



XVII Congreso de Confiabilidad

25 y 26 de noviembre de 2015. Parque Científico
y Tecnológico de Bizkaia. Zamudio (Bizkaia)





SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO DINÁMICOS EN INSTALACIONES EÓLICAS ONSHORE-OFFSHORE

(a) Miguel Ángel Rodríguez López, (b) Luis María López González, (a) Nuria López Triguero, (a) Ángel Marín Guillén y (a) Antonio José Fernández Pérez

Ingeniero Senior

(a) Iberdrola Ingeniería y Construcción SAU y (b) Universidad de La Rioja



Índice

- **Introducción al entorno**
- **Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento**
- **Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos**
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías-
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- **Primeros resultados obtenidos y Problemática**
- **Futuros trabajos**

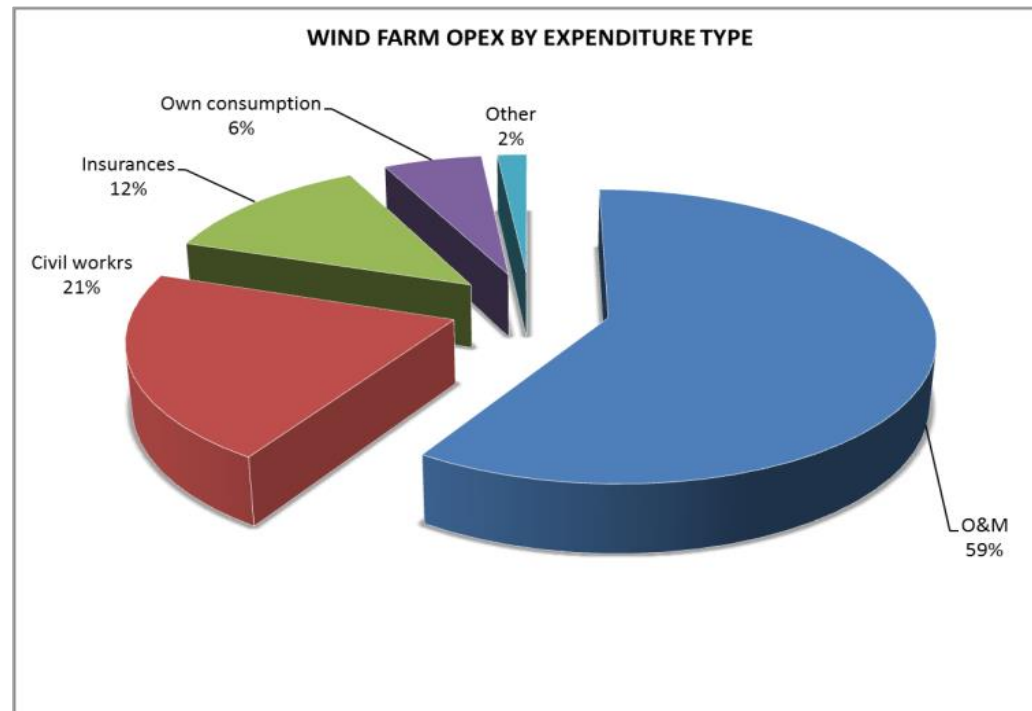
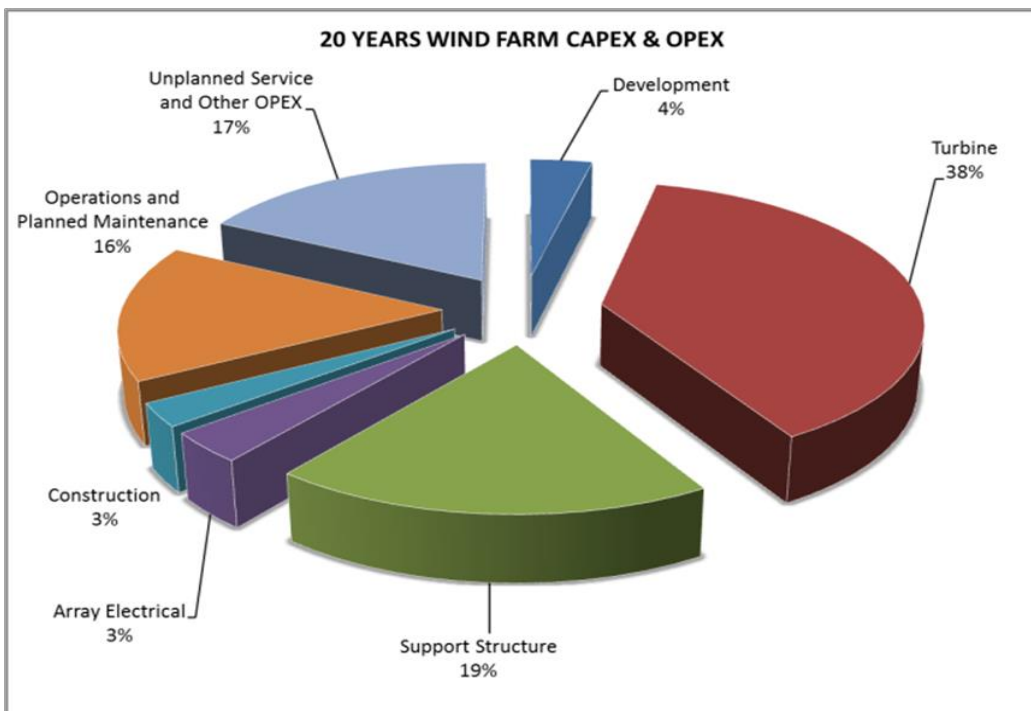


Índice

- **Introducción al entorno**
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías-
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos



Resumen reparto costes CAPEX/OPEX de un parque eólico

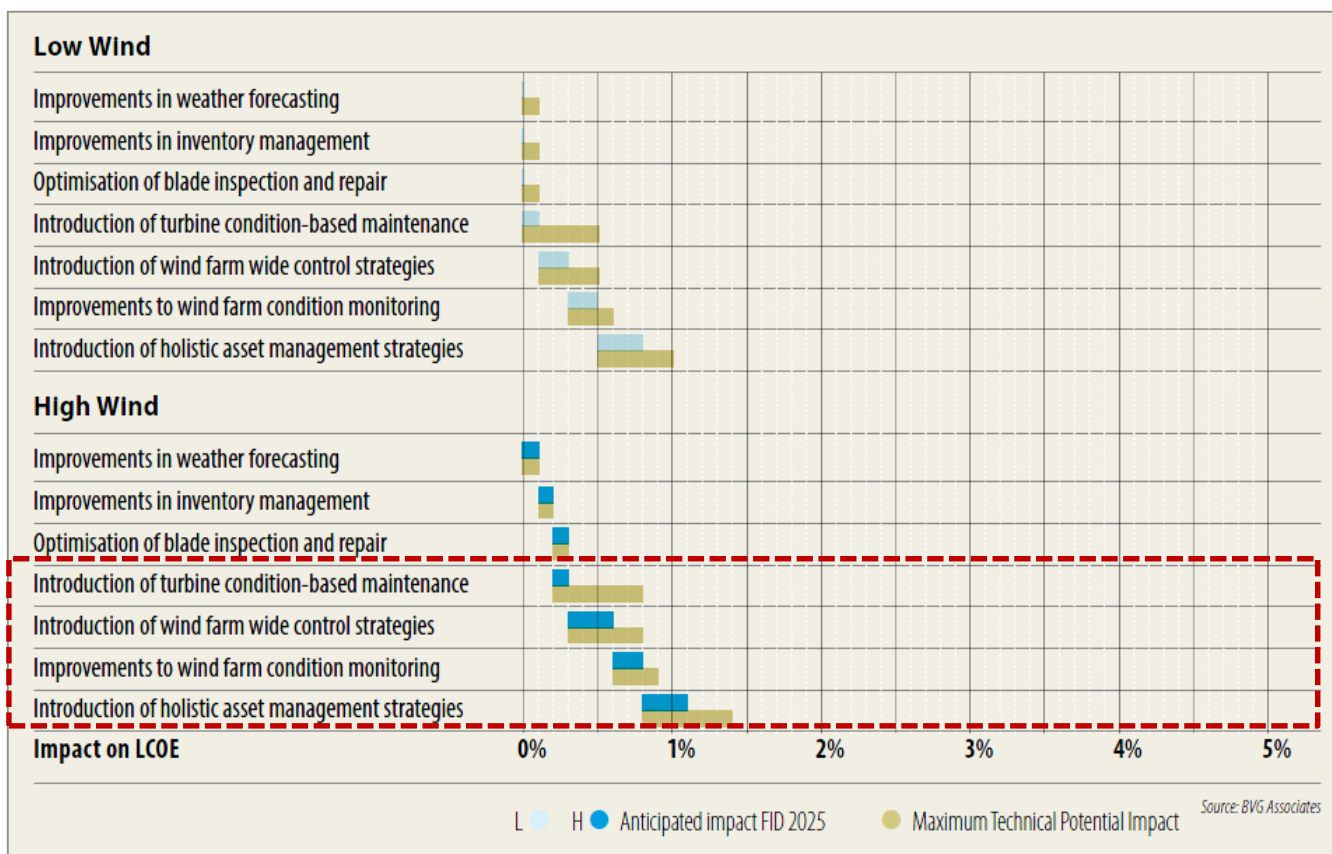


Desde el punto de vista de O&M, ¿Cómo puedo hacer más atractiva la Inversión en Eólica?

Aumentando la Rentabilidad a partir de proyectos de I+D+i



Líneas de Innovación en O&M

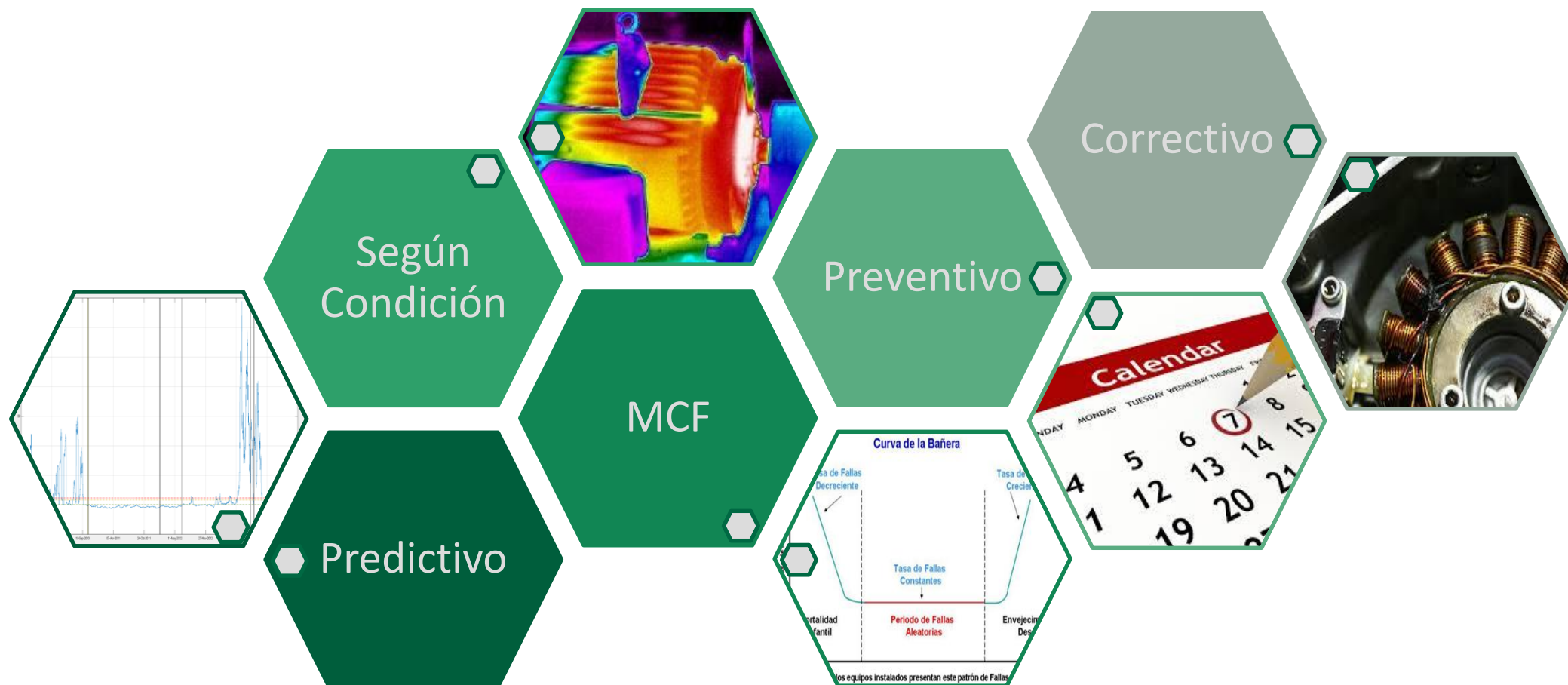


- Introducción del **mantenimiento basado en la condición** del aerogenerador
- Introducción de estrategias de control a nivel de parque
- Mejoras de los **sistemas de monitorización de la condición** del parque eólico
- Introducción de nuevas estrategias de control de activos

Reducción del coste de generación de energía 1%



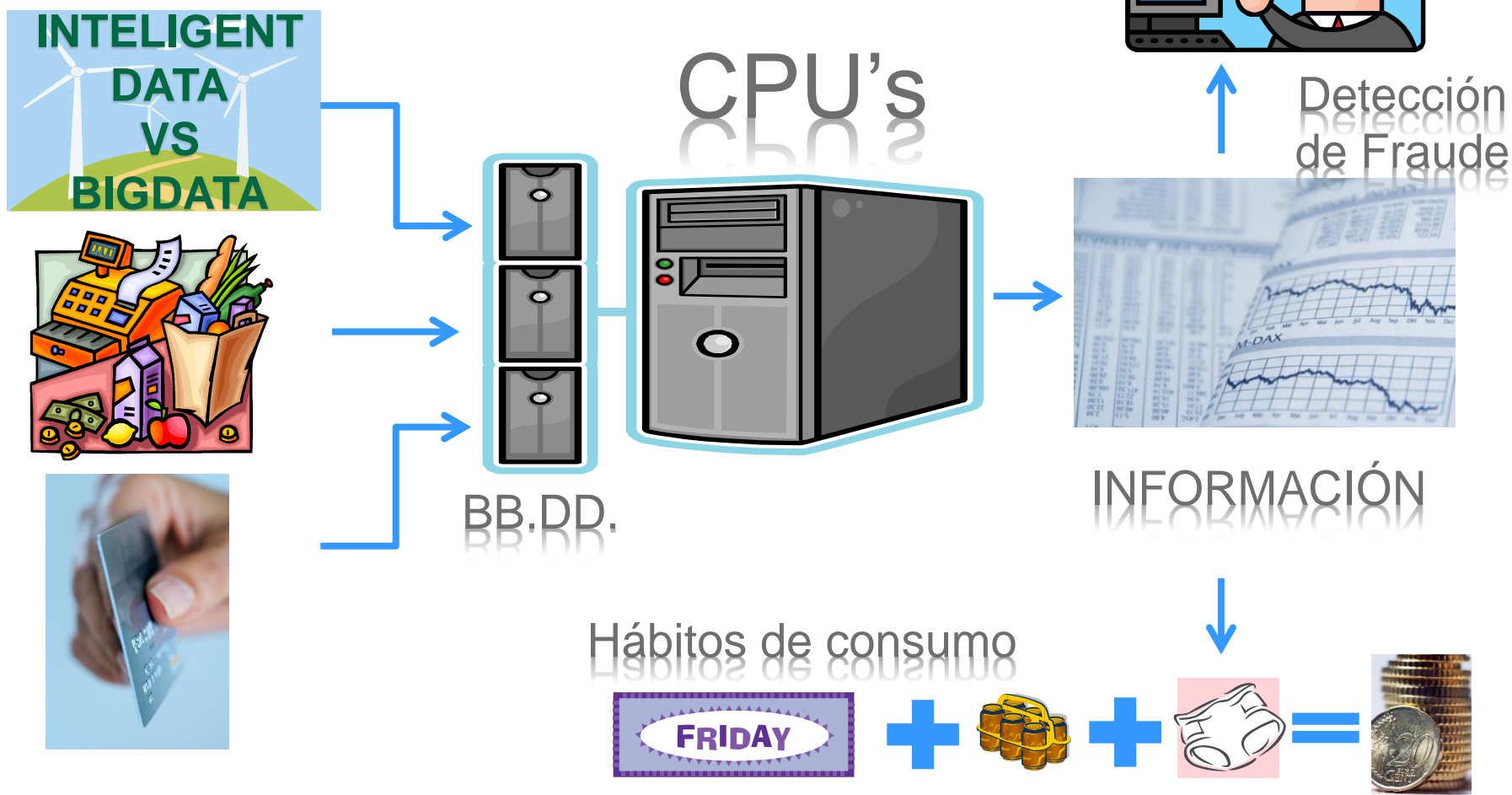
El Mantenimiento Industrial: Pasado, Presente y Futuro





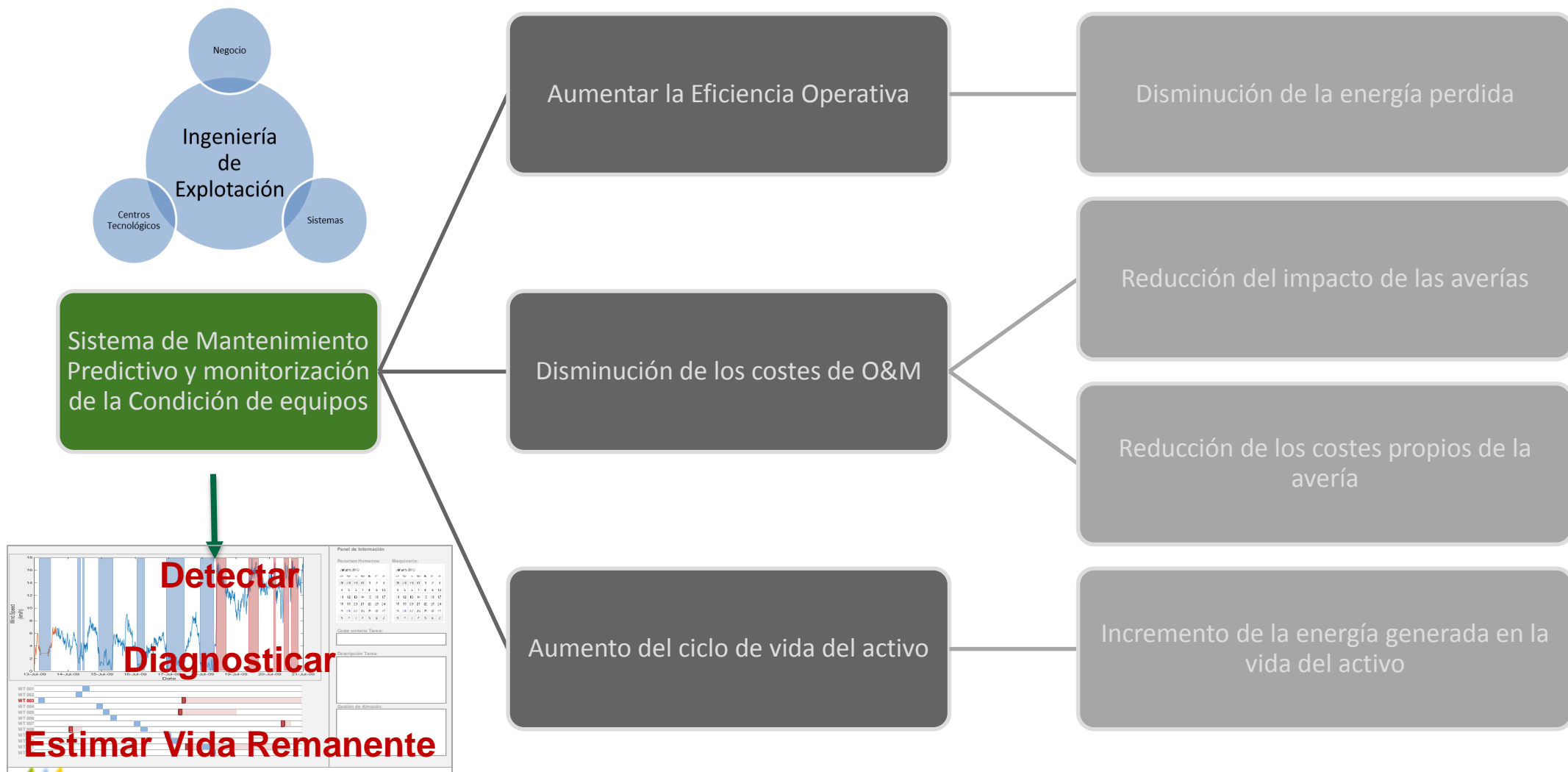
BigData y técnicas de IA

¿En que consiste la Minería de Datos?





Beneficios de la utilización del CBM en eólica





Índice

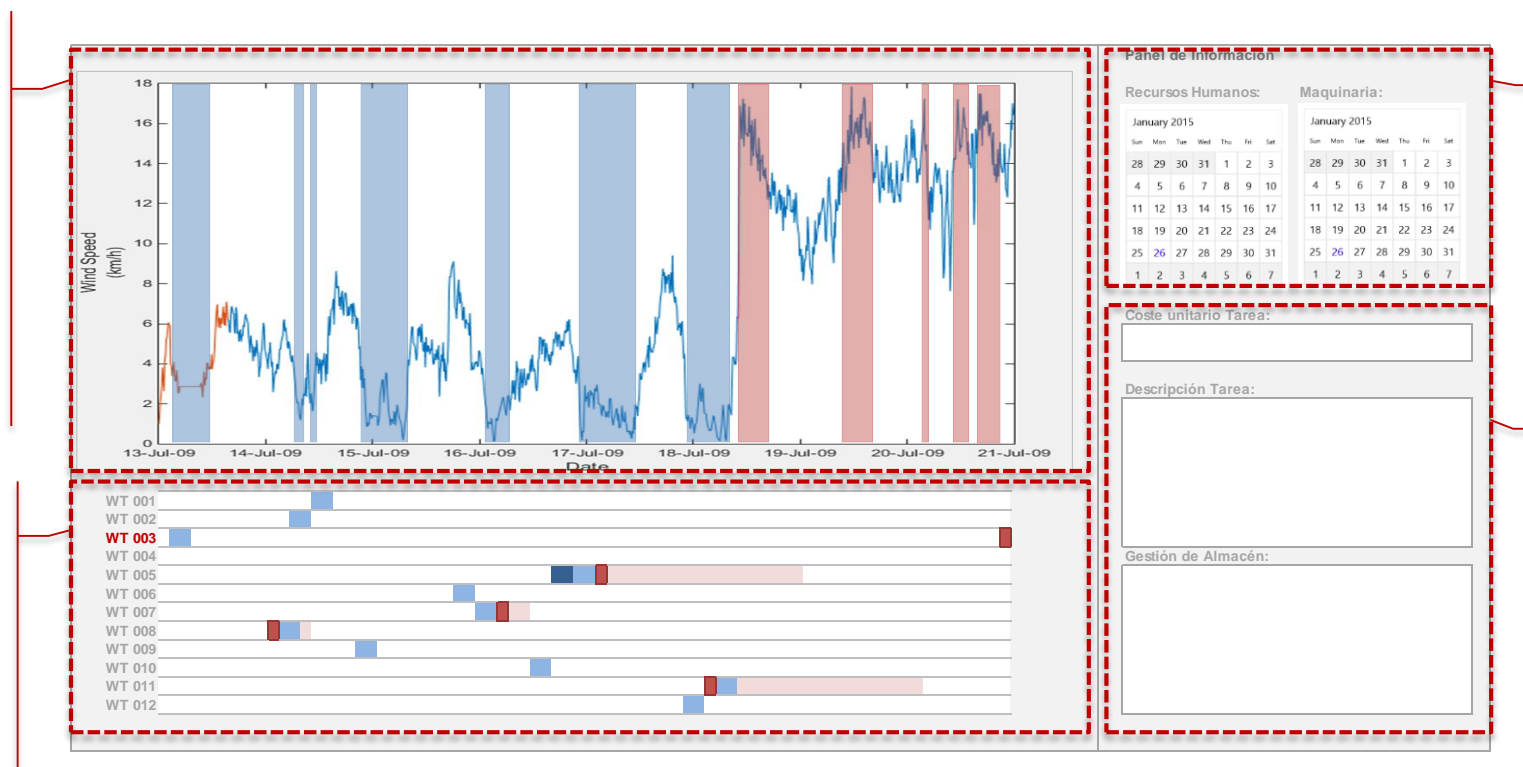
- Introducción al entorno
- **Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento**
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías-
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos



Optimizador Dinámico de planes de mantenimiento

Recurso eólico y condiciones ambientales

Tareas de Mantenimiento: Preventivo, Correctivo y Predictivo



Calendario de Recursos

Información de las tareas, almacenes, costes, documentos

...

El planificador propondrá **QUÉ** hay que mantener y **CUÁNDO** es el mejor momento, en base **criterios** como Minimización del Coste del plan de mantenimiento, del Riesgo o Indisponibilidad Energética de la planta, cumpliendo las **RESTRICCIONES**.

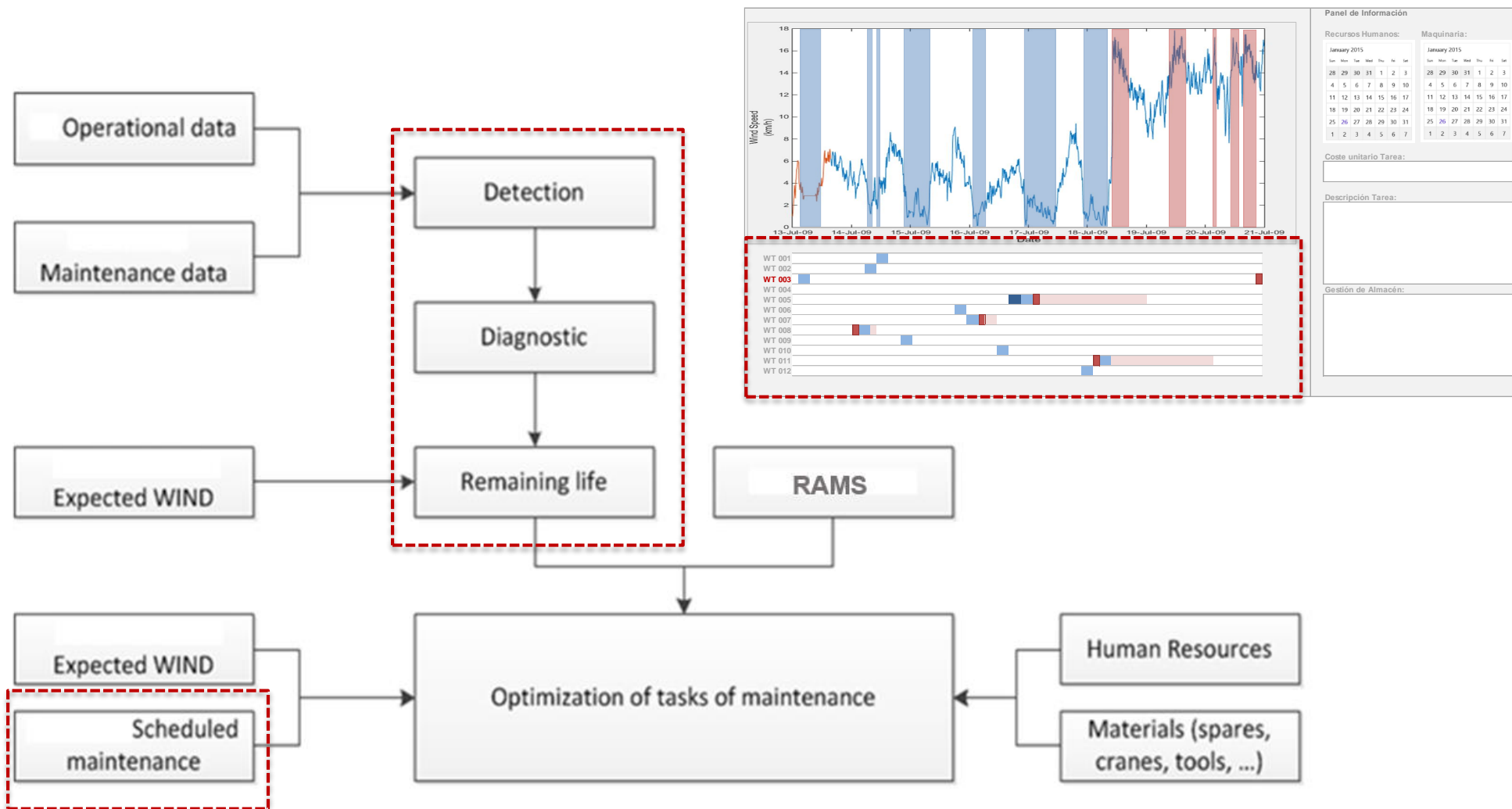


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - **Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías**
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos



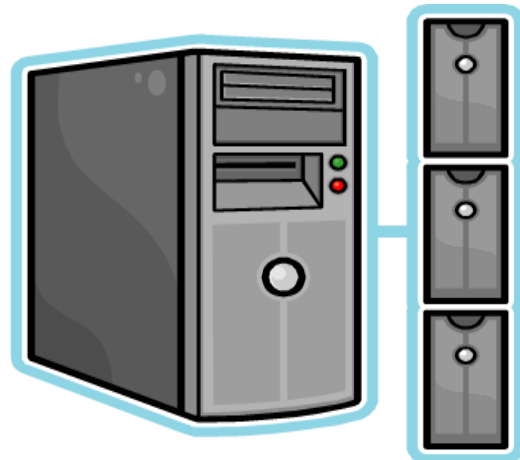
El Mantenimiento Industrial: Pasado, Presente y Futuro





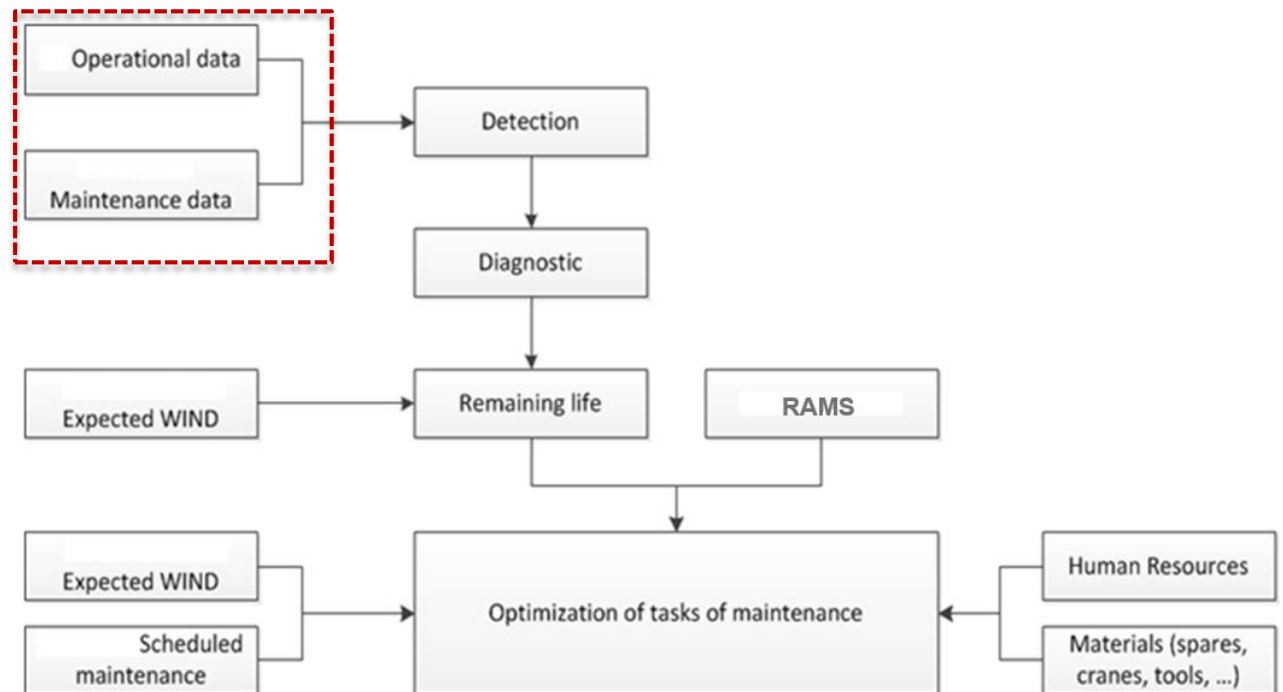
Metodología de detección, diagnóstico y prognosis: Concepto General

Información de BB.DD.



- Datos analógicos
- Var. De Operación
- Datos digitales
- Alarmas y Estados
- Datos de O&M
- Ordenes de trabajo

¿Qué metodología aplico? (Conocimiento matemático previo)



Indicadores

- Cálculo del Error
- Configuración de Indicadores
- Aplicación de los Indicadores

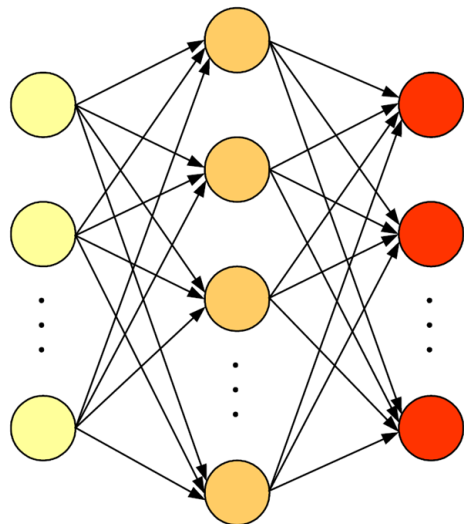


Matemática para la metodología de detección, diagnóstico y prognosis

RR.NN.



Modelo de comportamiento

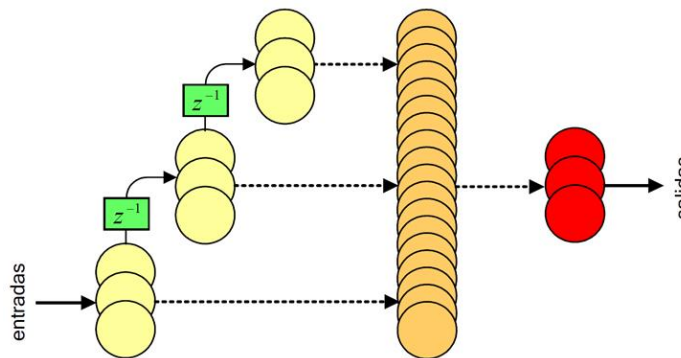


Lógica Fuzzy



Variables Especiales

Reglas Clasificación



ARMAX

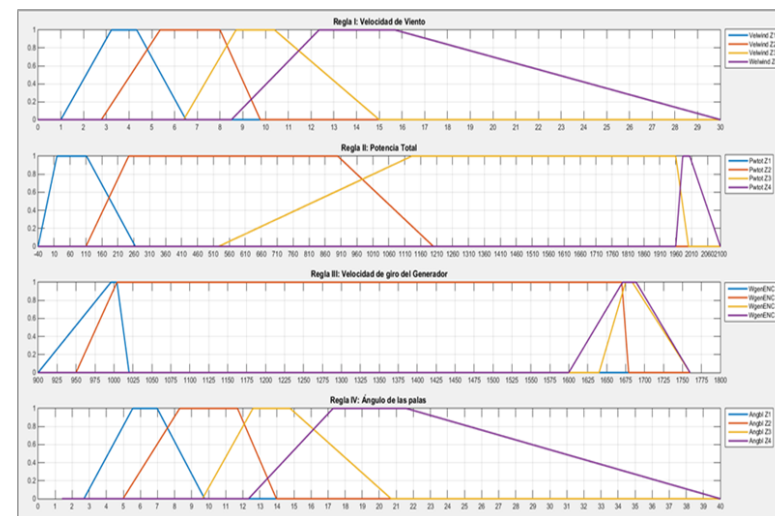


Modelo de comportamiento

MA

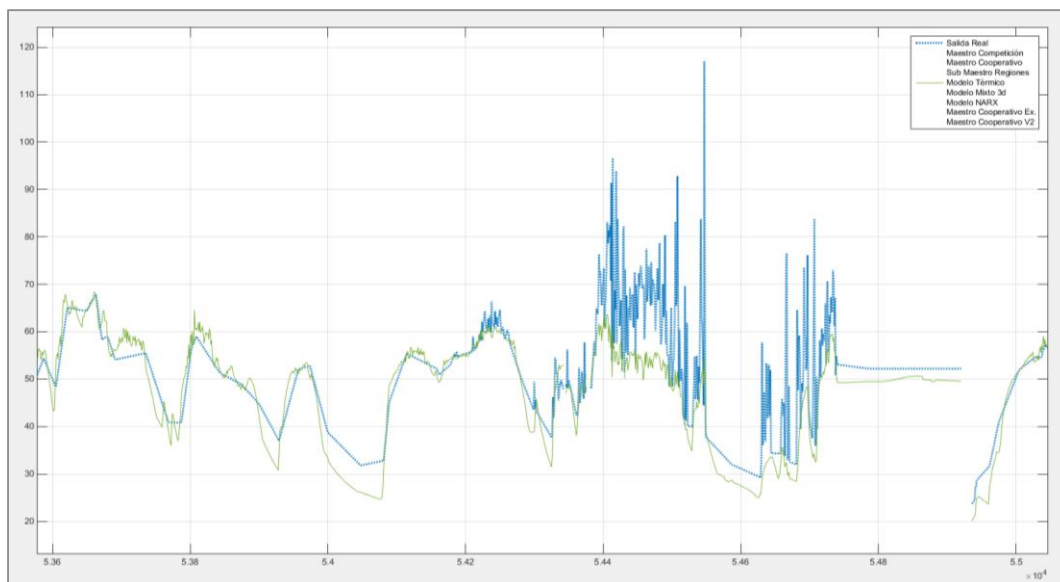


Indicadores de Estado

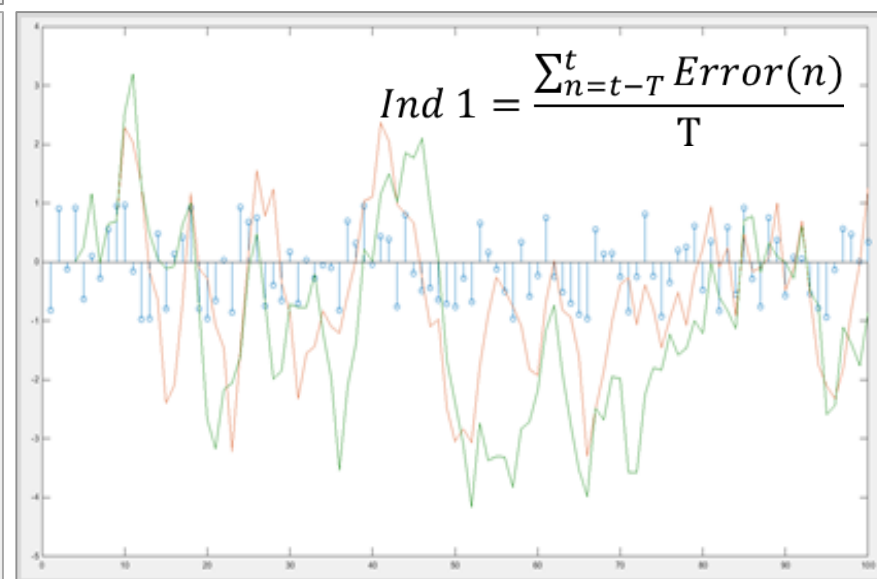
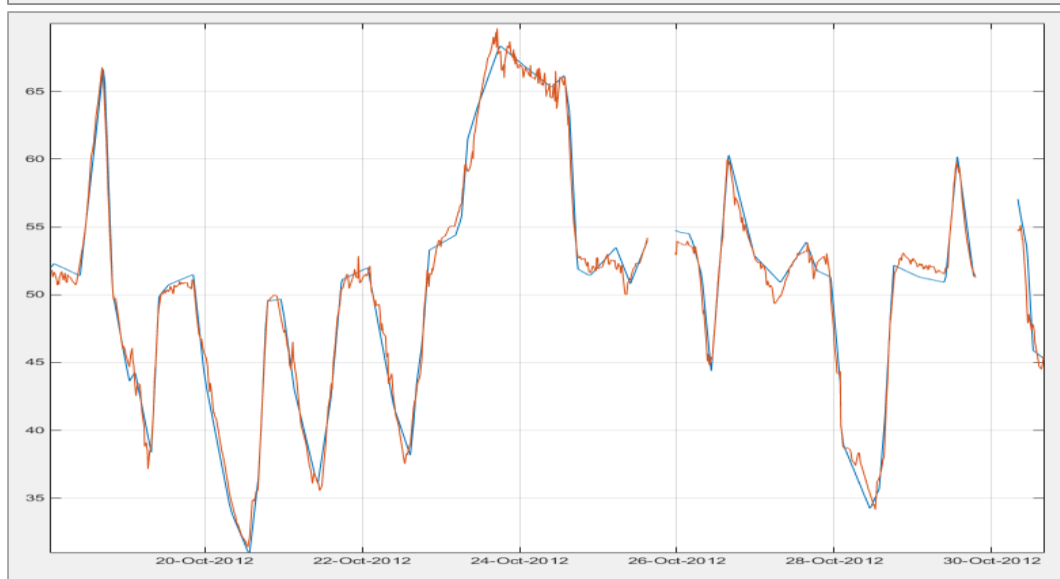




Definición de Indicadores de estado a partir de Modelos de comportamiento



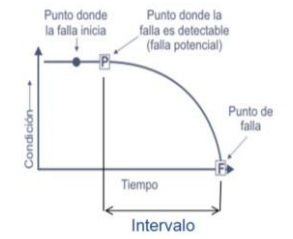
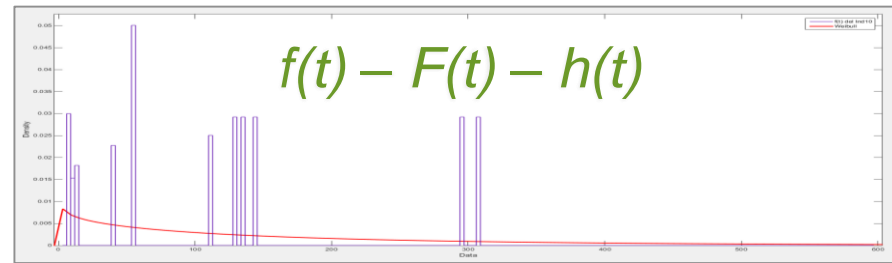
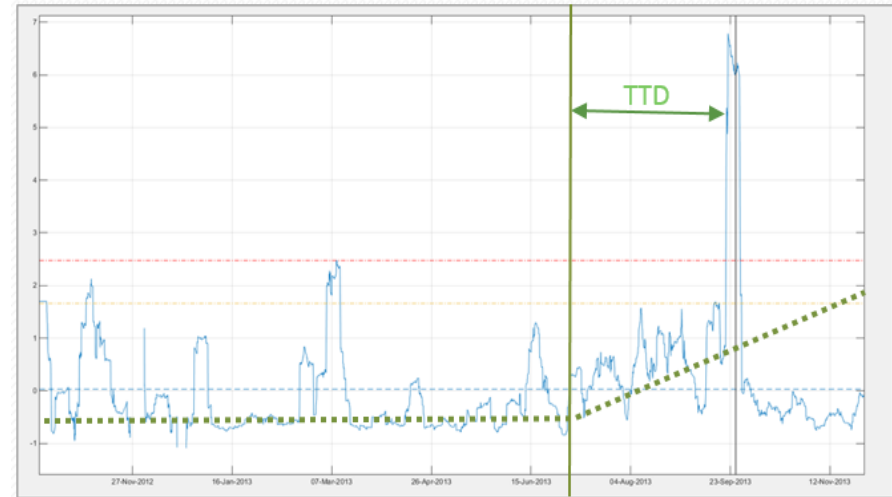
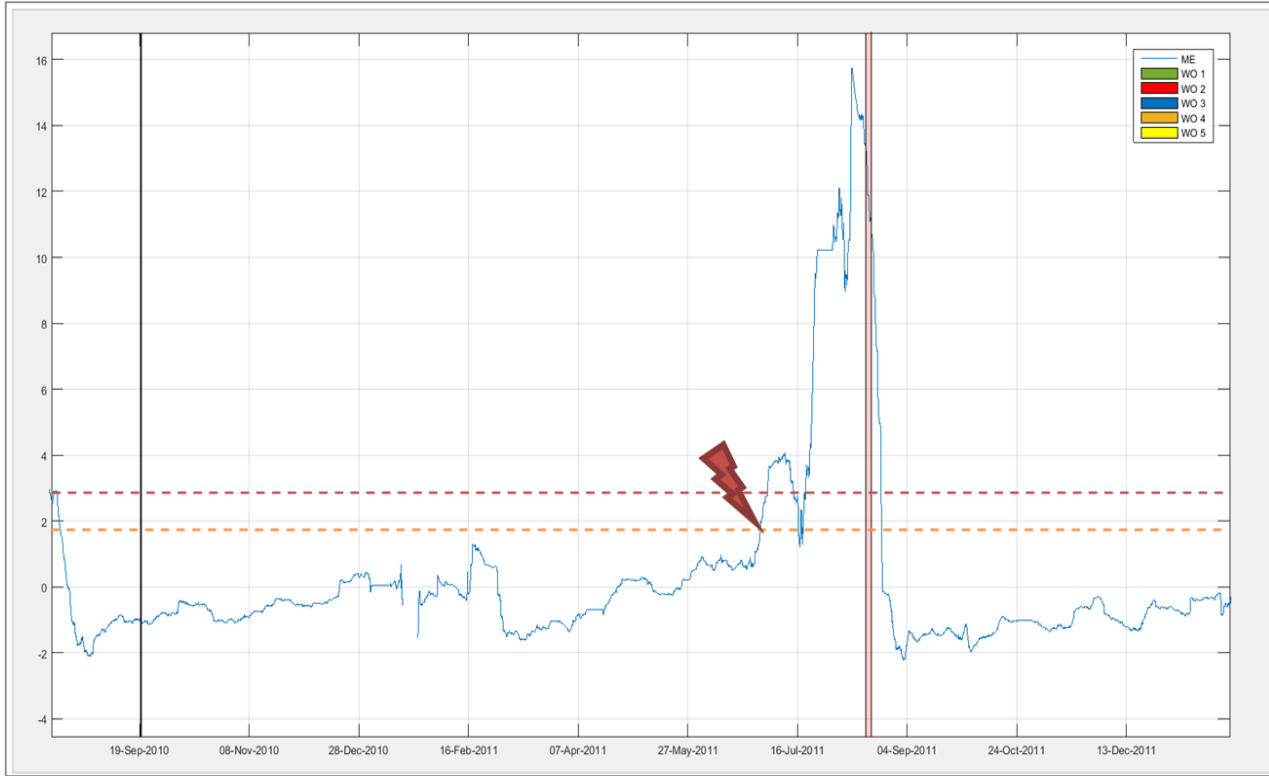
Primeras detecciones
Fallos vs Degradación





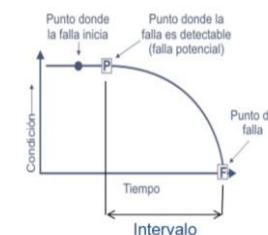
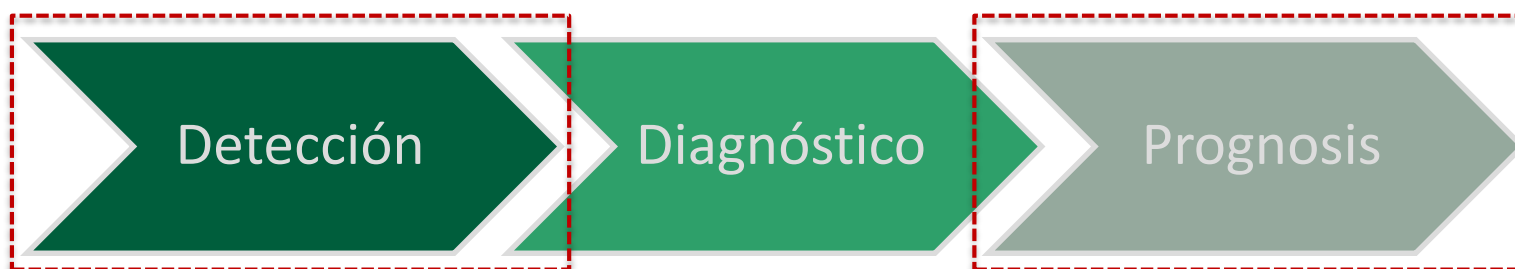
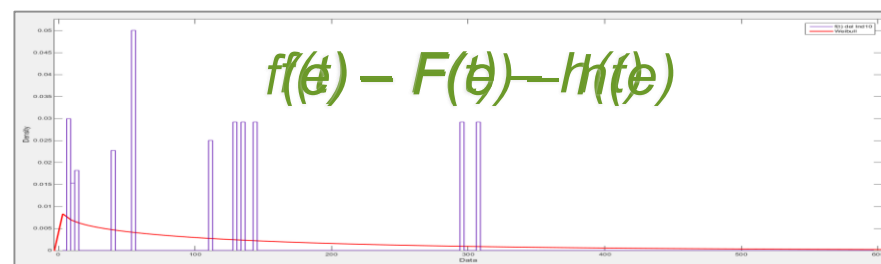
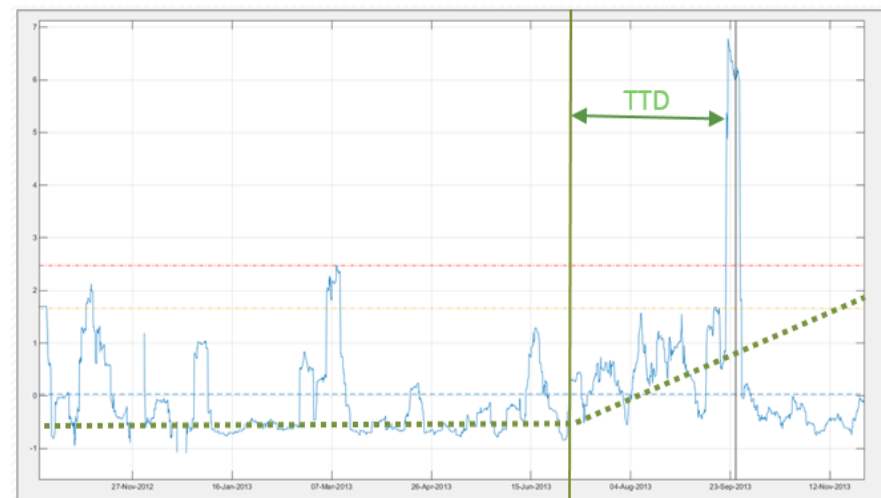
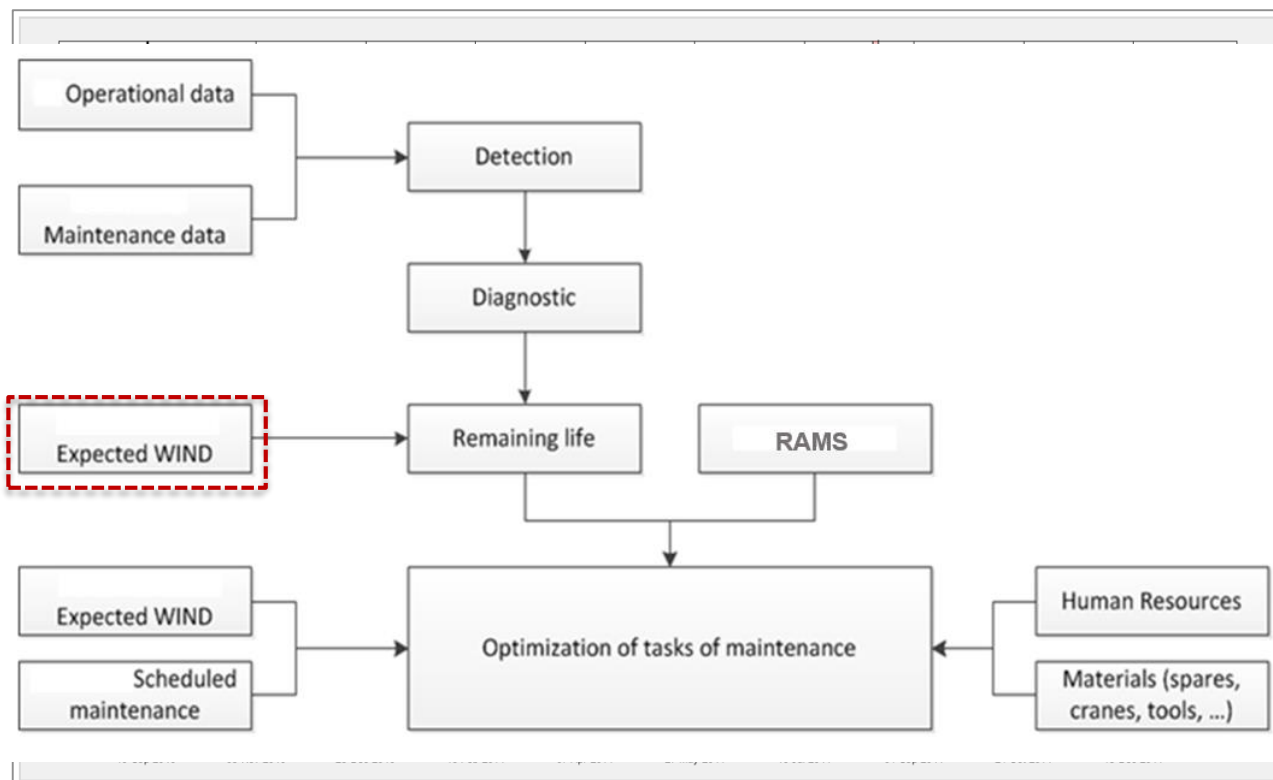
XVII Congreso de Confiabilidad

Demostración de la Funcionalidad: Capacidad de detección





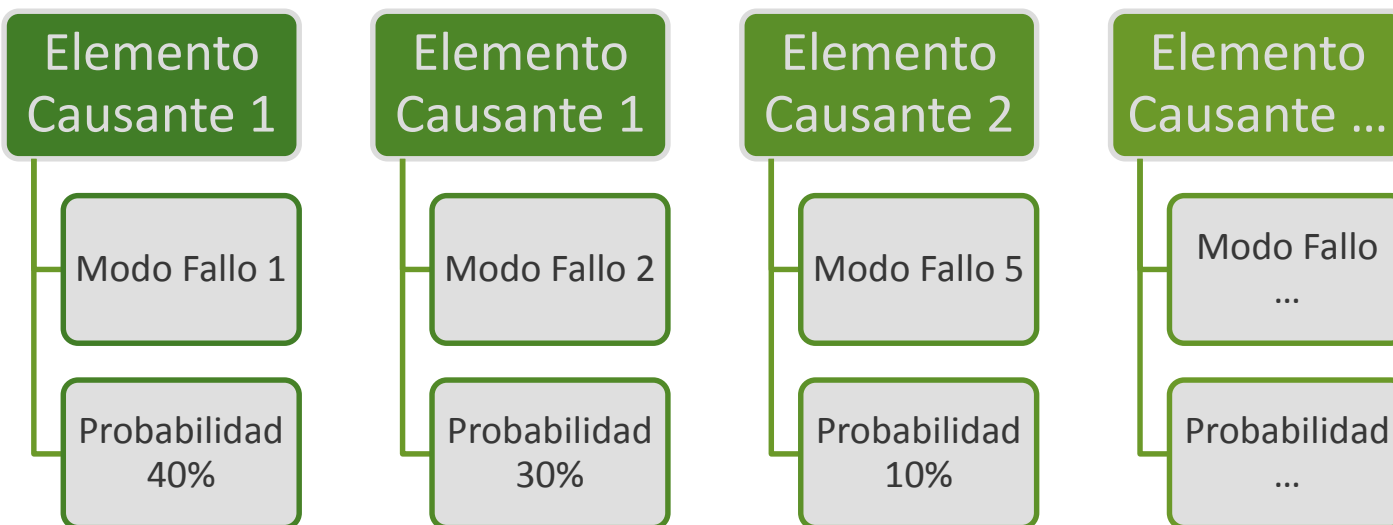
Demostración de la Funcionalidad: Capacidad de detección



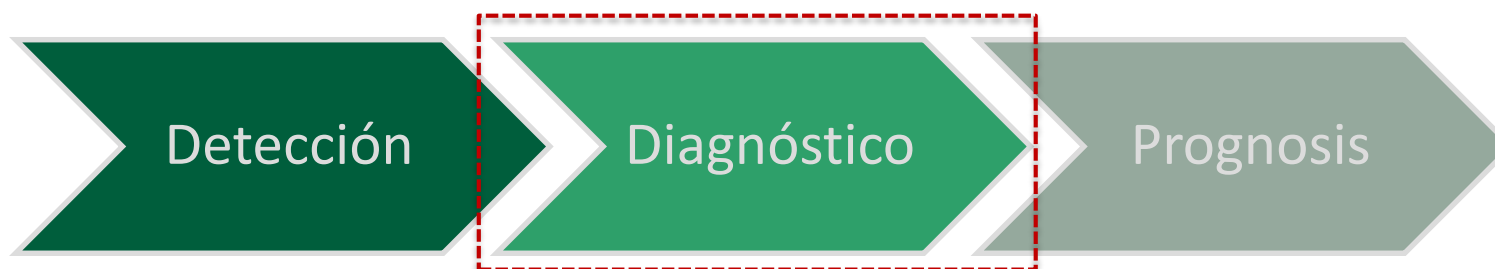


Diagnóstico de la Avería

¿Qué implica la avería Diagnosticada? Caracterización de las Averías (RAMS)



- Arboles de Clasificación y Redes Bayesianas
- KNN
- Lógica Fuzzy
- ...



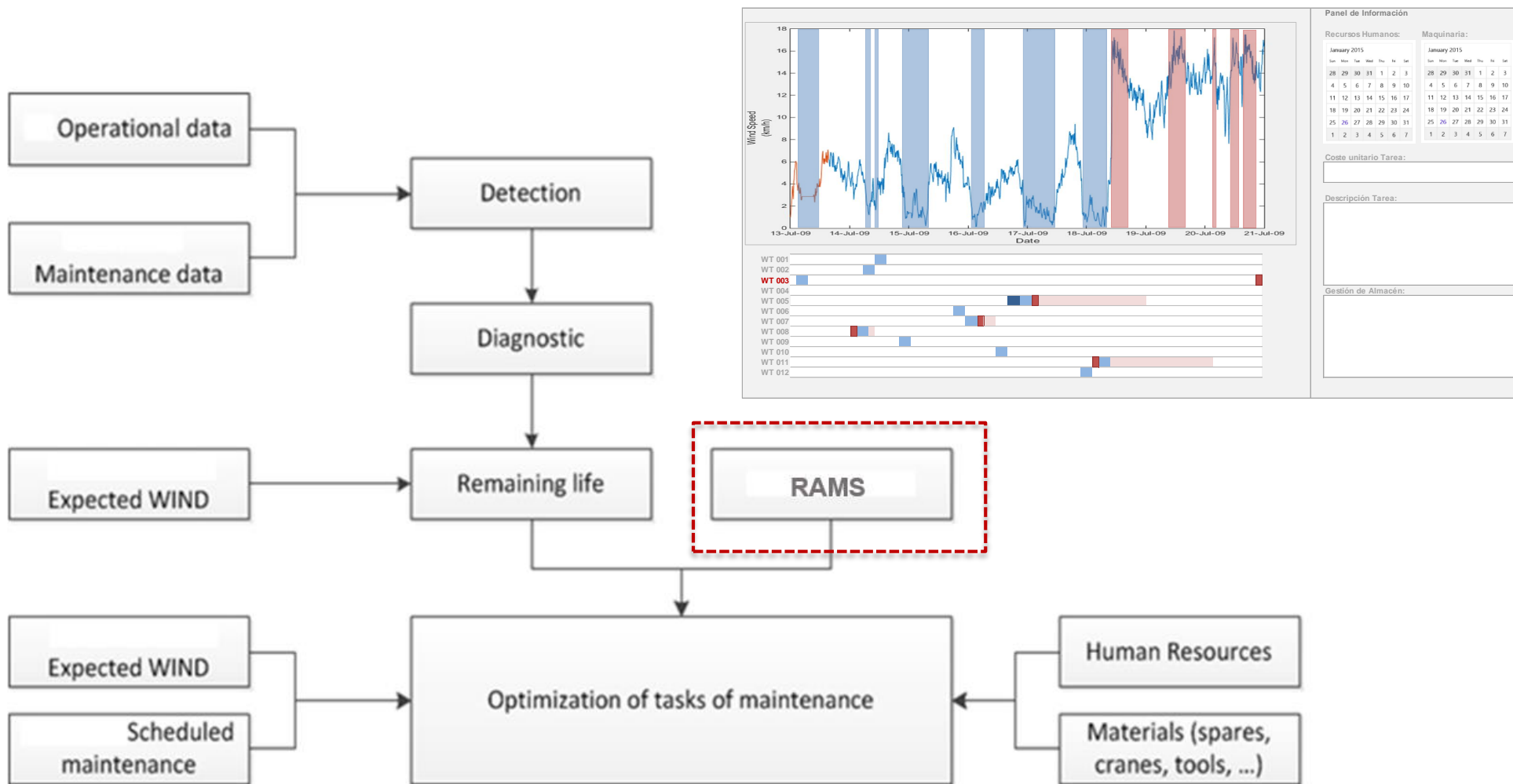


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías
 - **Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)**
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos

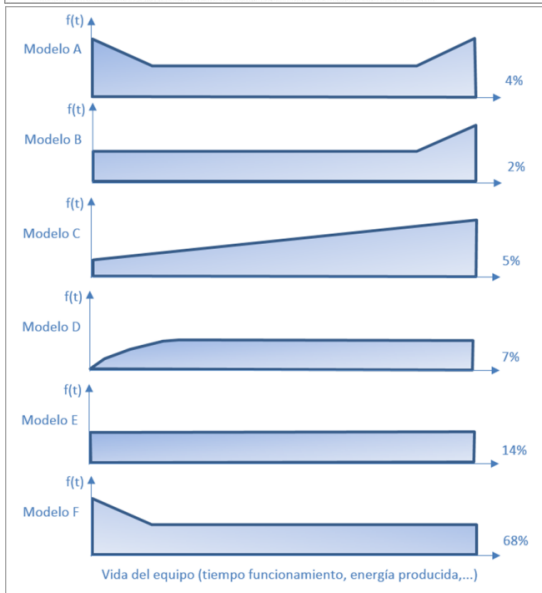
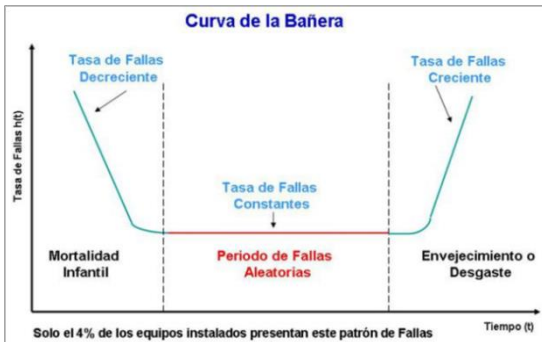


El Mantenimiento Industrial: Pasado, Presente y Futuro

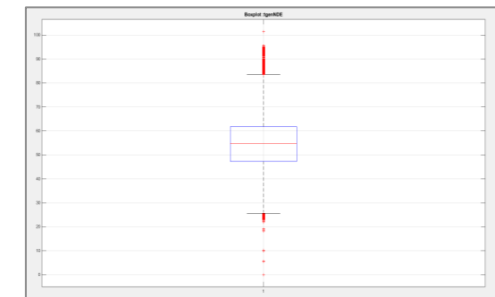
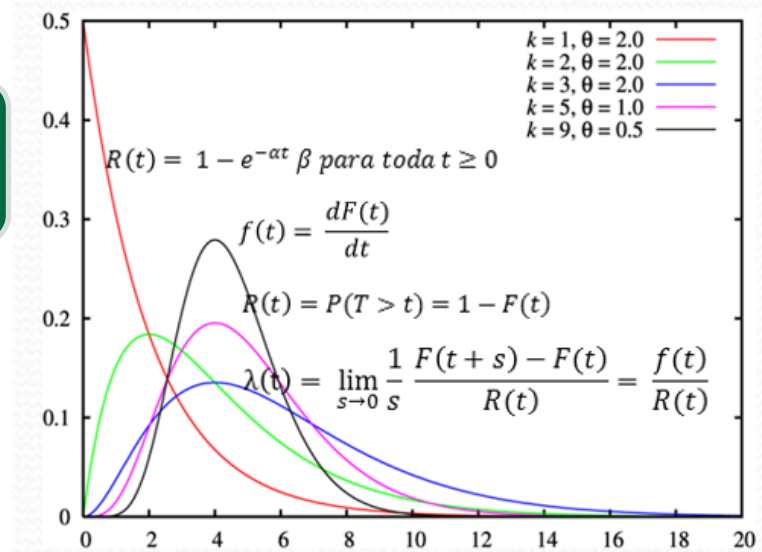
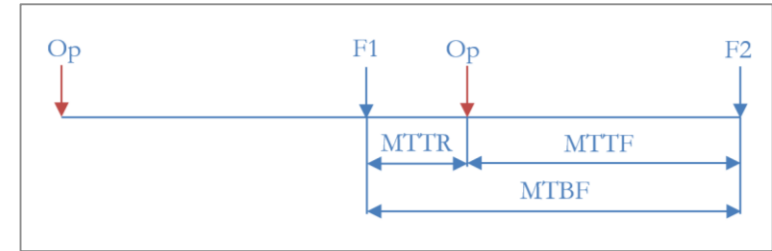
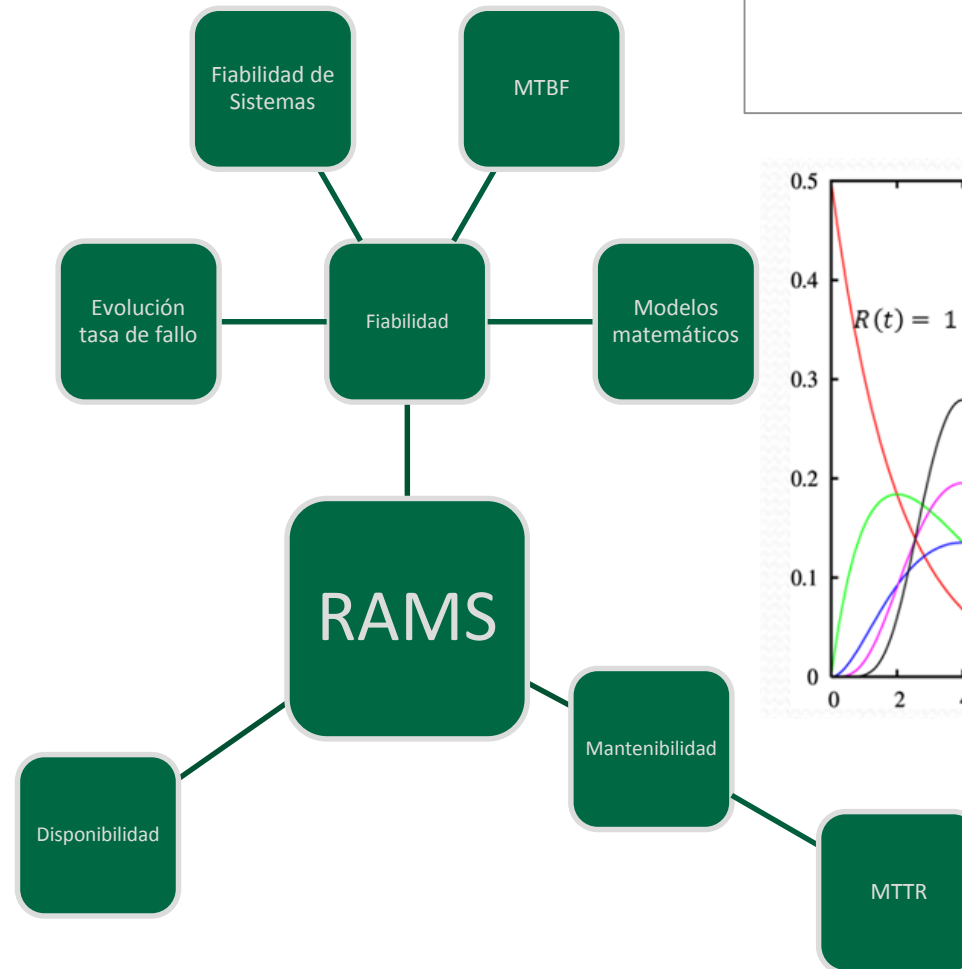




Utilización de técnicas de RAMS para la Caracterización de las averías

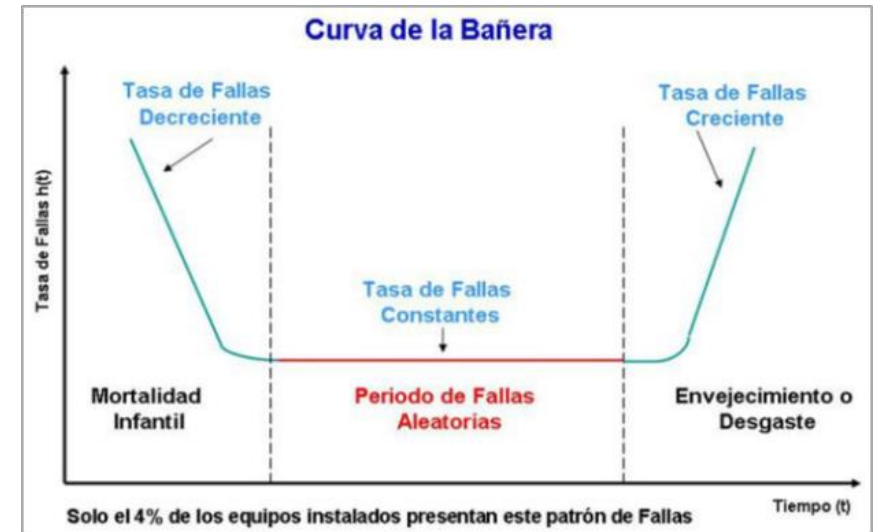
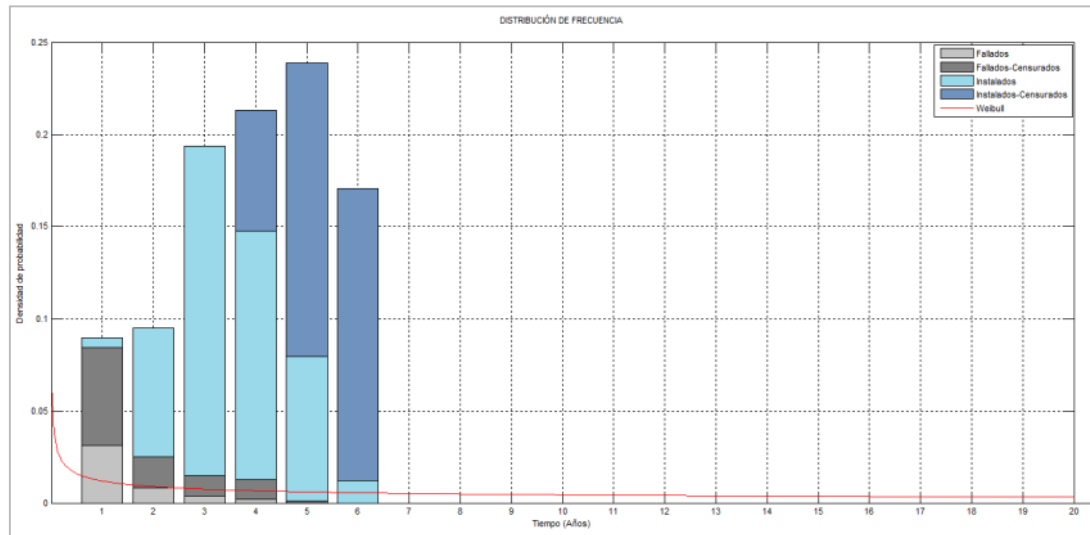


$$A = \frac{K \cdot MTBF}{K \cdot (MTBF + MTTR)} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$





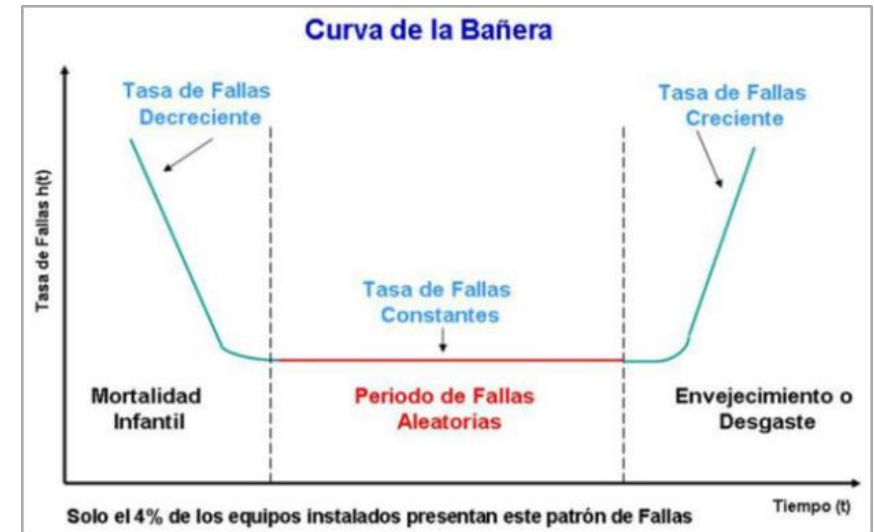
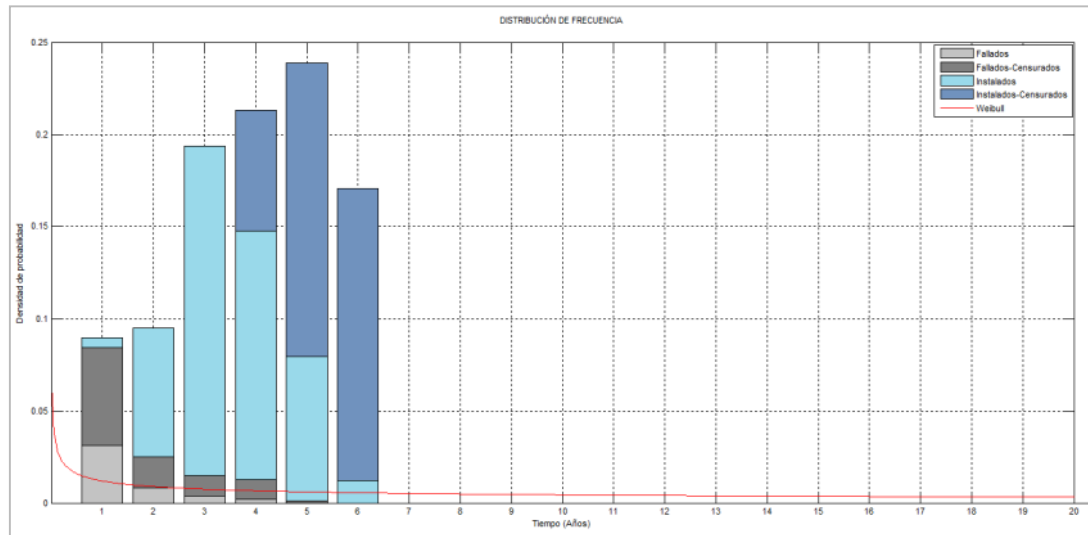
BigData en la caracterización de averías.



- **Estudios comparativos:** Reparaciones en taller, empresas de mantenimiento, comparativa entre fabricantes (selección de equipos más rentables), selección de estrategias de mantenimiento (fullservice, ...)
- **Ajuste de los planes de mantenimiento preventivo,** incluyendo las acciones mantenedoras para evitar los fallos más frecuentes.
- **Ajuste de inventario en almacenes** (reducción de coste financiero, materiales caducados u obsoletos).
- **Ajuste de presupuestos de mantenimiento.**
- **“Tunning de Aerogeneradores”** : Configuración “por componentes”



BigData en la caracterización de averías.



- Conocer la “importancia” de cada fallo :

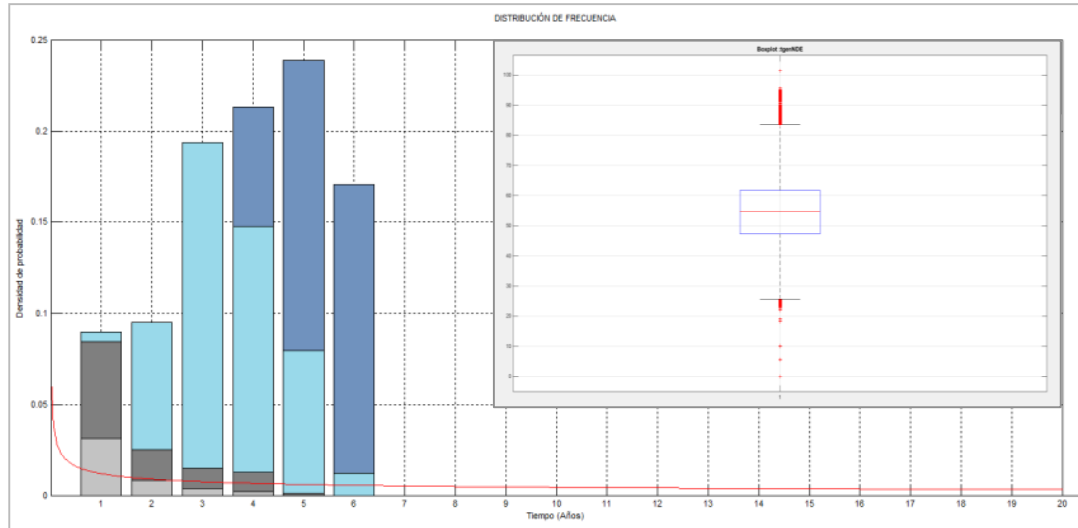
Podemos Priorizar a que aplicar CMS

Impacto = Coste x Frecuencia → Identificación de elementos críticos

- ¿Se puede evitar o disminuir frecuencia del fallo? → Proponer al tecnólogo corregirlo desde origen (MD)
- ¿Si no se puede evitar? ¿Se puede monitorizar su condición o hace falta Sensorica adicional ? → Aplicar técnicas monitorización de la condición.



BigData en la caracterización de averías.



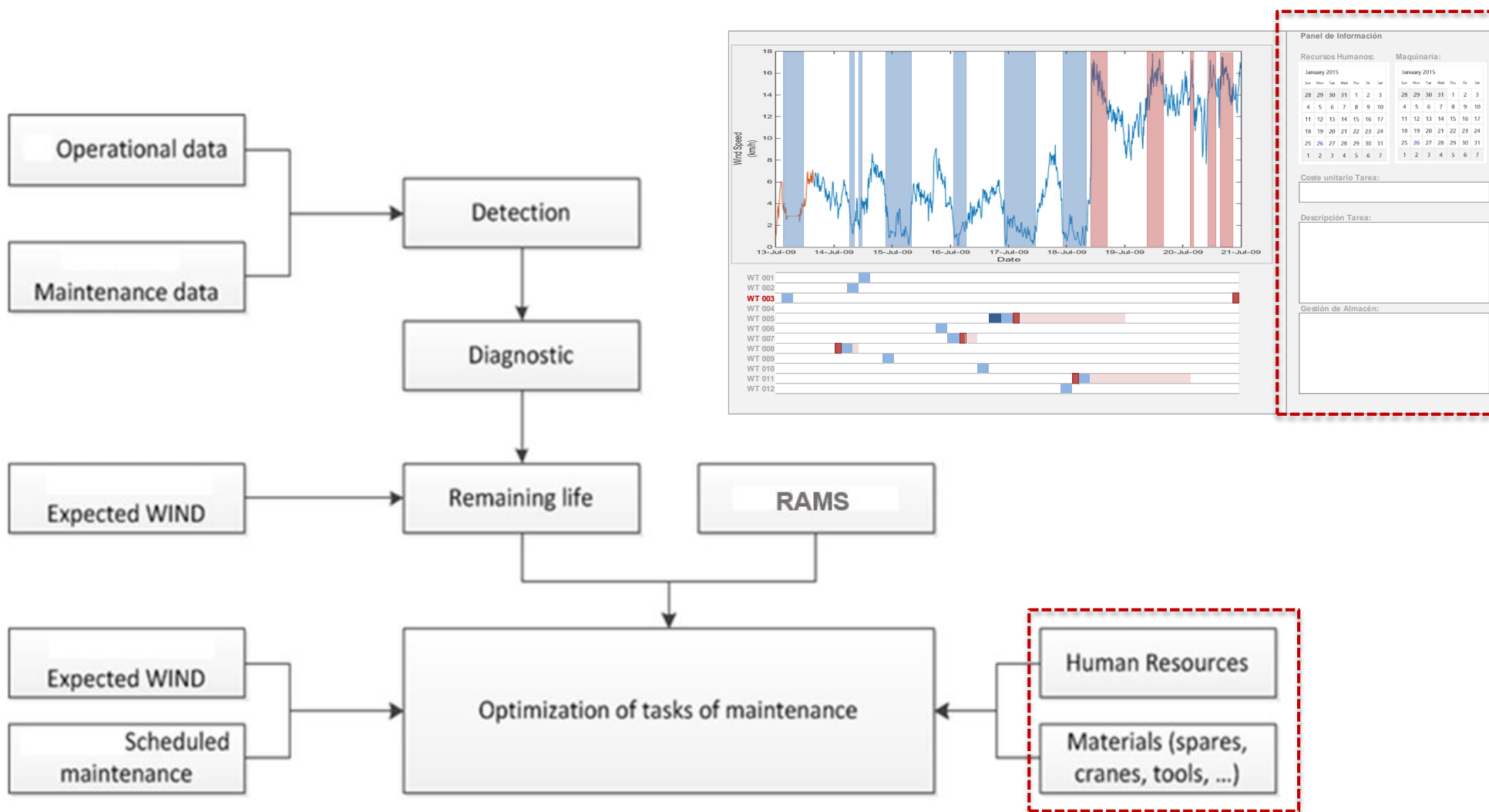
- Caracterizar las averías:

- **Tiempo medio reparación** de la Avería (media, desviación, percentiles,...).
- Conocer los **materiales** necesarios para la reparación.
- Conocer **maquinaria y herramienta**.
- Conocer **Recursos Humanos** necesarios.

Esto nos permite calcular Coste y Restricciones

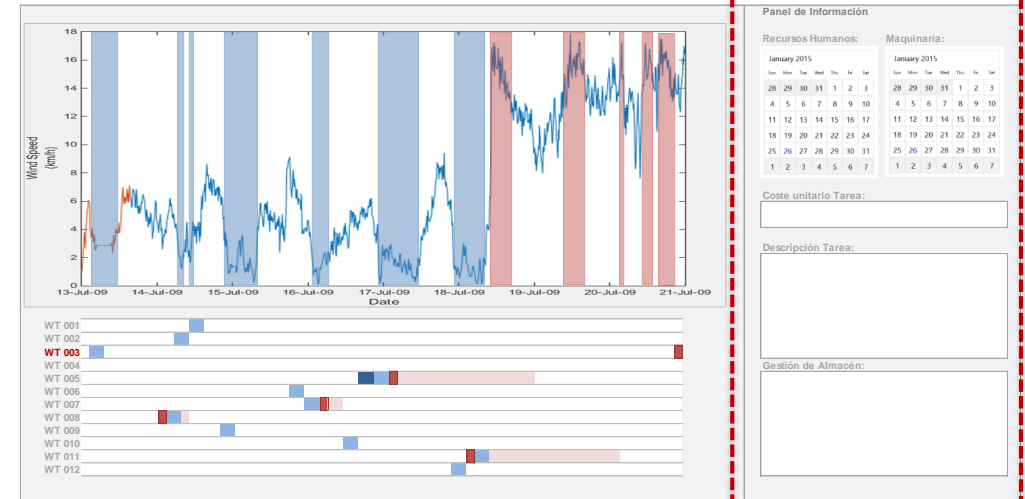
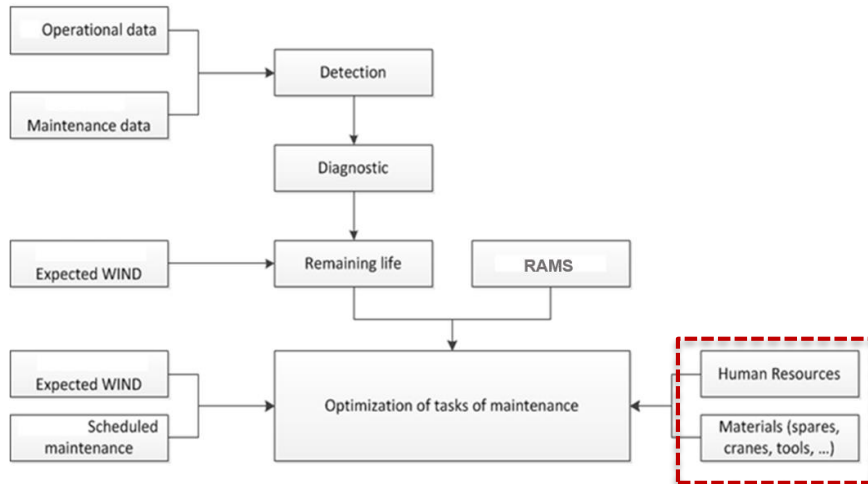


Definición de Restricciones a partir de los recursos





Definición de Restricciones a partir de los recursos



- Restricciones de recursos:

- ¿Tenemos los materiales necesarios para la reparación?
 - Sí: Podría comenzar la reparación hoy mismo.
 - No: ¿Cuál es el tiempo medio de suministro? (T_{ini})
- ¿Tengo la **maquinaria y herramienta** necesarias?
 - Sí: Podría comenzar la reparación hoy mismo.
 - No: ¿Cuál es el tiempo medio de suministro? (T_{ini})
- ¿Tengo los **Recursos Humanos** necesarios? ¿Puedo hacer uso de Cuadrillas Extra? (Sobre coste)

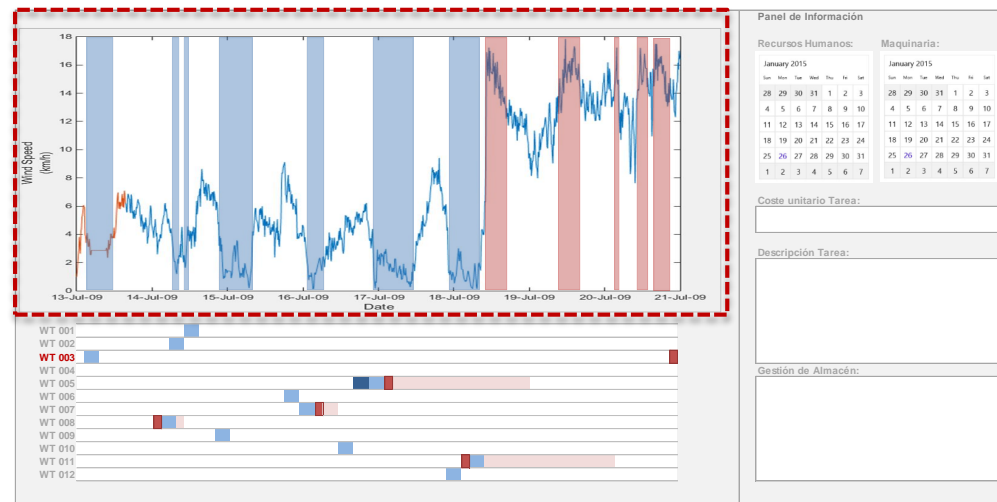
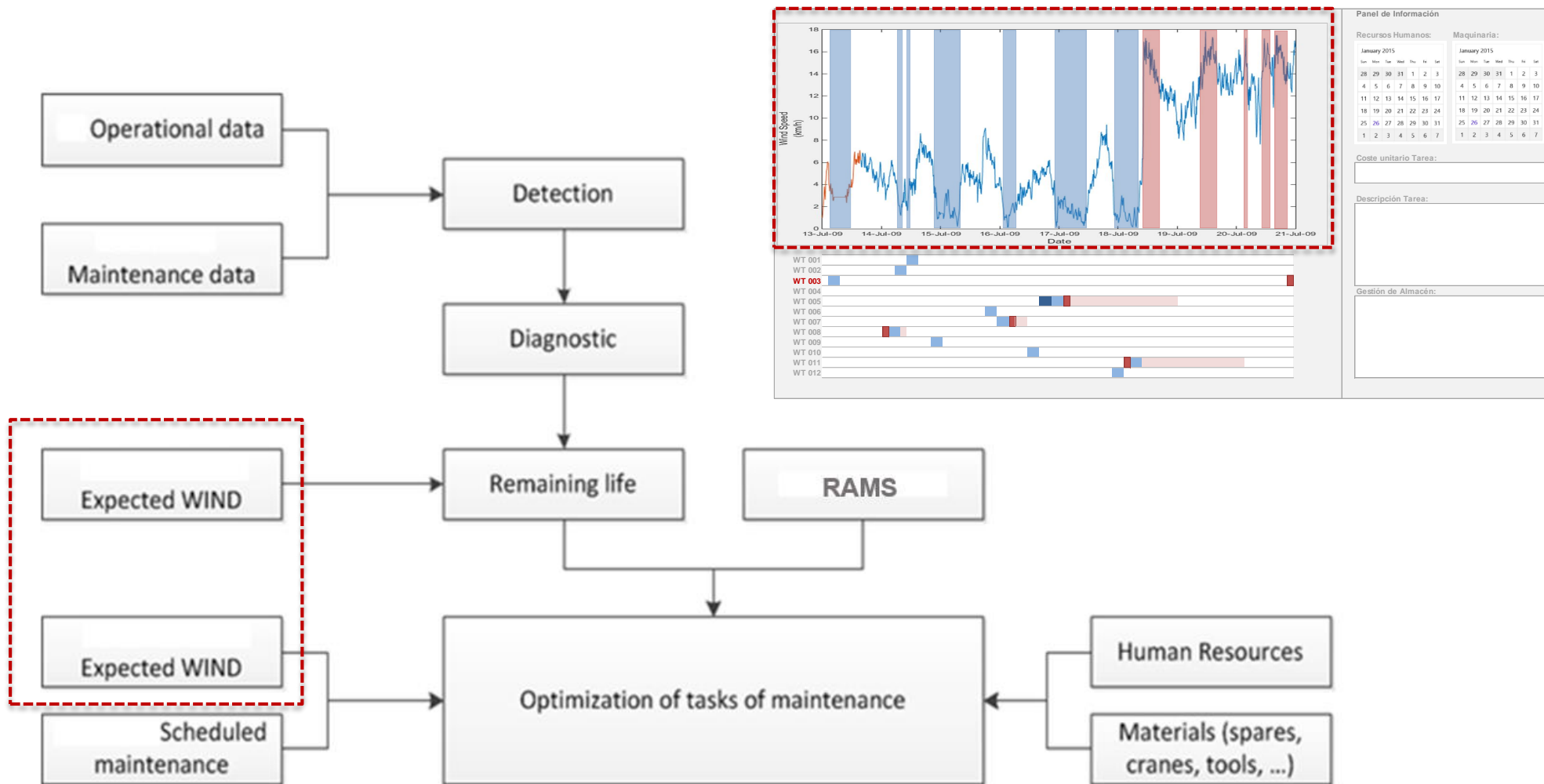


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - **Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)**
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos



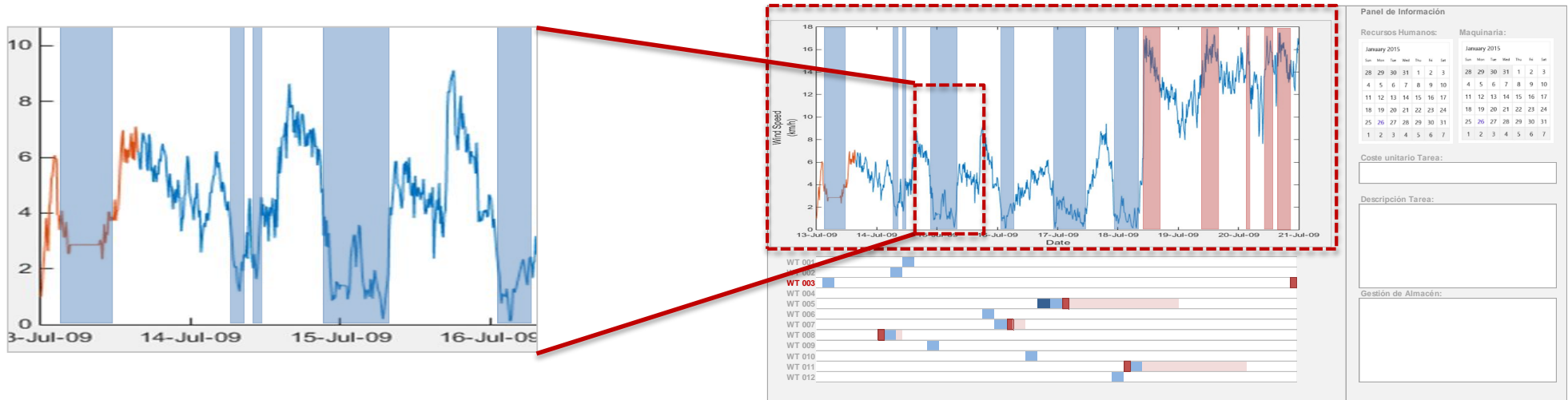
Definición de Restricciones por Recurso eólico y marítimo





Definición de Restricciones por Recurso eólico y marítimo

- ¿Cuál es el mejor momento para realizar el mantenimiento? Coste por Energía Perdida.



- Restricciones de acceso:
 - ¿Las condiciones de viento permiten ejecutar el mantenimiento?
 - ¿Se puede acceder al emplazamiento?
 - ¿La altura de ola permite acceder con las embarcaciones disponibles?
 - ¿Hay otros elementos adversos como hielo, niebla, viento elevado,...
 - ¿Cuánto tiempo tengo que esperar hasta poder tener una ventana de acceso suficiente para realizar el mantenimiento?

$$T_{\text{intervención}} = T_{\text{preparación}} + T_{\text{acceso}} + T_{\text{actuación}} + T_{\text{retorno}}$$

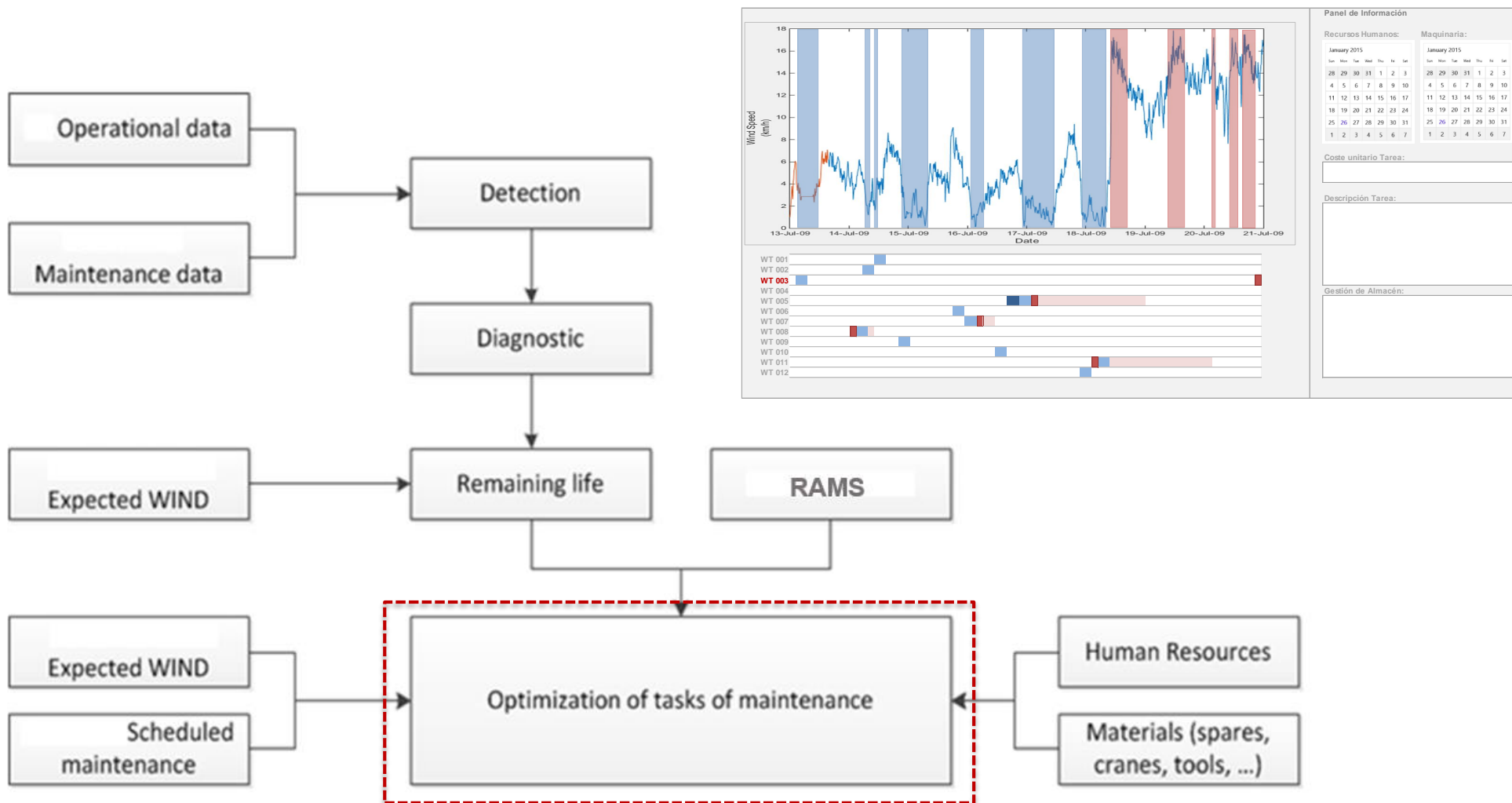


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmo y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías-
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - **Sistema optimizador del plan de mantenimiento**
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- Futuros trabajos

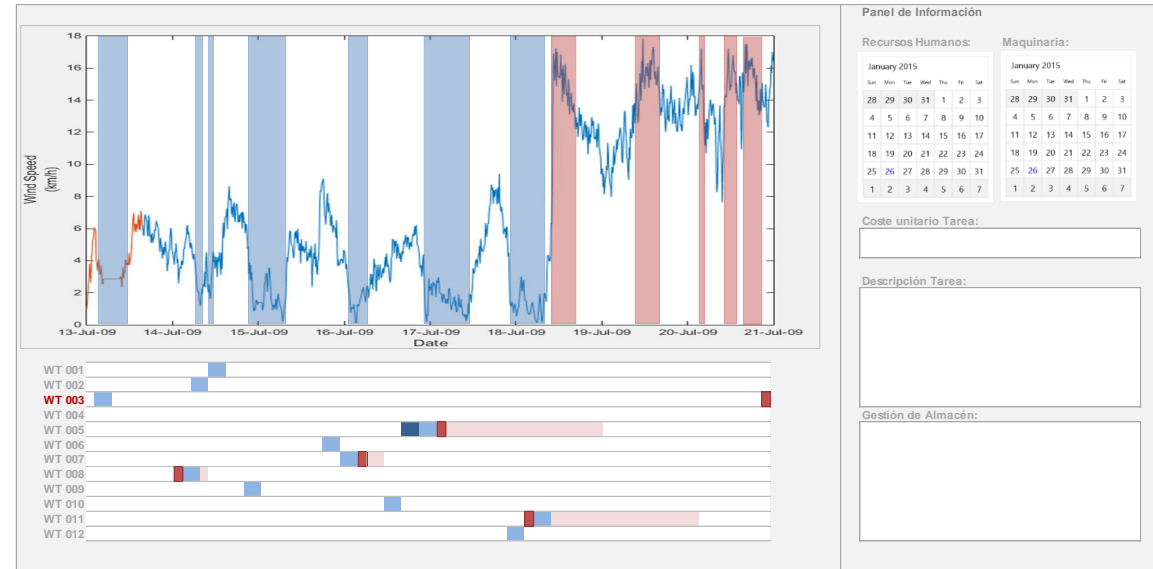
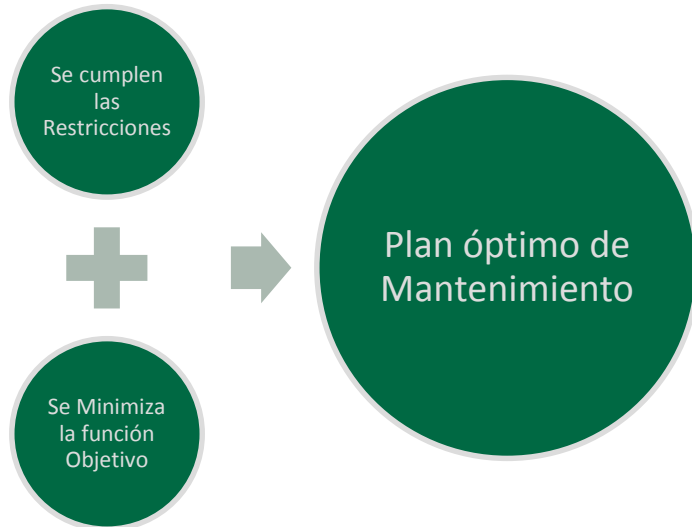


Sistema de Optimización de Planes de mantenimiento Dinámico





Bloque de Optimización en base a Algoritmos genéticos

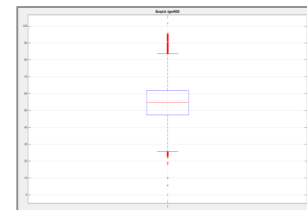


- Función Objetivo
 - Minimización del Coste del plan Global

$$Coste_{Total} = \sum_{n=1}^m C_{tarea\ n} = \sum_{n=1}^m (C_{RRHH\ n} + C_{Materiales\ n} + C_{Energía\ n})$$

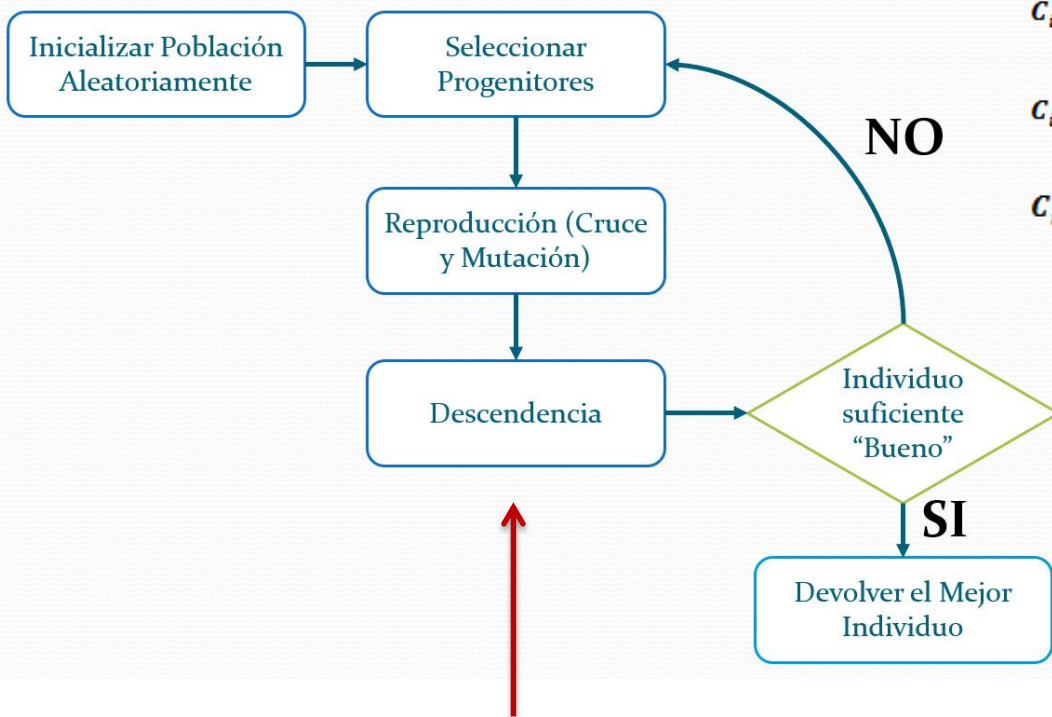
- Minimización de la función Coste/Criticidad

$$F_{Objetivo} = \sum_{n=1}^m (C_{tarea\ n} + I_{tarea\ n}) = \sum_{n=1}^m (C_{tarea\ n} + P_{tarea\ n} \times D_{tarea\ n})$$





Bloque de Optimización en base a Algoritmos genéticos



$$C_i = C_h (t_h - t_{extra} - t_{pers} \cdot n_{pers}) + C_{extra} \cdot t_{extra} + C_{pers} \cdot t_{pers} \cdot n_{pers} + C_{des} \cdot d_{des} \cdot n_{pers}$$

$$C_i = C_h (t_h - t_{extra} - t_{pers} \cdot n_{pers}) + C_{extra} \cdot t_{extra} + C_{pers} \cdot t_{pers} \cdot n_{pers} + C_{des} \cdot d_{des} \cdot n_{pers}$$

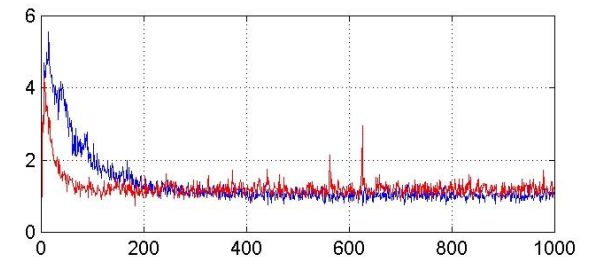
$$C_i = 8 (16 - t_{extra} - t_{pers} \cdot n_{pers}) + 16 \cdot t_{extra} + 12 \cdot t_{pers} \cdot n_{pers} + 2 \cdot 40 \cdot n_{pers}$$

$$\begin{array}{l}
 t_{ex1} = [4 \quad 1 \quad 6] \\
 t_{ex2} = [0 \quad 3 \quad 2]
 \end{array}
 \xrightarrow[p_{c1}=2]{p_{c2}=3}
 \begin{array}{l}
 t_{p1} = [4 \quad 1 \quad 6] \\
 t_{p2} = [0 \quad 3 \quad 2]
 \end{array}
 \xrightarrow{\quad}
 \begin{array}{l}
 t_{h1} = [4 \quad 3 \quad 2] \\
 t_{h2} = [0 \quad 1 \quad 6]
 \end{array}$$

$$t_{exh1} = [4 \quad 3 \quad 2]$$

$$p_m = 0,3 \quad p_{mut} = 0,1$$

$$t_{exh1} = [4 \quad 1 \quad 2]$$



Comprobación de Restricciones



Índice

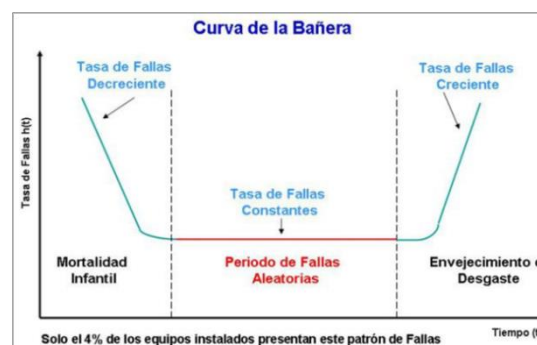
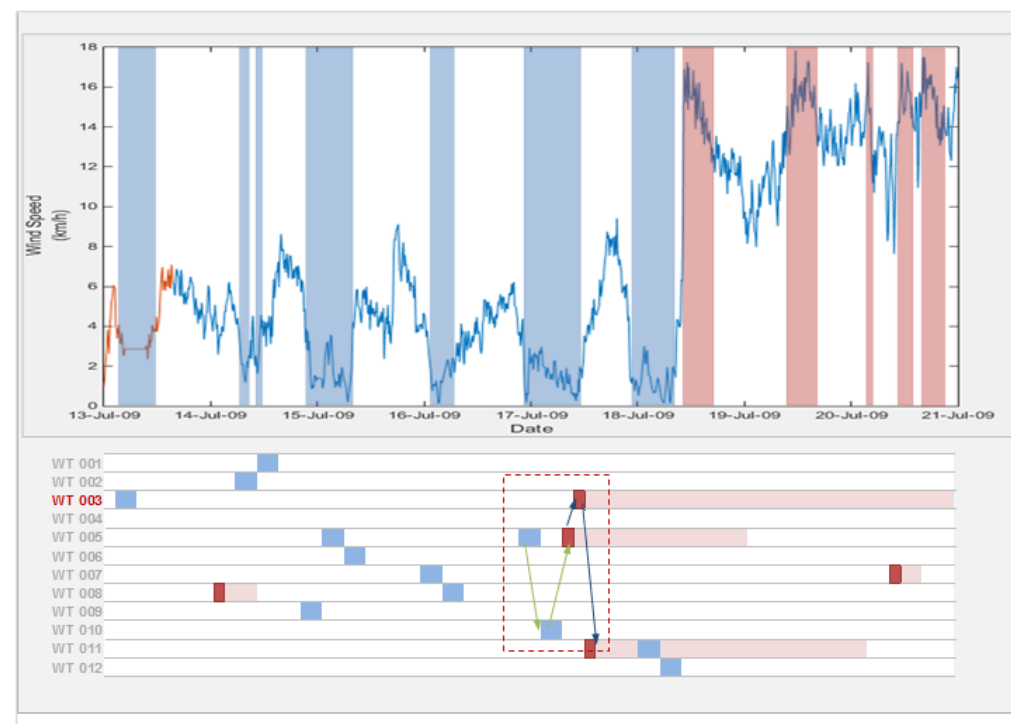
- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- **Primeros resultados obtenidos y Problemática**
- Futuros trabajos



Primeros Resultados: Optimizador de planes de mantenimiento Dinámico

Dificultades encontradas:

1. Tiempo de computación: 28 horas de cálculo para el plan de mantenimiento de un conjunto de parques con 100 OT. Ejecución en *Background (Offline)*. Proceso “Dinámico” y necesita un continuo “reajuste”.
2. Plan de mantenimiento resultante: Se observa que las restricciones consideradas no eran suficientes. ¿Podemos controlar toda la casuística posible?
 - a) Doble Actuación en el mismo equipo.
 - b) Horarios extremos, presión (peligrosidad).
 - c) Estado real de los accesos.
 - d) Diferentes políticas de operación.



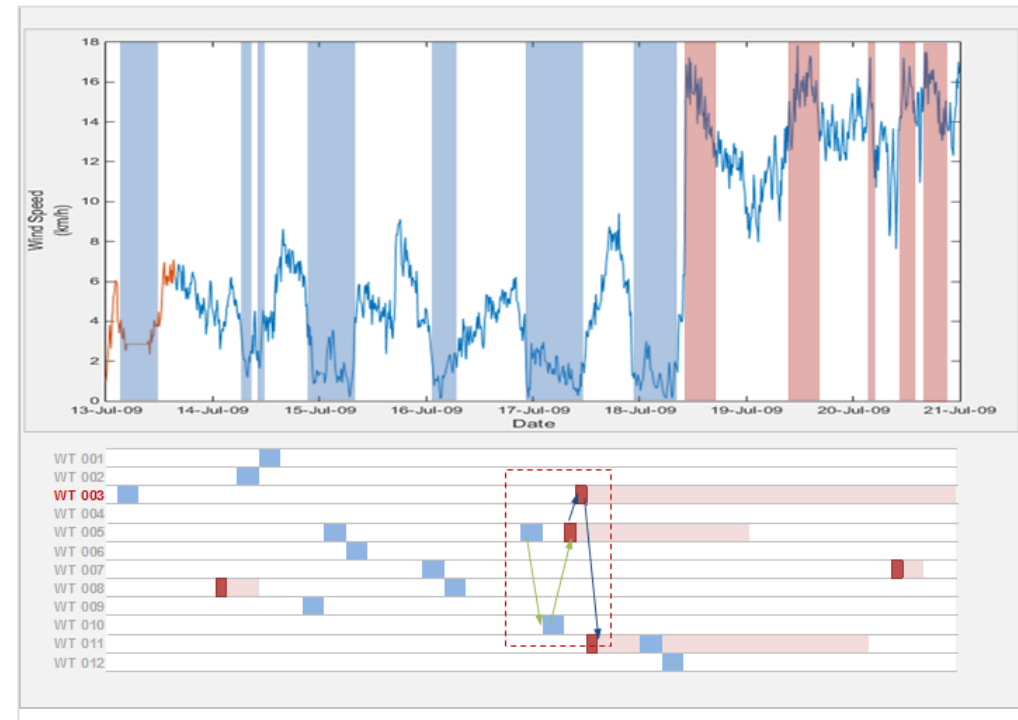


Primeros Resultados: Optimizador de planes de mantenimiento Dinámico

Dificultades encontradas:

3. Las consideraciones de entrada al algoritmo:

- Caracterización “Media” de las averías.
- Incertidumbre en la Detección, Diagnóstico y Prognosis.
- Caracterización de los procesos y casuística local.
- Caracterización del Recurso y las ventanas de acceso. ¿Puedo programar tareas a más de 2 semanas vista?
- Perdida de “control” económico de la explotación.



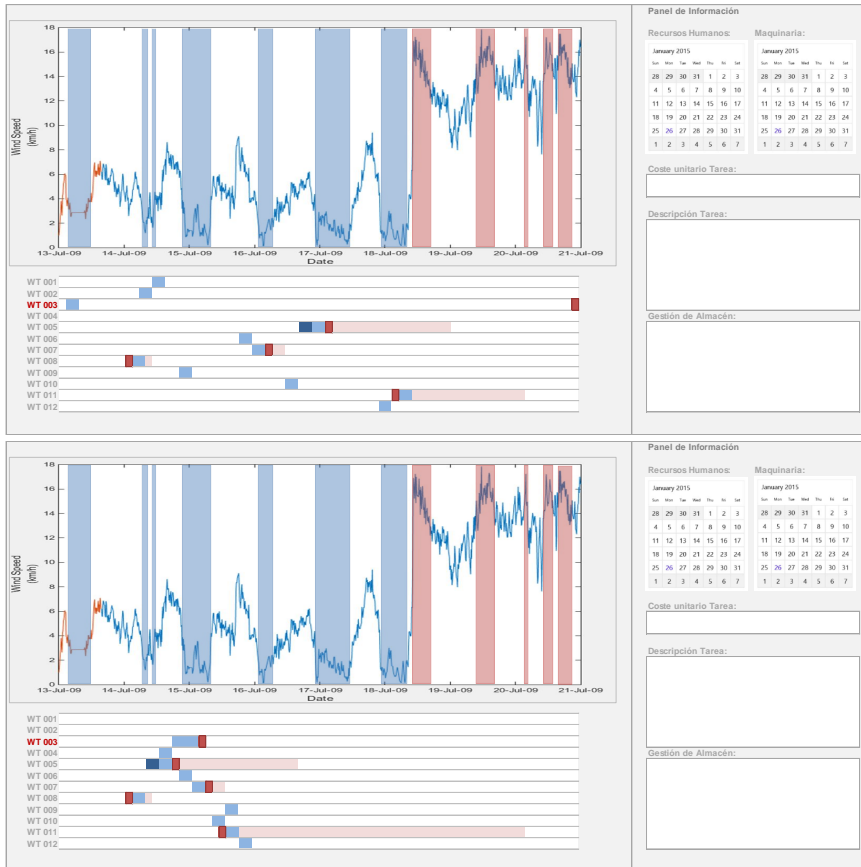


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción del Optimizador de Planes de Mantenimiento
- Descripción de los diferentes algoritmos y subprocesos
 - Sistema de Detección-Diagnóstico y Prognosis de averías
 - Sistema de Caracterización de Averías (RAMS)
 - Sistema de prognosis de recurso (eólico y marítimo)
 - Sistema optimizador del plan de mantenimiento
- Primeros resultados obtenidos y Problemática
- **Futuros trabajos**



Próximos pasos: Optimizador de planes de mantenimiento Dinámico Supervisado



Simplificación del problema:

- ¿Hace falta calcular un algoritmo tan exacto? Paquetizar y utilizar un conjunto de algoritmos clásicos en base a cálculo de restricciones y algoritmos eficientes en entornos altamente dinámicos.
- Desarrollar una aplicación que permita visualizar el estado real de la planta y toda la información asociada a las averías.
- Permitir al operador interactuar con el planificador. El Explotador conoce la casuística de su planta, y la herramienta le sirve para estar preparado.

En paralelo:

- **Es necesario avanzar en la implantación de procesos fiables y eficientes de detección, diagnóstico y prognosis.** Comenzando en el propio **tecnólogo**, ya que el diseño de los aerogeneradores tiene que evolucionar en gran medida hacia la mejora de su **fiabilidad, mantenibilidad y monitorización de la condición** del estado operativo de sus partes integrantes.



SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO DINÁMICOS EN INSTALACIONES EÓLICAS ONSHORE-OFFSHORE

(a) Miguel Ángel Rodríguez López, (b) Luis María López González, (a) Nuria López Triguero, (a) Ángel Marín Guillén y (a) Antonio José Fernández Pérez

Ingeniero Senior

(a) Iberdrola Ingeniería y Construcción SAU y (b) Universidad de La Rioja