la cabecera de las columna FESTIVO
Range("V1").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 13337055
    End With

'Colorear de azul claro la cabecera de las columnas calculadas de TIEMPOS
Range("W1:AB1").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 15720259
    End With

'Colorear de naranja la cabecera de las columnas calculadas de COSTES
Range("AC1:AG1").Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 3902207
    End With

Columns("W:Y").Select
Selection.NumberFormat = "m/d/yyyy h:mm"

Columns("Z:AB").Select
Selection.NumberFormat = "[h]:mm:ss;@"

Columns("AC:AG").Select
Selection.NumberFormat = "#,##0.00 $"

Sheets("SAP").Cells(1, 22).Value = "Festivo"
Sheets("SAP").Cells(1, 23).Value = "Fecha de aviso"
Sheets("SAP").Cells(1, 24).Value = "Fecha de entrada"
Sheets("SAP").Cells(1, 25).Value = "Fecha de salida"
Sheets("SAP").Cells(1, 26).Value = "Tiempo desplazamiento"
```



```
Sheets("SAP").Cells(1, 27).Value = "Tiempo desplazamiento x contrato"  
Sheets("SAP").Cells(1, 28).Value = "Tiempo intervencion"  
Sheets("SAP").Cells(1, 29).Value = "Coste desplazamiento"  
Sheets("SAP").Cells(1, 30).Value = "Coste desplazamiento x contrato"  
Sheets("SAP").Cells(1, 31).Value = "Coste intervencion"  
Sheets("SAP").Cells(1, 32).Value = "Coste Total"  
Sheets("SAP").Cells(1, 33).Value = "Coste Total x contrato"
```

```
.....  
' 1.4.) --> CÁLCULO DE LAS FECHAS NECESARIAS PARA EL CÁLCULO  
.....
```

```
Dim fallo As Boolean  
Dim wpp As String  
Dim fil_price As Integer  
Dim col_price As Integer  
Dim col_price_coste_fijo As Integer
```

```
' INICIALIZAR LAS VARIABLES
```

```
wpp = ""  
fil_price = 0  
col_price = 0
```

```
' 1º) --> Calcular el número de registros que hay
```

```
Dim ultima_fila_con_datos As Long  
ultima_fila_con_datos = WorksheetFunction.CountA(Range("A:A"))
```

```
' 2º) --> BUCLE PARA RECORRER TODOS LOS REGISTROS
```

```
Dim fil As Long  
For fil = 2 To ultima_fila_con_datos
```

```
    Dim dato_pri_columna As String  
    Dim fecha_ini As String  
    Dim fecha_fin As String
```

```
    dato_pri_columna = Sheets("SAP").Cells(fil, 1).Value  
    fecha_ini = Sheets("SAP").Cells(fil, 18).Value  
    fecha_fin = Sheets("SAP").Cells(fil, 20).Value
```



```
If fecha_ini = "" Or fecha_fin = "" Then
    GoTo PASAR_A_LA_SIGUIENTE_ITERACION
End If

'Variable para controlar si hay errores en el procesado
fallo = True

,.....

'FECHA DE ACTIVACIÓN (o de aviso)
Dim Fecha_Activacion
Sheets("SAP").Cells(fil, 23).Value = "" & Sheets("SAP").Cells(fil, 12).Value & " " &
Format(Sheets("SAP").Cells(fil, 13).Value, "hh:mm")
Fecha_Activacion = CDate(Sheets("SAP").Cells(fil, 23).Value)
Sheets("SAP").Cells(fil, 23).Value = Fecha_Activacion

'FECHA DE ENTRADA
Dim Fecha_Entrada
Sheets("SAP").Cells(fil, 24).Value = "" & Sheets("SAP").Cells(fil, 18).Value & " " &
Format(Sheets("SAP").Cells(fil, 19).Value, "hh:mm")
Fecha_Entrada = CDate(Sheets("SAP").Cells(fil, 24).Value)
Sheets("SAP").Cells(fil, 24).Value = Fecha_Entrada

'FECHA DE SALIDA
Dim Fecha_Salida
Sheets("SAP").Cells(fil, 25).Value = "" & Sheets("SAP").Cells(fil, 20).Value & " " &
Format(Sheets("SAP").Cells(fil, 21).Value, "hh:mm")
Fecha_Salida = CDate(Sheets("SAP").Cells(fil, 25).Value)
Sheets("SAP").Cells(fil, 25).Value = Fecha_Salida

'Si hay algún dato de la extracción de SAP erroneo, que se indique el error
On Error GoTo HA_HABIDO_UN_ERROR_EN_DATOS_SAP
,.....

'si FECHA ENTRADA = FECHA SALIDA, significa que se activa el retén pero la contrata decide no ir.
If CStr(Fecha_Entrada) = CStr(Fecha_Salida) Then

    'Colorear la fila de naranja
    Sheets("SAP").Range(Cells(fil, 1), Cells(fil, 33)).Select
```



```
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 3902207
End With
'Poner comentario en la columna AH
Sheets("SAP").Range("AH" & fil).Value = "Se activa pero contrata no va"
End If

'TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO
Dim Tiempo_Desplazamiento
Tiempo_Desplazamiento = (Sheets("SAP").Cells(fil, 24).Value) - (Sheets("SAP").Cells(fil, 23).Value)
'-----
'Resaltar en rojo si las horas de activación son posteriores a las de acceso a parque y AÑADIR COMENTARIO
If Fecha_Entrada < Fecha_Activacion Then

'*****
'    IMPORTANTE --> Si pasa esto, calcula mal el tiempo de desplazamiento (al ser negativo),
'                    por tanto, se pone 12:00:00, ya que así es superior al tiempo por contrato,
'                    y no influye en el cálculo posterior --> SE AÑADE COMENTARIO ADEMÁS

    Tiempo_Desplazamiento = (12 / 24) 'se mide en días --> 0.5 días = 12 horas
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Value = Tiempo_Desplazamiento
'*****

    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Select
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 9013759
    End With
    'añadir el comentario en la celda
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).AddComment
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Comment.Text Text:="Hora de activación posterior a la de acceso al
    parque, se pone 12:00:00 para que sea superior al desplazamiento por contrato, y no influya después"
```



```
'-----  
'Resaltar en amarillo los retenes que se desplazan en más de 2 horas y AÑADIR COMENTARIO INDICANDOLO  
ElseIf (((Hour(Tiempo_Desplazamiento) * 60) + Minute(Tiempo_Desplazamiento)) / 60) > 2 Then  
  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Value = Tiempo_Desplazamiento  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = 65535  
    End With  
    'se añade el comentario en la celda  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).AddComment  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Comment.Text Text:="Desplazamiento mayor de 2 horas"  
Else  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 26).Value = Tiempo_Desplazamiento  
End If  
  
'TIEMPO DE INTERVENCIÓN  
Dim Tiempo_Intervencion  
Tiempo_Intervencion = (Sheets("SAP").Cells(fil, 25).Value) - (Sheets("SAP").Cells(fil, 24).Value)  
Sheets("SAP").Cells(fil, 28).Value = Tiempo_Intervencion  
'-----  
'Si es negativo, resaltar en rojo, poner tiempo intervención de 1,5 horas y AÑADIR COMENTARIO  
If Tiempo_Intervencion < 0 Then  
    Tiempo_Intervencion = (1.5 / 24) '1,5 horas entre 24 horas (se mide en días)  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 28).Value = Tiempo_Intervencion  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 28).Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = 255  
    End With  
    'añadir el comentario en la celda  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 28).AddComment  
    Sheets("SAP").Cells(fil, 28).Comment.Text Text:="Tiempo de intervención negativo, posiblemente por  
estar mal en SAP, se pone 1,5 horas se tiempo medio de intervención"  
End If
```



```
'Si hay algún error no entra en esta línea de código y fallo sería True  
fallo = False
```

```
'En caso de que haya algún error en los datos extraídos en SAP, que salte el programa hasta aquí  
HA_HABIDO_UN_ERROR_EN_DATOS_SAP:
```

```
-----  
' SI DETECTA UN ERROR EN LA EXTRACCIÓN DE SAP, QUE COLOREE TODA LA FILA  
-----
```

```
If fallo = True Then  
    Sheets("SAP").Range(Cells(fil, 26), Cells(fil, 28)).Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = 155  
    End With  
    Sheets("SAP").Range(Cells(fil, 26), Cells(fil, 28)).Value = "Fallo procesado"  
End If
```

```
1.4.) --> DETERMINAR LOS COSTES DE DESPLAZAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS RETENES
```

```
'Creo string con wpp para buscar el precio en la hoja Price
```

```
Dim Ubicacion_Tecnica As String  
Ubicacion_Tecnica = Sheets("SAP").Cells(fil, 7).Value  
If Len(Ubicacion_Tecnica) > 8 Then  
    wpp = Mid(Ubicacion_Tecnica, 6, 6)  
Else  
    wpp = Right(Ubicacion_Tecnica, 3)  
End If
```

```
'Se determina la fila de la hoja price a usar para calcular los costes
```

```
With Sheets("Price").Range("B:C")
```

```
    Dim c As Object  
    Set c = .Find(wpp)
```



```
If Not c Is Nothing Then
    fil_price = c.Row
Else
    MsgBox ("Se ha encontrado un error en la fila: " & fil & " al buscar" _
        & "el nombre del WPP de 'SAP' en la hoja 'Price'")
End If
End With

'TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO POR CONTRATO
'Uso la fila del parque para saber el tiempo de intervención que cobrarán por contrato
Dim Tiempo_Despl_contrato
Tiempo_Despl_contrato = Sheets("Price").Cells(fil_price, 5).Value
If Tiempo_Despl_contrato > 0 Then
    Tiempo_Despl_contrato = (Tiempo_Despl_contrato / 24)
    Sheets("SAP").Cells(fil, 27).Value = Tiempo_Despl_contrato
End If

'Determinar dia de la semana y si es festivo
Dim Es_festivo As Integer
Es_festivo = Sheets("SAP").Cells(fil, 22).Value
If (Weekday(Fecha_Activacion) = 1) Or (Es_festivo <> Empty) Then 'Domingos o festivos
    col_price = 9
    col_price_coste_fijo = 18
Else
    If Weekday(Sheets("SAP").Cells(fil, 23).Value) = 7 Then 'Sabados
        col_price = 8
        col_price_coste_fijo = 17
    Else
        col_price = 7 'Dias laborables
        col_price_coste_fijo = 16
    End If
End If

On Error GoTo PASAR_A_LA_SIGUIENTE_ITERACION
```



```
'DETERMINAR EL PRECIO DE ACTIVACIÓN FIJO (solamente si lo tiene)
Dim Coste_Acti_Fijo As Double
Coste_Acti_Fijo = Sheets("Price").Cells(fil_price, col_price_coste_fijo).Value
Sheets("Price").Cells(fil_price, 4).Value = Coste_Acti_Fijo

'PRECIOS DE COSTE DE RETÉN DEPENDIENDO DE LA UBIACIÓN TÉCNICA DE CADA ITERACIÓN
Dim Coste_Activacion As Double
Dim Numero_Tecnicos As Double
Dim Coste_por_hora_Inte As Double
Dim Coste_por_hora_Desp As Double

Coste_Activacion = Sheets("Price").Cells(fil_price, 4).Value
Numero_Tecnicos = Sheets("Price").Cells(fil_price, 10).Value
Coste_por_hora_Inte = Sheets("Price").Cells(fil_price, col_price).Value
If Coste_Activacion = 0 Then
    Coste_por_hora_Desp = Coste_por_hora_Inte
Else
    Coste_por_hora_Desp = 0
End If

,.....
' 1.4.) --> CALCULO FINAL DE LAS VARIABLES QUE NECESITAMOS
,.....
'Coste desplazamiento (((horas de desplazamiento * precio de retén)+ coste fijo de desplazamiento)* Nª de
técnicos)
Sheets("SAP").Cells(fil, 29).Value = (((Hour(Tiempo_Desplazamiento) * 60) + Minute(Tiempo_Desplazamiento)) / 60)
* Coste_por_hora_Desp) + Coste_Activacion) * Numero_Tecnicos

'Coste desplazamiento x contrato (((horas de desplazamiento x contrato * precio de retén)+ coste fijo de
desplazamiento)* Nª de técnicos)
Sheets("SAP").Cells(fil, 30).Value = (((Hour(Tiempo_Despl_contrato) * 60) + Minute(Tiempo_Despl_contrato)) / 60)
* Coste_por_hora_Desp) + Coste_Activacion) * Numero_Tecnicos

'Coste intervención ((horas de intervención * precio de retén)* Nª de técnicos)
Sheets("SAP").Cells(fil, 31).Value = (((Hour(Tiempo_Intervencion) * 60) + Minute(Tiempo_Intervencion)) / 60) *
Coste_por_hora_Inte) * Numero_Tecnicos
```



```
'Coste Total
Sheets("SAP").Cells(fil, 32).Value = Sheets("SAP").Cells(fil, 29).Value + Sheets("SAP").Cells(fil, 31).Value

'Coste Total x contrato
Sheets("SAP").Cells(fil, 33).Value = Sheets("SAP").Cells(fil, 30).Value + Sheets("SAP").Cells(fil, 31).Value

'=====
' Si la contrata no va, que ponga todos los costes igual a cero
If Sheets("SAP").Range("AB" & fil).Value = CDate("0:00:00") Then
    Sheets("SAP").Cells(fil, 29).Value = 0
    Sheets("SAP").Cells(fil, 30).Value = 0
    Sheets("SAP").Cells(fil, 31).Value = 0
    Sheets("SAP").Cells(fil, 32).Value = 0
    Sheets("SAP").Cells(fil, 33).Value = 0
End If
'=====

'VÍNCULO PARA PASAR A LA SIGUIENTE FILA SI SE ENCUENTRAN DATOS DE FECHA INICIO O FIN EN BLANCO
PASAR_A_LA_SIGUIENTE_ITERACION:

'COMPROBACION para Aumentar la barra de Subproceso del Formulario, cada 10%
Call COMPROBACION_PORCENTAJE_PROGRESO(fil, ultima_fila_con_datos, porcentaje_comprobacion, "UserForm_TIME_PRICE")

Next fil

End Sub
```



## MÓDULO B\_CALCULO\_ECONOMICO

**En este módulo se va a omitir el procedimiento de cálculo de energía y beneficio económico de aerogeneradores, ya que se conecta con PI Server y se prefiere mantener la privacidad de conexiones y de programación con los servidores que utiliza la empresa.**

```
'=====
'=====
'
' Macro creada por --> Carlos Polo Galiano // carlospologg@gmail.com
'
'=====
'-----
'          PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL BENEFICIO DE LOS RETENES ACTIVADOS
'-----
'=====
'
```

Option Explicit

Sub CALCULO\_ECONOMICO\_FINAL()

```
' Eliminar la actualización de pantalla
Application.ScreenUpdating = False

' ABRIR EL FORMULARIO PARA MOSTRAR EL PROGRESO DE EJECUCIÓN E INICIAR EL PROCESO
UserForm_ECONOMIC.Show

' Activar la actualización de pantalla al finalizar el cálculo
Application.ScreenUpdating = True

'Mensaje de Aviso de que se ha terminado el cálculo
MsgBox ("Se ha terminado el CALCULO ECONÓMICO DEFINITIVO DE RETENES, Gracias por su paciencia")

Sheets("Info").Activate
```

End Sub



```
Sub CALCULO_ECONOMICO_FINAL_2(Fecha_inicial As Date, Fecha_final As Date)
```

```
'-----  
' 1.) --> PASOS PREVIOS AL CÁLCULO  
'-----  
  
' .....  
' 1.1.) --> INICIALIZAR FORMULARIO DE PROGRESO  
' .....  
' Iniciar el % de la barra de Progreso del formulario en 0% y una variable que irá cambiando  
UserForm_ECONOMIC.F_Progreso_Subproceso.Caption = "0%"  
UserForm_ECONOMIC.L_Progreso_Subproceso.Width = 0  
  
Dim porcentaje_comprobacion As Integer  
porcentaje_comprobacion = 0  
  
' .....  
' 1.2.) --> CALCULAR EL N° FILAS TOTALES DE LAS PESTAÑAS DEL EXCEL, PARA USAR EN BUCLES  
' .....  
  
Dim iii As Long  
Dim fecha_cambiante As Date  
Dim comprobacion_fecha_ini_1 As Boolean  
Dim comprobacion_fecha_ini_2 As Boolean  
Dim comprobacion_fecha_fin_1 As Boolean  
Dim comprobacion_fecha_fin_2 As Boolean  
  
comprobacion_fecha_ini_1 = False  
comprobacion_fecha_ini_2 = False  
comprobacion_fecha_fin_1 = False  
comprobacion_fecha_fin_2 = False  
  
' .....  
' Saber las filas totales de la hoja "Metrics"  
Sheets("Metrics").Activate  
Dim primera_fila_Metrics As Long  
Dim ultima_fila_Metrics As Long  
ultima_fila_Metrics = WorksheetFunction.CountA(Columns(3)) + 2 'Se suman 2 celdas sin datos antes de empezar
```



```
'Se seleccionan todos los registros
If Fecha_inicial = "01/01/2000" And Fecha_final = "01/01/2000" Then
    primera_fila_Metrics = 4
    ultima_fila_Metrics = ultima_fila_Metrics
    comprobacion_fecha_ini_1 = True
    comprobacion_fecha_fin_1 = True

'Se selecciona un rango de fechas
Else
    'Calcular el número de fila del 1º registro para la fecha inicial seleccionada
    For iii = 4 To ultima_fila_Metrics
        Dim a As String
        fecha_cambiante = CDate(Left(Sheets("Metrics").Range("F" & iii).Value, 10))
        If fecha_cambiante >= Fecha_inicial Then
            primera_fila_Metrics = iii
            comprobacion_fecha_ini_1 = True
            Exit For
        End If
    Next

    'Calcular el número de fila del ultimo registro para la fecha fin seleccionada
    For iii = 4 To ultima_fila_Metrics
        fecha_cambiante = CDate(Left(Sheets("Metrics").Range("F" & iii).Value, 10))
        If fecha_cambiante = Fecha_final Then
            ultima_fila_Metrics = iii - 1
            comprobacion_fecha_fin_1 = True
            Exit For
        ElseIf fecha_cambiante > Fecha_final Then
            ultima_fila_Metrics = iii - 1
            comprobacion_fecha_fin_1 = True
            Exit For
        End If
    Next

End If
```



```
'Comprobaciones en este apartado
If comprobacion_fecha_ini_1 = True And comprobacion_fecha_fin_1 = True Then
    MsgBox ("HOJA Metrics --> Se han encontrado correctamente los registros a calcular, aceptar para seguir
con el cálculo." _ & Chr(13) & Chr(13) & "HOJA Metrics --> De la fila " & primera_fila_Metrics & " a la fila " &
ultima_fila_Metrics)
ElseIf comprobacion_fecha_ini_1 = True And comprobacion_fecha_fin_1 = False Then
    MsgBox ("HOJA Metrics --> Se ha encontrado un registro para la fecha inicial, pero para la fecha final" _
& " no. Si NO hay registros superiores a la fecha fin seleccionado, pulse aceptar " _
& "para seguir con el cálculo. Se va a calcular de la fila " & primera_fila_Metrics _
& " hasta el último registro." & Chr(13) & Chr(13) & "Si no es así, mirar la primera" _
& " parte del módulo B_Calculo_Economico de la Macro")
Else
    MsgBox ("HOJA Metrics --> Ha ocurrido un error, revisar la primera parte del módulo B de la Macro")
End If
'.....
'.....

'Saber las filas totales de la hoja "SAP"
Sheets("SAP").Activate
Dim primera_fila_SAP As Long
Dim ultima_fila_SAP As Long
ultima_fila_SAP = WorksheetFunction.CountA(Columns(1))

'Se seleccionan todos los registros
If Fecha_inicial = "01/01/2018" And Fecha_final = "01/01/2018" Then
    primera_fila_SAP = 2
    ultima_fila_SAP = ultima_fila_SAP
    comprobacion_fecha_ini_2 = True
    comprobacion_fecha_fin_2 = True
'Se selecciona un rango de fechas
Else
    'Calcular el número de fila del 1º registro para la fecha inicial seleccionada
    For iii = 2 To ultima_fila_SAP
        fecha_cambiante = CDate(Sheets("SAP").Range("R" & iii).Value)
        If fecha_cambiante >= Fecha_inicial Then
            primera_fila_SAP = iii
            comprobacion_fecha_ini_2 = True
        Exit For
    End For
End If
```



```
End If
Next

'Calcular el número de fila del ultimo registro para la fecha fin seleccionada
For iii = 2 To ultima_fila_SAP
    fecha_cambiante = CDate(Sheets("SAP").Range("T" & iii).Value)
    If fecha_cambiante = Fecha_final Then
        ultima_fila_SAP = iii - 1
        comprobacion_fecha_fin_2 = True
        Exit For
    ElseIf fecha_cambiante > Fecha_final Then
        ultima_fila_SAP = iii - 1
        comprobacion_fecha_fin_2 = True
        Exit For
    End If
Next

End If

'Comprobaciones en este apartado
If comprobacion_fecha_ini_2 = True And comprobacion_fecha_fin_2 = True Then
    MsgBox ("HOJA SAP --> Se han encontrado correctamente los registros a calcular, aceptar para seguir con el
cálculo" & Chr(13) & Chr(13) & "HOJA SAP --> De la fila " & primera_fila_SAP & " a la fila " & ultima_fila_SAP)

ElseIf comprobacion_fecha_ini_2 = True And comprobacion_fecha_fin_2 = False Then
    MsgBox ("HOJA SAP --> Se ha encontrado un registro para la fecha inicial, pero para la fecha final no." _
        & "si no hay registros superiores a la fecha fin seleccionado, pulse aceptar " _
        & "para seguir con el cálculo. Si no es así, mirar la primera parte del módulo" _
        & "B_Calculo_Economico de la Macro")
Else
    MsgBox ("HOJA SAP --> Ha ocurrido un error, revisar la primera parte del módulo B_Calculo_Economico de la
Macro")
End If

'
```



```
' Saber las filas totales de la hoja "Price"
Sheets("Price").Activate
Dim ultima_fila_Price As Long
ultima_fila_Price = WorksheetFunction.CountA(Columns(14))

,.....
' 1.3.) --> CALCULAR EL COMPLEJO de "Metrics" POR LA AGRUPACION DE RETENES
,.....
' Cambiar complejo (Columna C) de "Metrics", por la Agrupación de Activación multiple (Columna N "Price"):

'Bucles para encontrar la agrupación y cambiarla
Dim comprobacion_cambio_agrup As Boolean
comprobacion_cambio_agrup = False

Dim nomb_parque_metrics As String
Dim nomb_parque_price As String
Dim agrupacion As String

Dim p As Long
For p = 4 To ultima_fila_Metrics
    nomb_parque_metrics = Sheets("Metrics").Range("B" & p).Value

    Dim pp As Long
    For pp = 2 To ultima_fila_Price
        nomb_parque_price = Sheets("Price").Range("L" & pp).Value

        If nomb_parque_metrics = nomb_parque_price Then
            agrupacion = Sheets("Price").Cells(pp, 14)
            'Ponemos la Agrupación donde iba el complejo en la tabla de Metrics
            Sheets("Metrics").Range("C" & p).Value = agrupacion
            comprobacion_cambio_agrup = True
            Exit For
        End If
    Next
Next
```



```
'Comprobación de que las bases los datos están bien
If comprobacion_cambio_agrup = False Then
    MsgBox ("Ha ocurrido un error, no se encuentra el parque :'" & nomb_parque_metrics _
        & "' de la fila :'" & p & "' en la hoja 'Price'")
End If
Next
'.....
' 1.4.) --> LIMPIAR EL CALCULO ANTERIOR, Y CREAR EL CABECERO DE LAS COLUMNAS A CALCULAR (mediante función)
'.....
Call LIMPIAR_CALCULO_ANTERIOR_Y_CREAR_CABECERO(primer_a_fila_Metrics, ultima_fila_Metrics)

'-----
' 2.) --> CALCULO ECONÓMICO DE CADA FILA
'-----

Dim fila_Metrics As Long
Dim fila_SAP As Long
Dim fila_Price As Long

Dim wpp_Metrics_1 As String
Dim wpp_Metrics_2 As String
Dim wpp_SAP As String
Dim complex_SAP As String
Dim wpp_Price As String

Dim fecha_Metrics As Date
Dim fecha_SAP As Date

Dim comprobacion_individual As Boolean
Dim comprobacion_multiple As Boolean

Dim Ubicacion_Tecnica As String
Dim Ubicacion_Tecnica_WPP As String
Dim Ubicacion_Tecnica_Complex As String

Dim Beneficio_generado As Double
Dim Coste_total As Double
Dim Ganancia As Double
Dim parimpar As Integer
```



```
'-----  
' 2.0.) --> 1º BUCLE para recorrer todas las filas de "Metrics"  
'-----  
For fila_Metrics = primera_fila_Metrics To ultima_fila_Metrics  
  
  'COMPROBACIONES QUE SE USAN POSTERIORMENTE (Para reiniciarlas en cada iteración)  
  comprobacion_individual = False  
  comprobacion_multiple = False  
  wpp_SAP = "Reinicio de Variable"  
  complex_SAP = "Reinicio de Variable"  
  
  wpp_Metrics_1 = Sheets("Metrics").Range("B" & fila_Metrics).Value  
  'Variables para diferenciar si hay activación multiple o no  
  Dim complex_Metrics_1 As String  
  Dim complex_Metrics_2 As String  
  complex_Metrics_1 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics).Value  
  complex_Metrics_2 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics + 1).Value  
  
  Dim fecha_inicio_1 As Date  
  Dim fecha_inicio_2 As Date  
  fecha_inicio_1 = Sheets("Metrics").Range("F" & fila_Metrics).Value  
  fecha_inicio_2 = Sheets("Metrics").Range("F" & fila_Metrics + 1).Value  
  
'-----  
' 2.1.) --> 1º COMPROBACIÓN --> NO ES ACTIVACIÓN MULTIPLE  
'-----  
  If (complex_Metrics_1 = "N/A") Or (complex_Metrics_1 <> complex_Metrics_2) Or (CStr(fecha_inicio_1) <>  
CStr(fecha_inicio_2)) Then  
  
    fecha_Metrics = Sheets("Metrics").Range("F" & fila_Metrics).Value  
  
    '-----  
    ' 2.1.1.) --> 2º BUCLE para buscar esa fecha exacta en la hoja "SAP"  
    '-----  
    For fila_SAP = primera_fila_SAP To ultima_fila_SAP  
  
      fecha_SAP = Sheets("SAP").Range("X" & fila_SAP).Value
```



```
'2° COMPROBACIÓN --> hay una fecha igual en "SAP"
If CStr(fecha_Metrics) = CStr(fecha_SAP) Then

    comprobacion_individual = True 'Saber hay al menos una fecha que coincide (se usa al final)
    Ubicacion_Tecnica = Sheets("SAP").Range("G" & fila_SAP).Value

    '-----
    ' 2.1.2.) --> EL AVISO ES Z5 NORMAL (la Ubicación técnica tiene más de 8 caracteres)
    '-----
    If Len(Ubicacion_Tecnica) > 8 Then

        Ubicacion_Tecnica_WPP = Mid(Ubicacion_Tecnica, 6, 6)
        'Saber la fila de la hoja "Price" para comprobar si también coincide el WPP para esa fecha
        With Sheets("Price").Range("B:B")
            Dim c As Object
            Set c = .Find(Ubicacion_Tecnica_WPP)

            If Not c Is Nothing Then
                fila_Price = c.Row
                wpp_SAP = Sheets("Price").Cells(fila_Price, 12)

            Else 'comprobacion de que no se salta registros
                MsgBox ("Se ha encontrado un error para encontrar la ubicación: "
                    & Ubicacion_Tecnica_WPP & " de la fila SAP: " & fila_SAP & ", comprobar Price")
            End If
        End With

    '-----
    ' 2.1.3.) --> EL AVISO ES Z0 AUNQUE SEA UNA MÁQUINA
    '-----
    ElseIf Len(Ubicacion_Tecnica) = 8 Then

        Ubicacion_Tecnica_WPP = Mid(Ubicacion_Tecnica, 6, 6)

        'Saber la fila de la hoja "Price" para comprobar si también coincide el WPP para esa fecha
        With Sheets("Price").Range("B:B")
            Set c = .Find(Ubicacion_Tecnica_WPP)
```



```
If Not c Is Nothing Then
    fila_Price = c.Row
    complex_SAP = Sheets("Price").Cells(fila_Price, 14)
Else 'comprobacion de que no se salta registros
    MsgBox ("Se ha encontrado un error para encontrar la ubicacion: "
        & Ubicacion_Tecnica_WPP & " y la fila SAP " & fila_SAP & ", comprobar "Price")
End If
End With
End If
'
'=====
'2.1.4.) --> 3º COMPROBACION Y CÁLCULO ECONÓMICO FINAL
'=====
' Que coincide además de la fecha, el mismo parque (Z5) o complejo (Z0)
If wpp_Metrics_1 = wpp_SAP Or complex_Metrics_1 = complex_SAP Then

    Sheets("SAP").Range("AH" & fila_SAP).Value = "Sí" 'marcar en hoja SAP usada en ese registro

    'FUNCION para pegar los datos de "SAP" a "Metrics" (sin agrupación)
    Sheets("Metrics").Activate
    Call PEGAR_LOS_DATOS_DE_SAP_A_Metrics(fila_SAP, fila_Metrics)

    'Ganancia = beneficio generado - Coste total (columna Q)
    Beneficio_generado = Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 16).Value
    Coste_total = Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 21).Value
    Ganancia = Beneficio_generado - Coste_total

    Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 22).Value = Ganancia

    Exit For 'Parar el for, para ahorrar tiempo de cálculo

End If
'
End If
Next
'
```



```
'-----  
' 2.2.) --> 1º COMPROBACIÓN --> SÍ ES ACTIVACIÓN MULTIPLE  
'-----
```

```
Else
```

```
'Saber cuantos parques hay en la activación multiple
```

```
Dim multiple_1 As String
```

```
Dim multiple_2 As String
```

```
Dim num_parques_multiples As Integer
```

```
multiple_1 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics).Value
```

```
multiple_2 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics + 1).Value
```

```
num_parques_multiples = 0
```

```
While multiple_1 = multiple_2
```

```
    num_parques_multiples = num_parques_multiples + 1
```

```
    multiple_1 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics + num_parques_multiples).Value
```

```
    multiple_2 = Sheets("Metrics").Range("C" & fila_Metrics + 1 + num_parques_multiples).Value
```

```
Wend
```

```
'-----  
' 2.2.1.) --> 2º BUCLE para buscar esa fecha exacta en la hoja "SAP"  
'-----
```

```
fecha_Metrics = Sheets("Metrics").Range("F" & fila_Metrics).Value
```

```
For fila_SAP = primera_fila_SAP To ultima_fila_SAP
```

```
    fecha_SAP = Sheets("SAP").Range("X" & fila_SAP).Value
```

```
'2º COMPROBACIÓN --> hay una fecha igual en "SAP"
```

```
If CStr(fecha_Metrics) = CStr(fecha_SAP) Then
```

```
    comprobacion_multiple = True 'Saber hay al menos una fecha que coincide (se usa al final)
```

```
    Ubicacion_Tecnica = Sheets("SAP").Range("G" & fila_SAP).Value
```

```
    Ubicacion_Tecnica_Complex = Mid(Ubicacion_Tecnica, 6, 3)
```

```
'Saber la fila de la hoja "Price" para comprobar si también coincide el COMPLEX para esa fecha
```

```
With Sheets("Price").Range("C:C")
```

```
    Set c = .Find(Ubicacion_Tecnica_Complex)
```



```
If Not c Is Nothing Then
    fila_Price = c.Row
    complex_SAP = Sheets("Price").Cells(fila_Price, 14)
Else 'comprobacion de que no se salta registros
    MsgBox ("Se ha encontrado un error para encontrar la ubicación: "
        & Ubicacion_Tecnica_Complex & " y la fila: " & fila_SAP & ", comprobar la hoja 'Price'")
End If
End With

'=====
' 2.2.2) --> 3º COMPROBACION Y CÁLCULO ECONÓMICO FINAL
'=====
' Que coincide además de la fecha, EL MISMO COMPLEJO
If complex_Metrics_1 = complex_SAP Then
    Sheets("SAP").Range("AH" & fila_SAP).Value = "Sí" 'marcar en hoja SAP que se ha usado

    'FUNCION PARA PEGAR LOS DATOS DE "SAP" a "Metrics"
    Sheets("Metrics").Activate
    Call PEGAR_LOS_DATOS_DE_SAP_A_Metrics(fila_SAP, fila_Metrics)
,.....

'CÁLCULO ECONÓMICO
'Fila con el último parque afectado del complejo
Dim fila_Metrics_end As Long
fila_Metrics_end = fila_Metrics + num_parques_multiples 'sumamos la variable calculada antes

'BENEFICIO --> Suma de los beneficios de los parques afectados
Beneficio_generado = 0
Dim i As Integer
For i = fila_Metrics To fila_Metrics_end
    Beneficio_generado = Beneficio_generado + (Sheets("Metrics").Cells(i, 16).Value * 100)
Next
'COSTE TOTAL --> Se coge de la celda
Coste_total = Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 21).Value

'GANANCIA = beneficio generado- Coste total (columna P)
Ganancia = (Beneficio_generado / 100) - Coste_total
Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 22).Value = Ganancia 'Se pone en la celda adecuada
,.....
```



```
'TEMA ESTÉTICO SOLO --> Colorear cada grupo de un color
Sheets("Metrics").Activate
Sheets("Metrics").Range(Cells(fila_Metrics, 17), Cells(fila_Metrics_end, 22)).Select

If (parimpar Mod 2) <> 0 Then
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent2
        .TintAndShade = 0.799981688894314
    End With
    parimpar = parimpar + 1
Else
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent5
        .TintAndShade = 0.599993896298105
    End With
    parimpar = parimpar + 1
End If

'IMPORTANTE, SUMAR A "fila_Metrics" los registros que han sido activacion multiple
fila_Metrics = fila_Metrics_end

'Parar el For, para ahorrar tiempo de cálculo
Exit For
End If
'=====
End If
Next
'.....
End If

'-----
'          FIN DEL CALCULO
'-----
```



```
'-----  
' 3.) --> COMPROBACIONES FINALES  
'-----  
'SI NO SE ENCUENTRA UNA FECHA IGUAL EN "SAP" que "Metrics":  
If comprobacion_individual = False And comprobacion_multiple = False Then  
  
    Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 23).Value = "No se ha encontrado esta fecha en la hoja SAP"  
    'Colorear la fila de rojo:  
    Sheets("Metrics").Range(Cells(fila_Metrics, 17), Cells(fila_Metrics, 22)).Select  
    With Selection.Interior  
        .Pattern = xlSolid  
        .PatternColorIndex = xlAutomatic  
        .Color = 255  
    End With  
  
End If  
  
    'COMPROBACION para Aumentar la barra de Subproceso del Formulario, cada 10%  
    Call COMPROBACION_PORCENTAJE_PROGRESO(fila_Metrics, ultima_fila_Metrics, porcentaje_comprobacion,  
"UserForm_ECONOMIC")  
  
'-----  
'-----  
  
Next  
  
Range("A4").Select 'Para que se vea la tabla desde el primer registro  
Range("A1").Select  
  
End Sub
```



```
'-----  
'-----  
' PROCEDIMIENTO PARA LIMPIAR EL CALCULO ANTERIOR, Y CREAR EL CABECERO DE LAS COLUMNAS A CALCULAR  
'-----  
'-----
```

```
Sub LIMPIAR_CALCULO_ANTERIOR_Y_CREAR_CABECERO(primer_fila As Long, ultima_fila As Long)
```

```
Sheets("Metrics").Activate  
Range("Q" & primera_fila & ":W" & ultima_fila).Select  
Selection.clear  
Range("Q" & primera_fila & ":R" & ultima_fila).Select  
Selection.NumberFormat = "[h]:mm;@"
```

```
Sheets("Metrics").Cells(3, 17).Value = "Tiempo desplazamiento"  
Sheets("Metrics").Cells(3, 18).Value = "Tiempo intervencion"  
Sheets("Metrics").Cells(3, 19).Value = "Coste desplazamiento"  
Sheets("Metrics").Cells(3, 20).Value = "Coste intervencion"  
Sheets("Metrics").Cells(3, 21).Value = "Coste Total"  
Sheets("Metrics").Cells(3, 22).Value = "Ganancia"
```

```
'dar formato encabezado tabla  
Sheets("Metrics").Range("Q3:V3").Select  
With Selection.Interior  
    .Pattern = xlSolid  
    .PatternColorIndex = xlAutomatic  
    .ThemeColor = xlThemeColorDark1  
    .TintAndShade = -0.349986266670736
```

```
End With  
'Poner bordes llamativos en la columna "Ganancia"  
Columns("V:V").Select  
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)  
    .LineStyle = xlSlantDashDot  
    .Weight = xlMedium  
End With  
With Selection.Borders(xlEdgeRight)  
    .LineStyle = xlSlantDashDot  
    .Weight = xlMedium  
End With
```



```
'Aumentar ancho de la fila 3
  Rows("3:3").RowHeight = 30

'Poner Relleno a los encabezados y centrarlos y en negrita
Range("Q3:V3").Select
Selection.Font.Bold = True
With Selection
  .WrapText = True
  .HorizontalAlignment = xlCenter
  .VerticalAlignment = xlCenter
End With
Range("Q3:R3").Select
With Selection.Interior
  .Pattern = xlSolid
  .PatternColorIndex = xlAutomatic
  .Color = 4643440
End With
Range("S3:U3").Select
With Selection.Interior
  .Pattern = xlSolid
  .PatternColorIndex = xlAutomatic
  .Color = 49407
End With
Range("V3").Select
With Selection.Interior
  .Pattern = xlSolid
  .PatternColorIndex = xlAutomatic
  .Color = 65535
End With
'Aumentar ancho de las columnas calculadas
Columns("Q:V").Select
Selection.ColumnWidth = 15.71

'Poner formato moneda a la columna V
Columns("V:V").Select
Selection.NumberFormat = "$#,##0.00_);[Red]($#,##0.00)"

End Sub
```



```
'-----  
'-----  
' PROCEDIMIENTO PARA COPIAR LOS DATOS DE SAP a Metrics, y no ponerlo varias veces en el código anterior  
'-----  
'-----  
Sub PEGAR_LOS_DATOS_DE_SAP_A_Metrics(fila_SAP As Long, fila_Metrics As Long)  
  
If (Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 26).Value * 1) > (Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 27).Value * 1) Then  
'si tiempo de desplazamiento > tiempo de desplazamiento por contrato  
  'tiempo de desplazamiento x contrato  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 17).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 27).Value  
  'tiempo de intervención  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 18).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 28).Value  
  'Coste de desplazamiento x contrato  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 19).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 30).Value  
  'Coste de intervención  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 20).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 31).Value  
  'Coste total x contrato  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 21).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 33).Value  
  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 17).Select  
  Selection.ClearComments  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 17).AddComment ("tiempo desplazamiento > tiempo por contrato")  
Else  
'si tiempo de desplazamiento < tiempo de desplazamiento por contrato  
  'tiempo de desplazamiento real  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 17).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 26).Value  
  'tiempo de intervención  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 18).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 28).Value  
  'Coste de desplazamiento real  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 19).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 29).Value  
  'Coste de intervención  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 20).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 31).Value  
  'Coste total real  
  Sheets("Metrics").Cells(fila_Metrics, 21).Value = Sheets("SAP").Cells(fila_SAP, 32).Value  
End If  
End Sub
```



## MÓDULO C\_AUMENTAR\_BARRA\_PROGRESO

```
'=====  
'-----  
'          PROCEDIMIENTO PARA LLAMAR AL AUMENTO DE BARRA DE PROGRESO DEL SUBPROCESO, CADA 10%  
'-----  
'=====
```

```
Sub COMPROBACION_PORCENTAJE_PROGRESO(i As Long, ultima_fila As Long, ByRef porcentaje_comprobacion As Integer,  
Nombre_formulario As String)
```

```
    Dim porcentaje_completado As Integer  
    porcentaje_completado = CInt((i / ultima_fila) * 100)
```

```
    If porcentaje_completado >= porcentaje_comprobacion Then
```

```
        porcentaje_comprobacion = porcentaje_comprobacion + 10  
        If Nombre_formulario = "UserForm_ECONOMIC" Then
```

```
            UserForm_ECONOMIC.F_Progreso_Subproceso.Caption = porcentaje_completado & " %"   
            UserForm_ECONOMIC.L_Progreso_Subproceso.Width = porcentaje_completado * 2  
        ElseIf Nombre_formulario = "UserForm_TIME_PRICE" Then
```

```
            UserForm_TIME_PRICE.F_Progreso_Subproceso.Caption = porcentaje_completado & " %"   
            UserForm_TIME_PRICE.L_Progreso_Subproceso.Width = porcentaje_completado * 2  
        ElseIf Nombre_formulario = "AÑADIR AQUÍ EL NOMBRE DE OTRO POSIBLE FORMULARIO" Then
```

```
            nombre.F_Progreso_Subproceso.Caption = porcentaje_completado & " %"   
            nombre.L_Progreso_Subproceso.Width = porcentaje_completado * 2
```

```
        Else  
            MsgBox ("Ha ocurrido algún error con los formularios para el progreso")  
        End If
```

```
        ' IMPORTANTISMO el DoEvents:  
        ' Sirve para que se actualice la visualización de la barra de estado  
        DoEvents
```

```
    End If
```

```
End Sub
```



## MÓDULO D\_LIMPIAR\_TODO\_SAP

```
'=====
'-----
' PROCEDIMIENTO PARA LIMPIAR TODOS LOS REGISTROS, TANTO CALCULADOS COMO DE LA EXTRACCIÓN SAP DE "SAP"
'-----
'=====

Sub LIMPIAR_TODA_LA_TABLA_HOJA_MAIN()
Dim fil_clear As Integer

fil_clear = 2

    While Not IsEmpty(Sheets("SAP").Cells(fil_clear, 1))
        fil_clear = fil_clear + 1
    Wend

Sheets("SAP").Select
Sheets("SAP").Range("V:AG").clear

Sheets("SAP").Range(Cells(2, 1), Cells(fil_clear, 21)).clear

End Sub
```



## MÓDULO E\_RESULTADOS\_FINALES

```
'=====
'-----
'   PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LOS RESULTADOS DE TODO EL AÑO RESUMIDOS EN UNA TABLA
'-----
'=====

Sub RESULTADOS_FINALES ()

anio = Sheets("RESULTADOS").Range("D1").Value
bisiesto = Sheets("RESULTADOS").Range("D2").Value

' ITERACIONES PARA CADA MES
For i = 1 To 12

    'REINICIAR LAS VARIABLES A CALCULAR
    Dim Activaciones As Long
    Dim Energia As Double
    Dim Beneficio As Double

    Activaciones = 0
    Energia = 0
    Beneficio = 0

    'Saber los días que tiene cada mes (se incluye bisiesto)
    Select Case i
        Case 1
            dia_fin = 31
            mes = "01"
            'Caso especial para FEBRERO si es bisiesto
            Case 2
                If bisiesto = "NO" Then
                    dia_fin = 28
                    mes = "02"
                ElseIf bisiesto = "SI" Then
                    dia_fin = 29
                    mes = "02"
```



```
End If
Case 3
  dia_fin = 31
  mes = "03"
Case 4
  dia_fin = 30
  mes = "04"
Case 5
  dia_fin = 31
  mes = "05"
Case 6
  dia_fin = 30
  mes = "06"
Case 7
  dia_fin = 31
  mes = "07"
Case 8
  dia_fin = 31
  mes = "08"
Case 9
  dia_fin = 30
  mes = "09"
Case 10
  dia_fin = 31
  mes = "10"
Case 11
  dia_fin = 30
  mes = "11"
Case 12
  dia_fin = 31
  mes = "12"
End Select

'Fecha inicial y finas de cada mes
fecha_inicio_mes = CDate("01/" & mes & "/" & anio)
fecha_fin_mes = CDate(dia_fin & "/" & mes & "/" & anio) + 1
```



```
'-----  
'CALCULAR LAS FILAS QUE HAY QUE TENER EN CUENTA EN CADA ITERACIÓN  
'-----  
  
Dim primera_fila_Metrics As Long  
Dim ultima_fila_Metrics As Long  
Dim comprobacion_fecha_ini_1 As Long  
Dim comprobacion_fecha_fin_1 As Long  
comprobacion_fecha_ini_1 = False  
comprobacion_fecha_fin_1 = False  
primera_fila_Metrics = 40000  
ultima_fila_Metrics = 40000  
' Saber las filas totales de la hoja "Metrics"  
Sheets("Metrics").Activate  
ultima_fila_Metrics = WorksheetFunction.CountA(Columns(3)) + 2 'Se suman 2 celdas sin datos  
  
'Calcular el número de fila del 1º registro para la fecha inicial seleccionada  
For iii = 4 To ultima_fila_Metrics  
    fecha_cambiante = CDate(Left(Sheets("Metrics").Range("F" & iii).Value, 10))  
    If fecha_cambiante >= fecha_inicio_mes Then  
        primera_fila_Metrics = iii  
        comprobacion_fecha_ini_1 = True  
        Exit For  
    End If  
Next  
  
'Calcular el número de fila del ultimo registro para la fecha fin seleccionada  
For iii = 4 To ultima_fila_Metrics  
    fecha_cambiante = CDate(Left(Sheets("Metrics").Range("F" & iii).Value, 10))  
    If fecha_cambiante = fecha_fin_mes Then  
        ultima_fila_Metrics = iii - 1  
        comprobacion_fecha_fin_1 = True  
        Exit For  
    ElseIf fecha_cambiante > fecha_fin_mes Then  
        ultima_fila_Metrics = iii - 1  
        comprobacion_fecha_fin_1 = True  
        Exit For  
    End If
```



```
Next
'1º Comprobación
If primera_fila_Metrics = 40000 Then
    MsgBox ("No se han encontrado registros para el mes nº: " & mes & ". Se termina la ejecución.")
    Sheets("RESULTADOS").Activate
    Exit Sub
End If
'2º Comprobaciones en este apartado
If comprobacion_fecha_ini_1 = True And comprobacion_fecha_fin_1 = True Then

    ElseIf comprobacion_fecha_ini_1 = True And comprobacion_fecha_fin_1 = False Then
        MsgBox ("HOJA Metrics: para el mes nº " & mes & " --> Se ha encontrado un registro para la fecha inicial,
pero para la fecha final no." & Chr(13) & Chr(13) & "Si NO hay registros superiores a la fecha fin seleccionado,
pulse aceptar " & "para seguir con el cálculo.SI NO ES ASÍ, COMPROBAR LA MACRO")
    Else
        MsgBox ("HOJA Metrics --> Ha ocurrido un error, revisar la primera parte del módulo B_Calculo_Economico de
la Macro")
    End If

'-----
' CALCULO FINAL
'-----

Dim act As Long
Dim ene As Double
Dim ben As Double

For j = primera_fila_Metrics To ultima_fila_Metrics
    comprobacion = IsEmpty(Sheets("Metrics").Range("V" & j))
    If comprobacion = False Then
        act = 1
    Else
        act = 0
    End If
    ene = Sheets("Metrics").Range("O" & j).Value
    ben = Sheets("Metrics").Range("V" & j).Value
    Activaciones = Activaciones + act
    Energia = Energia + ene
    Beneficio = Beneficio + ben

```



Next

```
Sheets("RESULTADOS").Range("C" & i + 4).Value = Activaciones
```

```
Sheets("RESULTADOS").Range("D" & i + 4).Value = Energia
```

```
Sheets("RESULTADOS").Range("E" & i + 4).Value = Beneficio
```

Next

```
MsgBox ("Se ha terminado el cálculo de los RESULTADOS FINALES")
```

```
Sheets("RESULTADOS").Activate
```

End Sub

