

# SUPERVISIÓN REMOTA DE PARQUES EÓLICOS

Alberto Martínez Zabaleta

[linkedin.com/in/alberto-martinez-zabaleta](https://www.linkedin.com/in/alberto-martinez-zabaleta)



## Grupo Álava



INTRODUCCIÓN

POR QUÉ SUPERVISAR

QUÉ SUPERVISAR

CÓMO SUPERVISAR

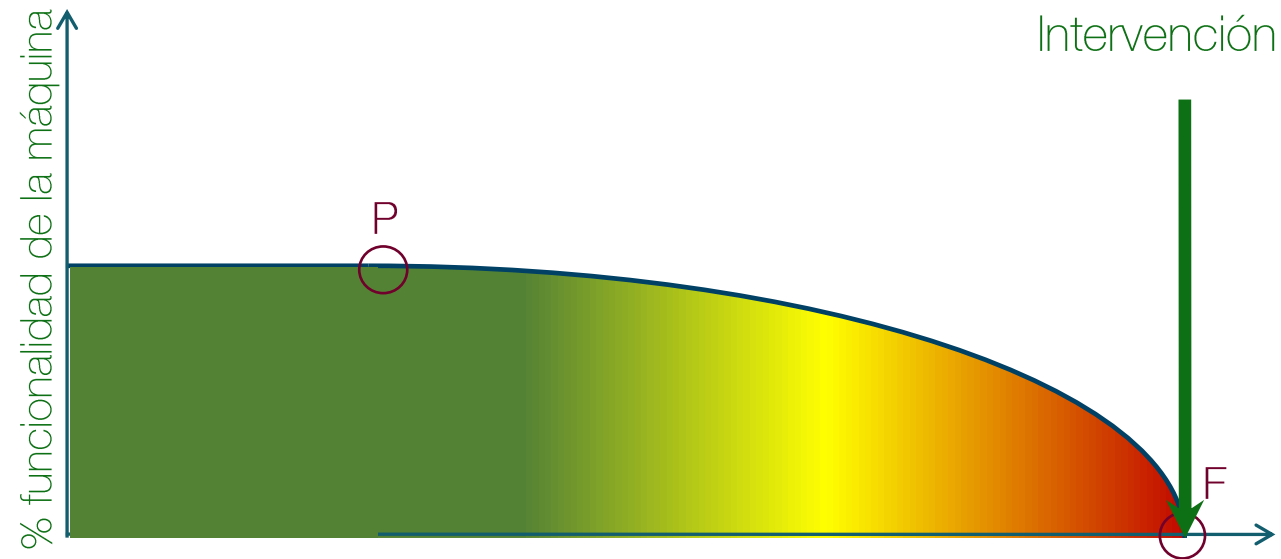
CONCLUSIONES

# INTRODUCCIÓN



# El Mantenimiento Correctivo

## Mantenimiento correctivo

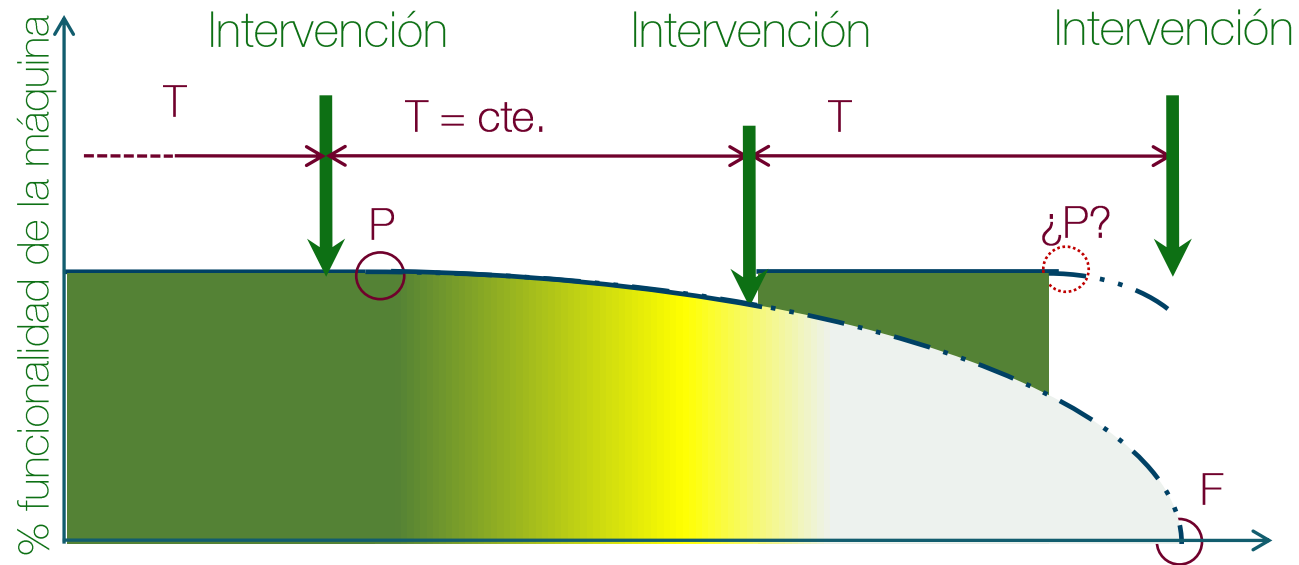


P: Aparición de la anomalía

F: Pérdida total de funcionalidad de la máquina

# Dio paso al Mantenimiento Preventivo

## Mantenimiento preventivo



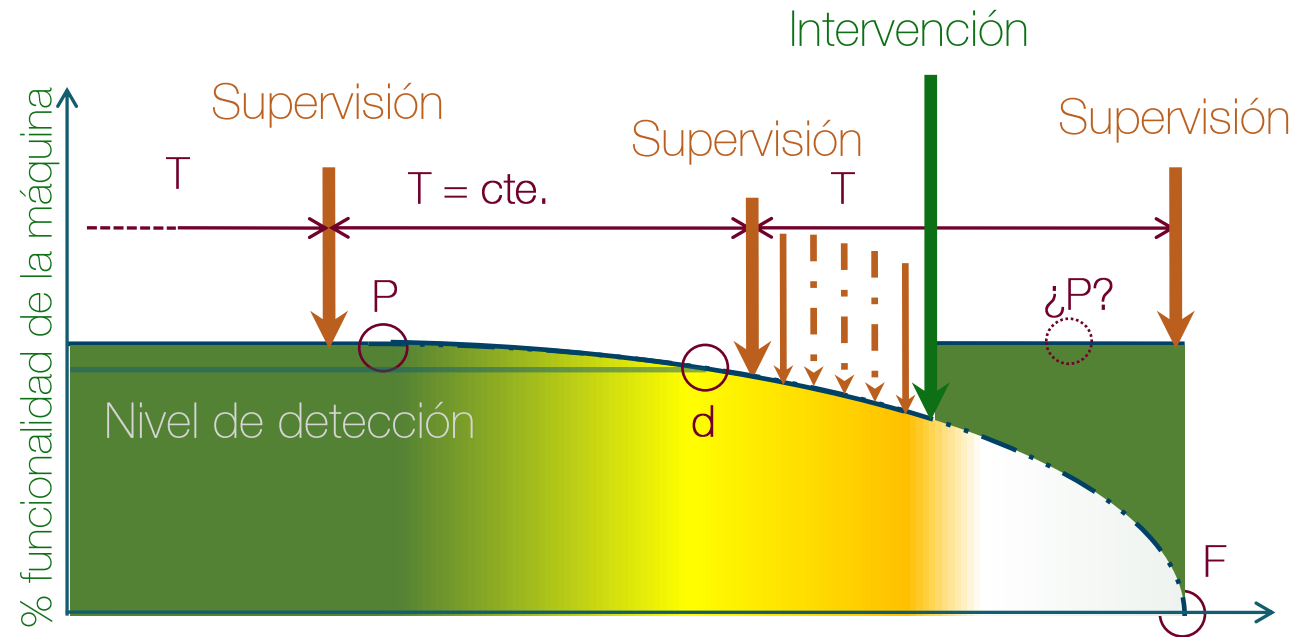
P: Aparición de la anomalía

F: Pérdida total de funcionalidad de la máquina

T: Tiempo entre intervenciones (fijo)

# Y al Mantenimiento Predictivo

## Mantenimiento predictivo



P: Aparición de la anomalía

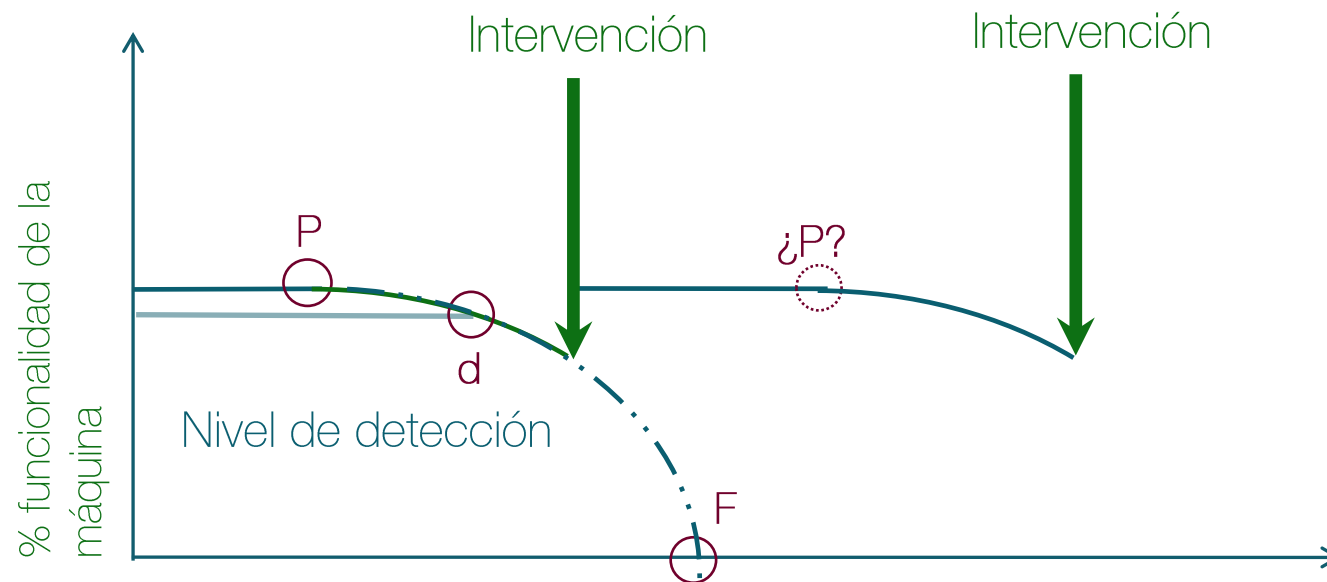
F: Pérdida total de funcionalidad de la máquina

T: Tiempo entre supervisiones (fijo)

d: Momento en que la anomalía sobrepasa el nivel de detección

# Hasta llegar al Mantenimiento Predictivo actual

## Mantenimiento por condición o predictivo avanzado



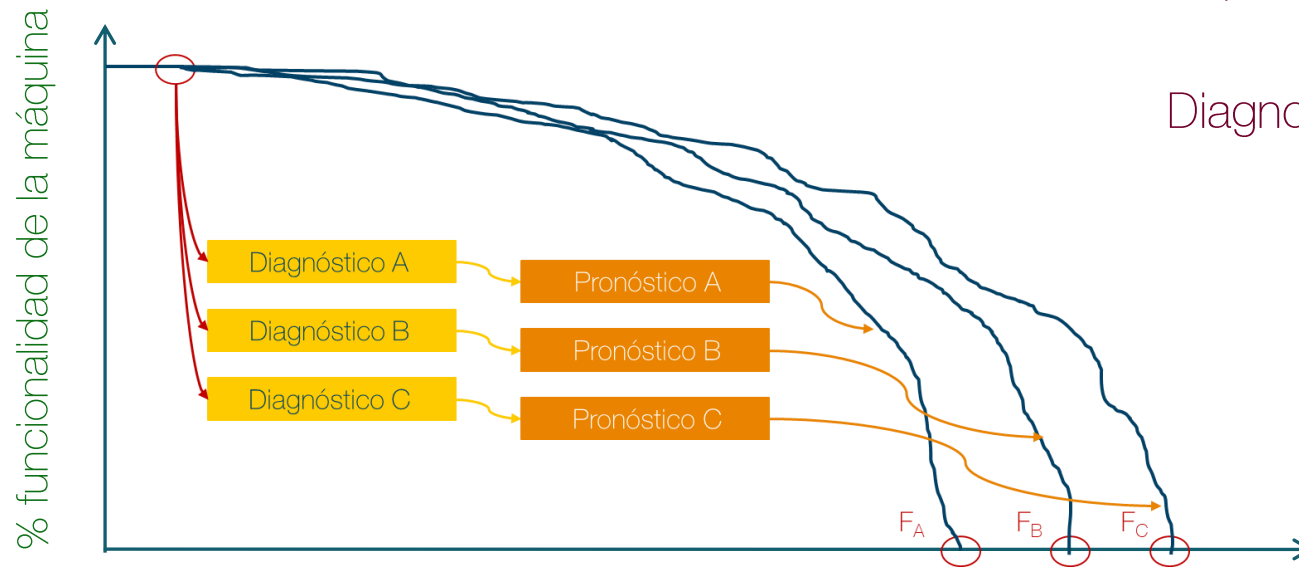
P: Aparición de la anomalía

F: Pérdida total de funcionalidad de la máquina

d: Momento en que la anomalía sobrepasa el nivel de detección

# Que está evolucionando hacia el Prescriptivo

## Prognosis



Supervisión = Detección + Diagnosis

Diagnosis + Pronóstico = Prognosis

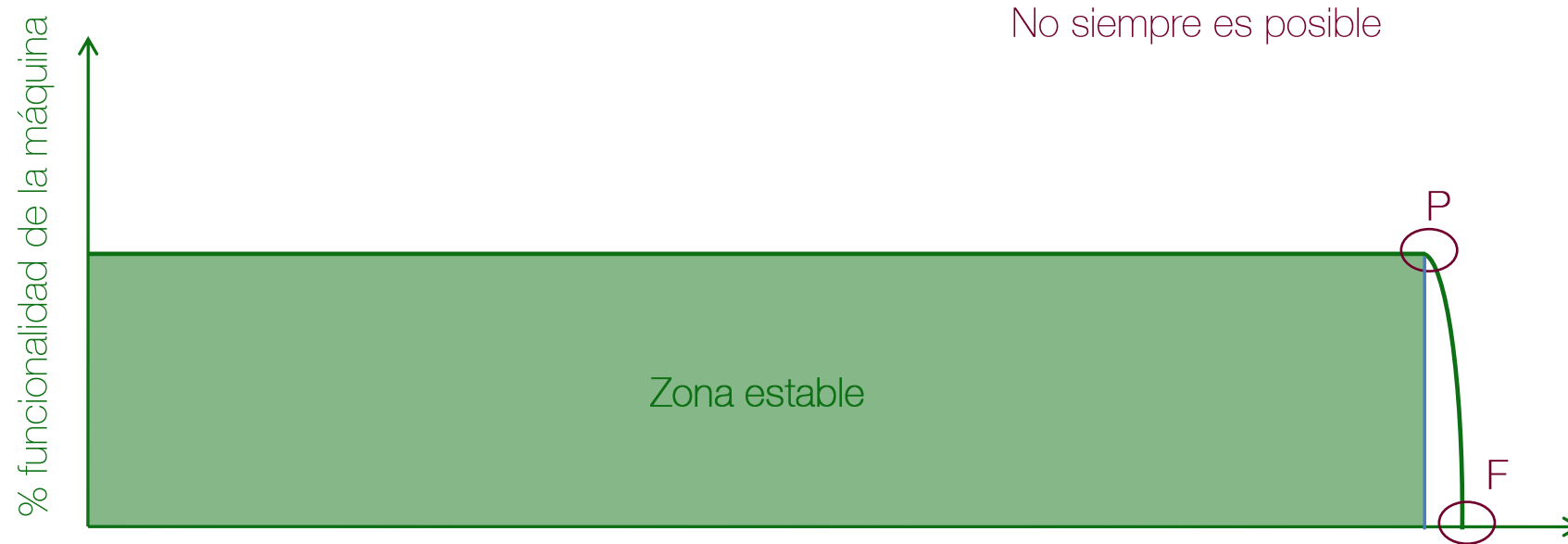


¿Prescriptivo?

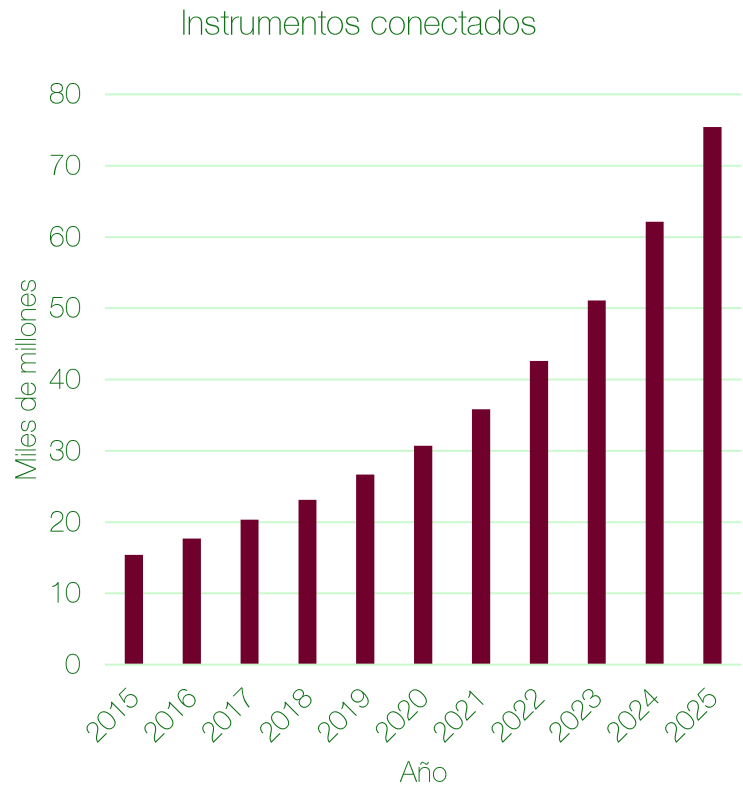


Aunque no siempre podremos aplicarlo

Mantenimiento por condición



# Es una evolución paralela a la tecnológica

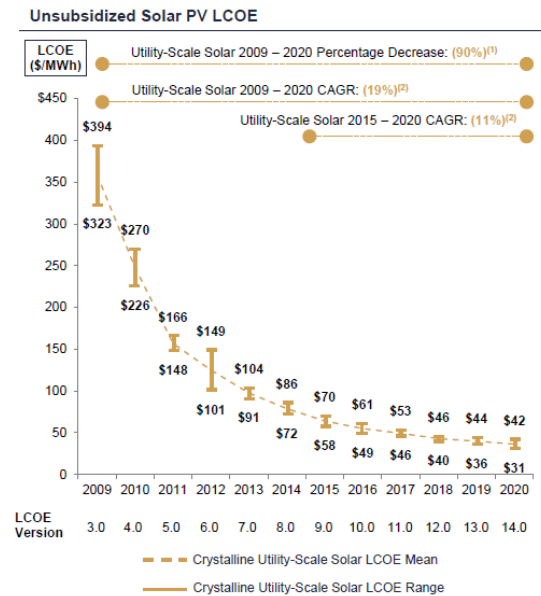
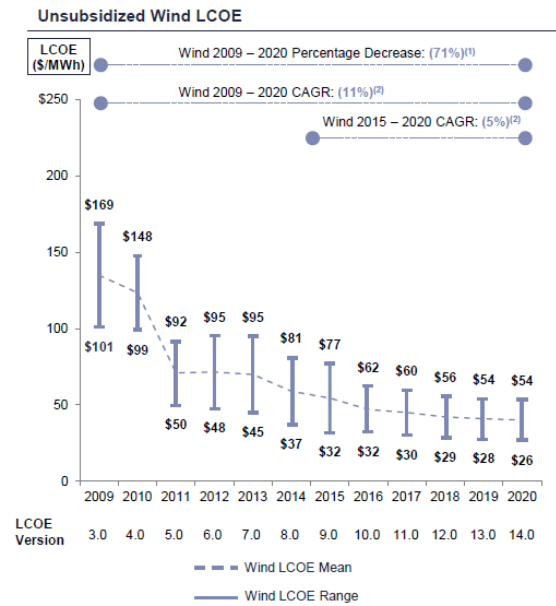


Fuente: Statista

Abaratamiento de costes de:

- Infraestructura de IT/OT
- Software de análisis avanzado
- Instrumentación

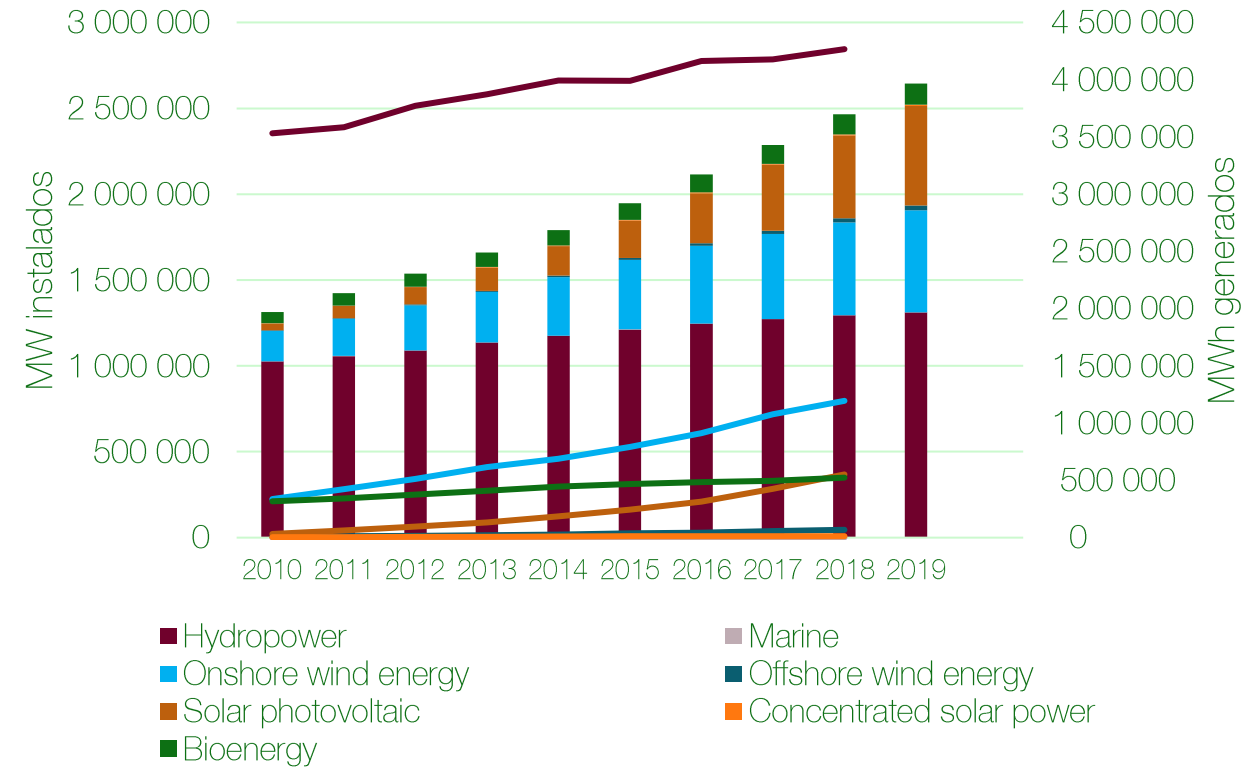
# E impulsada por el mercado



Fuente Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis - Version 14.0

CAGR: Compound Annual Growth Rate, Tasa de crecimiento anual compuesto

## Capacidad instalada y generación renovable anuales

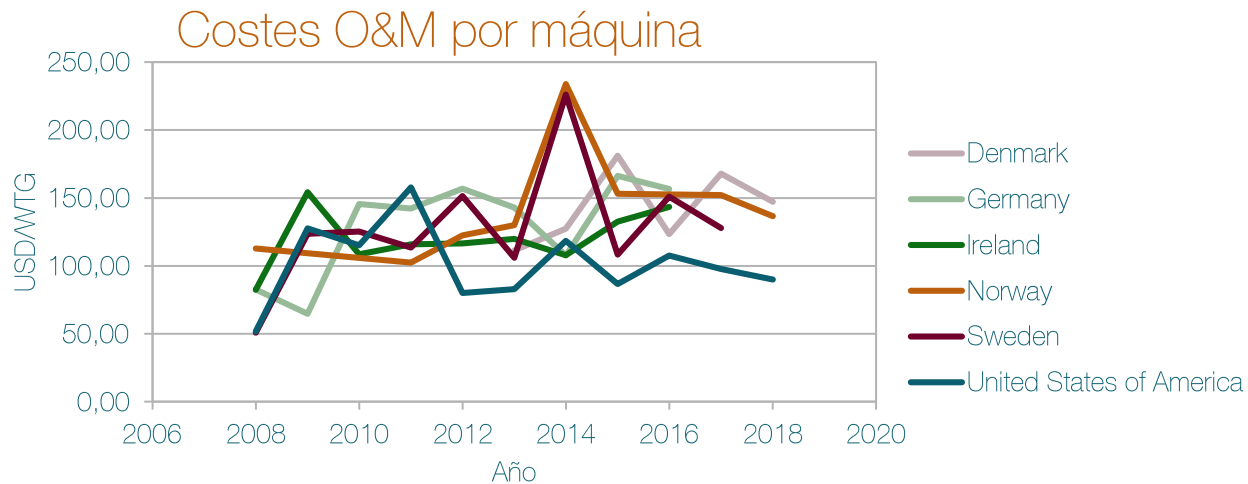
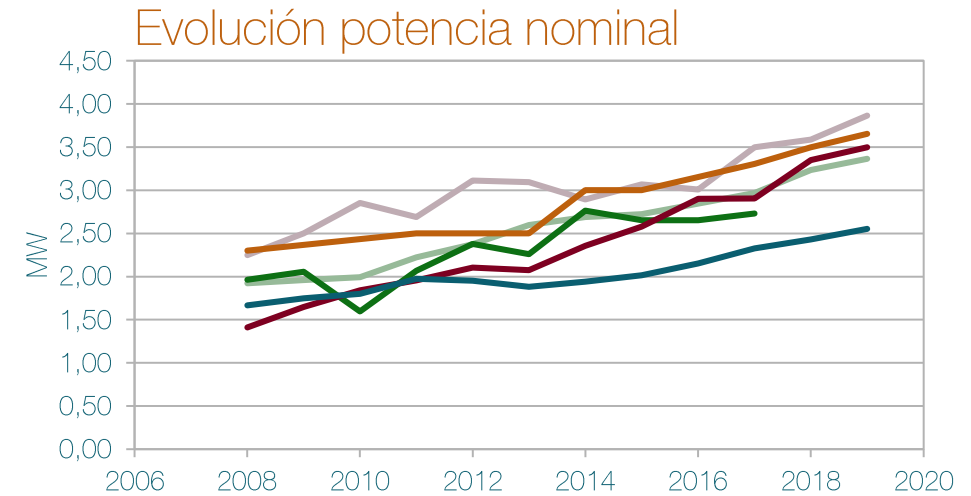
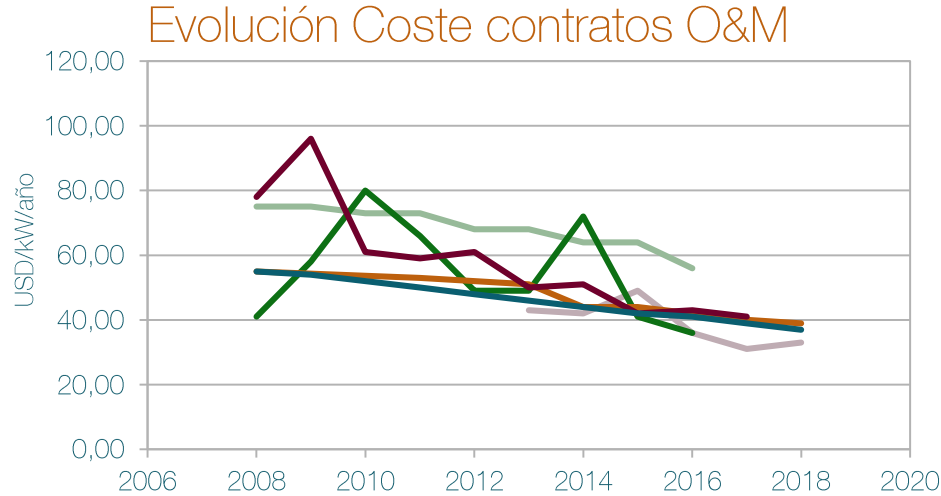


Fuente: IRENA Statistics 2020

# POR QUÉ SUPERVISAR



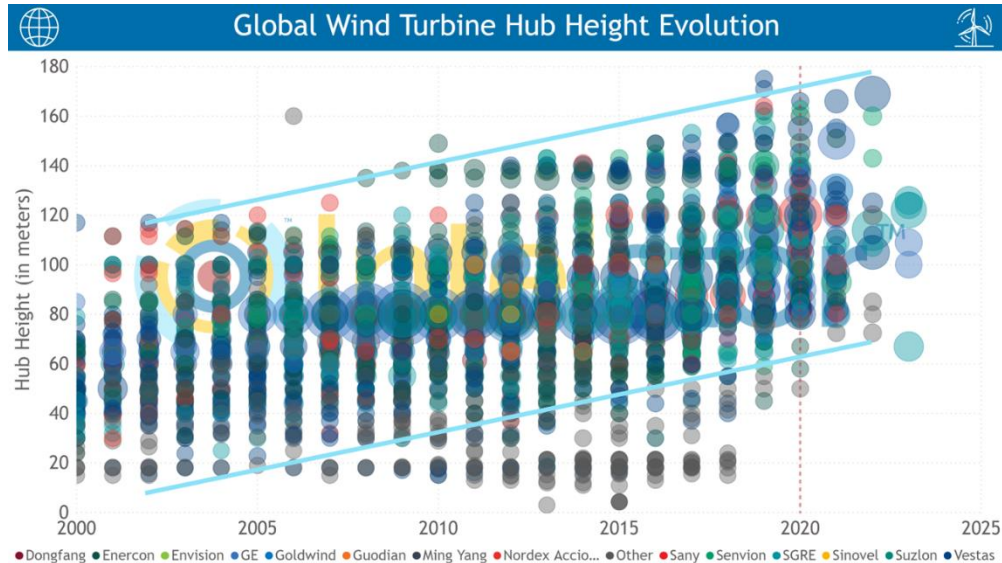
# El impacto de cada fallo es mayor



Los **costes** de O&M por máquina permanecen más o menos constantes

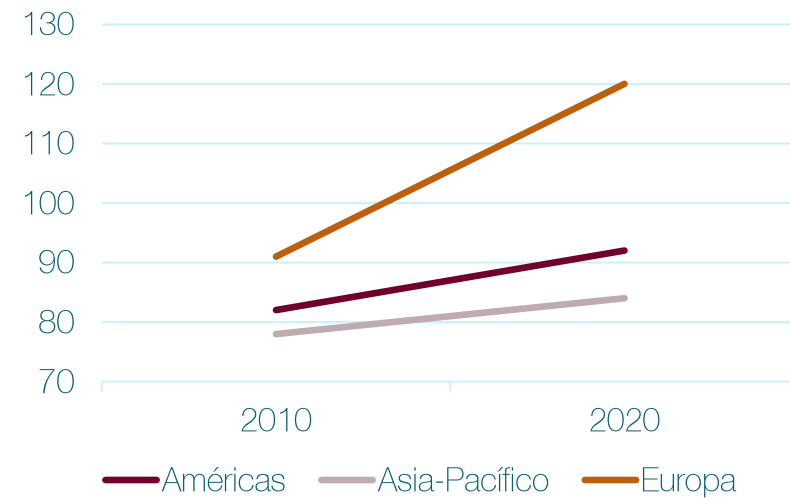
El **Impacto** de cada incidente es mayor según aumenta el tamaño de los aerogeneradores y de los parques.

# Según aumenta el tamaño de las máquinas



Source Segmented Wind Turbine Towers Are the Lowest Cost Tall Tower Alternative, Philip Totaro, IntelStore, junio 2020

## Evolución altura góndola

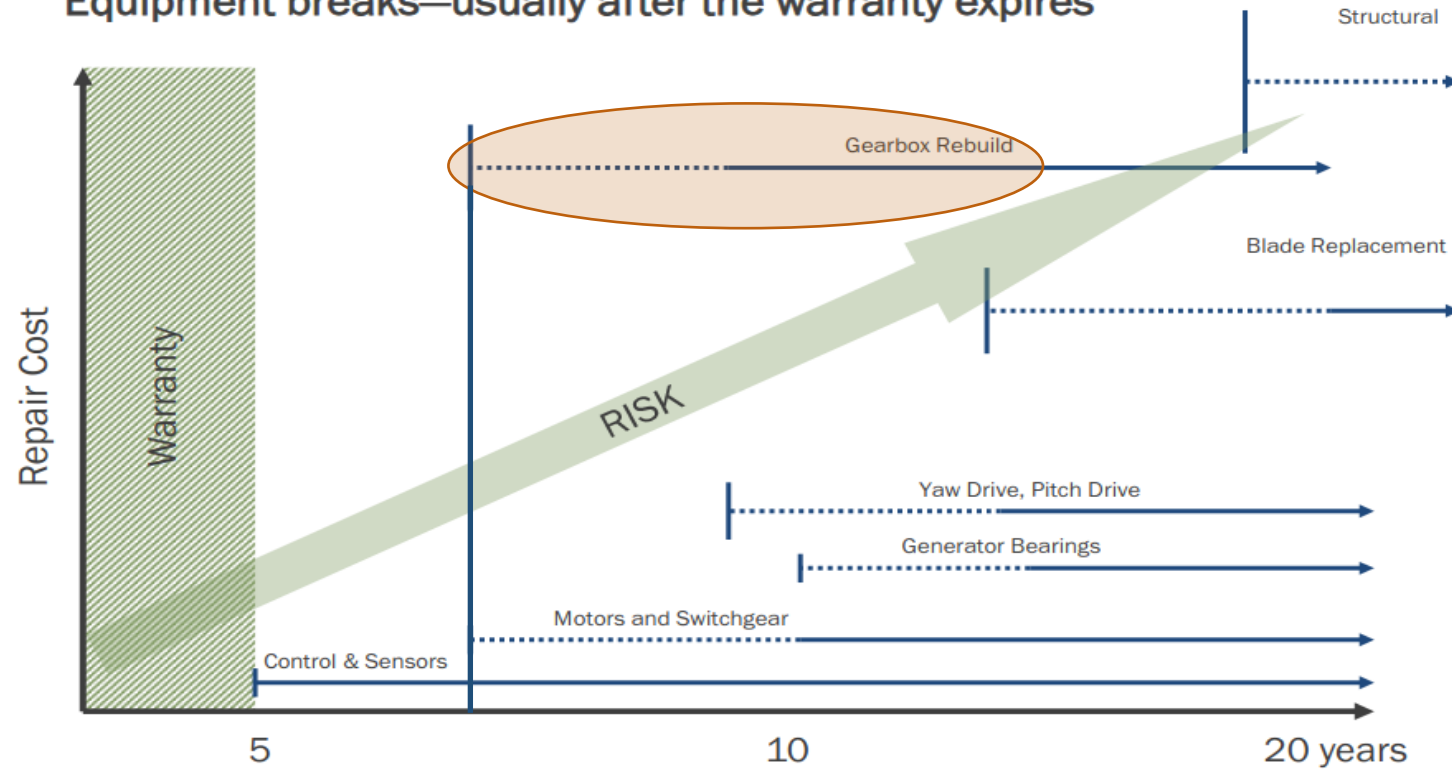


Fuente: IRENA Power Generation Costs 2019

# Y el riesgo aumenta con el tiempo

## Major Components at Risk

Equipment breaks—usually after the warranty expires



Source: Chris Walford: GEC (now DNV GL)

# Costes fijos y variables de O&M

9 costes que pueden ser mejorados por la supervisión

	Mantenimiento	Operación
Fijos	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Stock de repuestos</li><li>2. Equipo humano fijo</li><li>3. Sustitución de activos por vida consumida</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>4. Pérdida de incentivos a la producción</li></ol>
Variables	<ol style="list-style-type: none"><li>5. Coste de averías:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Equipo humano variable</li><li>▪ Servicios especializados</li><li>▪ Repuestos, etc...</li></ul></li><li>6. Seguros</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>7. Lucro cesante por paradas no programadas</li><li>8. Aprovechamiento ineficiente del recurso</li><li>9. Paradas y arranques no programados</li></ol>



# El objetivo de la supervisión: reducir los costes de O&M

## 3 dimensiones de actuación de la supervisión

### Reducción de incidentes graves

3. Sustitución de activos por vida consumida
4. Pérdida de Incentivos a la producción
5. Coste de averías:
  - Equipo humano variable
  - Servicios especializados
  - Repuestos, etc...
6. Seguros (rotura)
7. Lucro cesante por paradas no programadas

### Optimización del mantenimiento

1. Stock de repuestos
2. Equipo humano fijo
5. Coste de averías:
  - Equipo humano variable
  - Servicios especializados
  - Repuestos, etc...

### Optimización de la operación

4. Pérdida de incentivos a la producción
6. Seguros (pérdida B°)
7. Lucro cesante por paradas no programadas
8. Aprovechamiento ineficiente del recurso
9. Paradas y arranques no programados.

# Business Case. Mejora de resultados con supervisión de vibraciones

## Hipótesis

- 100 aerogeneradores supervisados
- 2 MW potencia nominal de cada aerogenerador
- 2.000 horas equivalentes a plena carga anuales
- 25,8 €/MWh precio mínimo de la energía en la última subasta

## Ingresos esperados por aerogenerador

$$2 \text{ MW} \times 2.000 \text{ h/año} \times 25,8 \text{ €/MWh} = \\ = 103.200 \text{ €/año}$$

## Incremento de resultados

- 75.000 €/año por menor nº de intervenciones down-tower en la multiplicadora
- 18.500 €/año por menor lucro cesante por mejor programación de intervenciones
- 20.000 €/año por mejores condiciones de negociación de la prima del Seguro

108.500 €/año de mejora de resultados  
(= 10.850 €/año/WTG)

# Otros efectos a tomar en cuenta

## Supervisión - pros

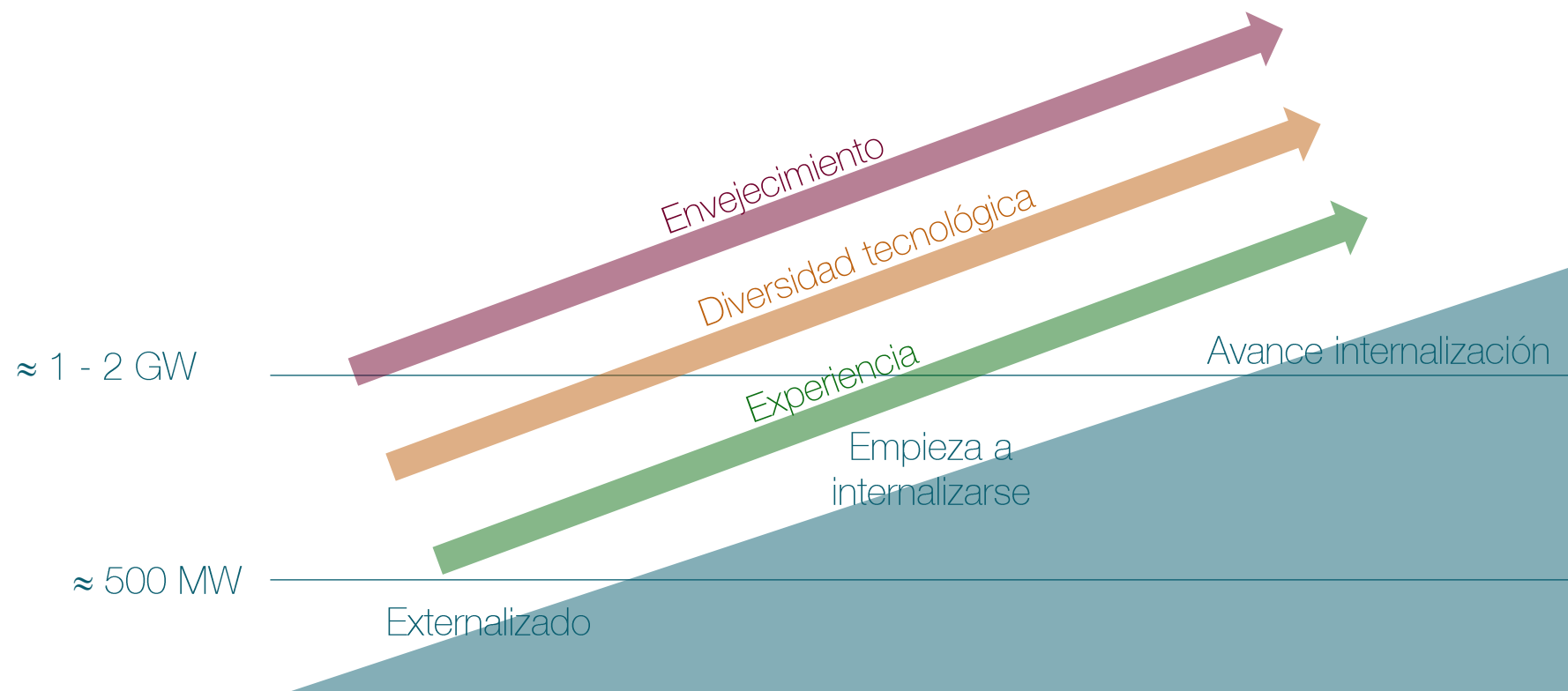
- Aumenta la capacidad negociadora ante el OEM
- Flexibilidad en la estrategia ante cambios en el mercado
- Alinea estrategias con objetivos
- Abarata la inclusión de nuevas plantas/tecnologías
- Mejora la calidad del servicio del mantenedor



## Supervisión - contras

- Tiene un coste:
  - Infraestructuras
  - Adquisición del conocimiento
  - RRHH necesario
- ¿Es un sobrecoste?

# Cuándo merece la pena supervisar



## Debemos de supervisar nuestros activos porque:

1. Cuanta más capacidad tienen los aerogeneradores, mayor impacto tienen los incidentes
2. La supervisión mejora directamente en nuestra cuenta de resultados a través del aumento de los resultados operativos y la reducción de los costes de mantenimiento
3. Existen alternativas adecuadas a las características de cada flota.

# QUÉ SUPERVISAR



# Alinear la estrategia de la empresa con la de supervisión

## ¿Dónde está el negocio?

### ➤ ¿Mercado?

- ¿Disponibilidad?
- ¿Fiabilidad?
- ¿Servicios auxiliares?
- ¿Flexibilidad?
- ...

### ➤ ¿Operación?

- ¿Optimizar el recurso?
- ¿Optimizar el reparto con limitaciones?
- ...

### ➤ ¿Mantenimiento?

- ¿Fallos Catastróficos?
- ¿Mantenimiento menor?
- ¿Consumo de vida?
- ...

# Diferentes circunstancias exigen distintas aproximaciones

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9,108	10,788	10,080	10,976	10,188	8,907	8,249	7,792	4,617	9,561	5,656	6,626
2	8,498	10,122	9,597	10,372	9,600	8,450	7,120	6,615	3,709	8,738	5,537	6,310
3	7,735	9,718	9,202	10,363	9,272	8,354	5,856	5,553	3,195	8,168	5,168	6,234
4	7,185	10,003	9,330	10,447	9,188	8,305	5,604	5,322	2,899	7,961	4,822	5,969
5	7,271	10,230	9,311	10,555	9,126	8,439	5,753	4,880	2,785	7,676	4,279	5,592
6	7,131	9,583	9,227	10,261	8,796	8,537	5,549	4,689	2,884	7,699	4,838	5,653
7	7,591	9,136	9,079	10,021	9,211	8,620	5,203	4,858	3,018	7,797	4,742	5,839
8	7,278	9,082	8,769	9,754	9,098	8,603	5,205	5,018	3,397	8,030	4,677	5,892
9	7,280	8,871	8,910	9,641	8,814	8,343	4,859	5,343	3,440	7,875	4,601	5,660
10	7,790	9,261	9,108	9,430	9,075	8,046	5,009	5,160	3,312	7,954	4,213	5,225
11	7,535	9,309	9,152	9,709	9,091	7,949	4,876	5,204	3,443	8,139	3,866	4,903
12	7,700	8,955	9,121	9,901	8,801	8,125	4,838	5,600	3,357	8,361	4,072	5,299
13	7,365	9,029	8,977	9,760	8,791	8,355	5,135	5,849	3,637	8,440	4,270	5,149
14	7,486	9,116	8,655	9,499	9,009	8,621	5,300	5,359	3,692	8,345	4,050	5,727
15	7,960	9,987	8,559	9,911	9,678	8,922	5,406	5,730	3,446	8,562	4,063	5,680
16	8,430	10,301	8,805	10,433	10,666	9,646	6,103	6,400	3,602	9,109	4,319	6,208
17	9,166	11,388	9,552	10,850	11,108	10,324	6,867	6,810	3,785	9,754	4,785	6,924
18	10,159	11,897	10,321	11,111	11,143	10,474	7,612	7,177	4,000	10,086	5,415	7,401
19	10,749	12,465	10,439	11,254	11,384	10,557	8,360	7,413	3,794	10,470	5,785	7,406
20	10,920	12,405	10,427	11,687	11,297	10,977	8,907	7,363	4,448	10,637	5,912	7,602
21	10,788	12,142	10,257	11,690	11,443	10,578	9,621	7,667	4,954	10,435	5,752	7,725
22	10,615	11,783	10,057	12,015	11,359	10,522	9,774	8,289	5,319	10,148	5,710	7,937
23	10,372	11,709	10,665	11,933	11,145	10,350	9,572	9,060	5,235	9,940	6,060	7,381
24	9,900	11,365	10,670	11,641	10,779	9,788	9,246	8,535	5,387	9,933	5,909	7,203

Distribución del viento estacional y continuada, exige una estrategia de mantenimiento muy estricta

Día promedio mensual, velocidad horaria (m/s)



# Niveles y ámbitos de criticidad

	Coste Reparación	Pérdida Rendimiento	Lucro cesante	Seguridad	Medio - ambiente
Criticidad Nivel 1	$\geq 30.000 \text{ €}$	$\geq 3\%$	$\geq 1 \text{ semana}$	Riesgo accidente	Riesgo accidente
Criticidad Nivel 2	$< 30.000 \text{ €}$ $\geq 5.000 \text{ €}$	$< 3\%$ $\geq 1\%$	$< 1 \text{ semana}$ $\geq 1 \text{ día}$	Riesgo incidente	Riesgo incidente
Criticidad Nivel 3	$< 5.000 \text{ €}$	$< 1\%$	$< 1 \text{ día}$	Sin riesgo	Sin riesgo

Referencias: OFGEM, DNO Common Network Asset Indices Methodology  
ISO 31000, Gestión del Riesgo

# Determinación de nivel de criticidad por equipo y ámbito

	Coste Reparación	Pérdida Rendimiento	Lucro cesante	Seguridad	Medio - ambiente
Criticidad Nivel 1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Multiplicadora</li><li>• Trafo. ppal.</li><li>• Estructura</li><li>• Generador</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema pitch</li><li>• Sistema yaw</li><li>• SCADA</li><li>• Veleta</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Multiplicadora</li><li>• Trafo. ppal.</li><li>• Estructura</li><li>• Generador</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balizas aeronáuticas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Achique pozo trafo ppal</li></ul>
Criticidad Nivel 2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Álabes</li><li>• SCADA</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Álabes</li><li>• Motor yaw</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• SCADA</li></ul>	
Criticidad Nivel 3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema pitch</li><li>• Sistema yaw</li><li>• SCADA</li><li>• Veleta</li></ul>				

# Cálculo de la criticidad total de cada equipo

	Coste reparación	Pérdida rto.	Lucro cesante	Seguridad	Medio ambiente	Criticidad TOTAL
TREN DE POTENCIA						
Multiplicadora	▲ ▲ ▲	▲	▲ ▲	▲	▲	8
Rodamientos	▲	▲ ▲	▲ ▲	▲	▲	7
Rodamiento ppal.	▲ ▲	▲	▲ ▲	▲ ▲	▲	8
Freno mecánico	▲	▲	▲	▲ ▲	▲	6
Eje alta velocidad	▲ ▲	▲	▲ ▲ ▲	▲ ▲	▲	9
Eje baja velocidad	▲	▲	▲ ▲ ▲	▲	▲	7
GÓNDOLA						
Sistema de yaw	▲	▲ ▲ ▲	▲ ▲	▲ ▲	▲	9
Bastidor	▲ ▲	▲	▲ ▲	▲ ▲ ▲	▲	9
...						

$$C_t = f(C_c, C_r, C_l, C_s, C_m)$$

# Probabilidad de ocurrencia y valoración del riesgo. Priorización

	> 1%/año	> 0,1%/año	< 0,1%/año
Criticidad Nivel 1	Muy alta prioridad	Alta prioridad	Prioridad moderada
Criticidad Nivel	Alta prioridad	Prioridad moderada	Baja prioridad
Criticidad Nivel 3	Prioridad moderada	Baja prioridad	Muy baja prioridad

# Valoración del riesgo de los equipos

	> 1%/año	> 0,1%/año	< 0,1%/año
Criticidad Nivel 1	Multiplicadora	Sistema pitch	Transformador ppal Bastidor
Criticidad Nivel	Veleta	Álabe	Achique trafo ppal
Criticidad Nivel 3	Motor Yaw	SCADA	Balizas aeronáuticas

# Desarrollo de la estrategia de supervisión

## ¿Dónde está el negocio?

- ¿Mercado?
  - ¿Disponibilidad?
  - ¿Fiabilidad?
  - ¿Servicios auxiliares?
  - ¿Flexibilidad?
- ¿Operación?
  - ¿Rendimiento?
  - ¿Reparto eficiente?
- ¿Mantenimiento?
  - ¿Fallos Catastroficos?
  - ¿Mantenimiento menor?
  - ¿Consumo de vida?
  - ...

## ¿Cómo puedo conseguirlo?

- ¿Supervisión de Vibraciones?
- ¿Supervisión de la condición?
- ¿Supervisión del Performance?
- ¿Otros?
- ...

## ¿Cuánto me costará?

- ¿Hay herramientas/instrumentos disponibles?
  - ¿Cumplen las expectativas?
  - ¿Pueden mejorarse si no cumplen las expectativas?
  - ¿No hay herramientas/instrumentos en el mercado?
- ¿Cuánto cuestan?
  - Down-payment de licencias (CAPEX)?
  - Manto. anual de licencias (OPEX)?
  - Nuevos instrumentos / infraestructuras(CAPEX)?
  - Mantenimiento de instrumentos / Infraestructuras (OPEX)?
- ¿Tengo equipo humano en suficiente número y conocimientos?
  - ¿Despliegue de herramientas (CAPEX)?
  - ¿Mantenimiento de modelos, herramientas, instrumentos, etc... (OPEX)?
  - ¿Equipo de supervision? (OPEX)?

# ¿Tenemos datos suficientes?

	> 1%/año	> 0,1%/año	< 0,1%/año
Criticidad Nivel 1	Multiplicadora	Sistema pitch	Transformador ppal
Criticidad Nivel	Veleta	Álabe	Achique trafo ppal
Criticidad Nivel 3	Motor Yaw	SCADA	Balizas aeronáuticas

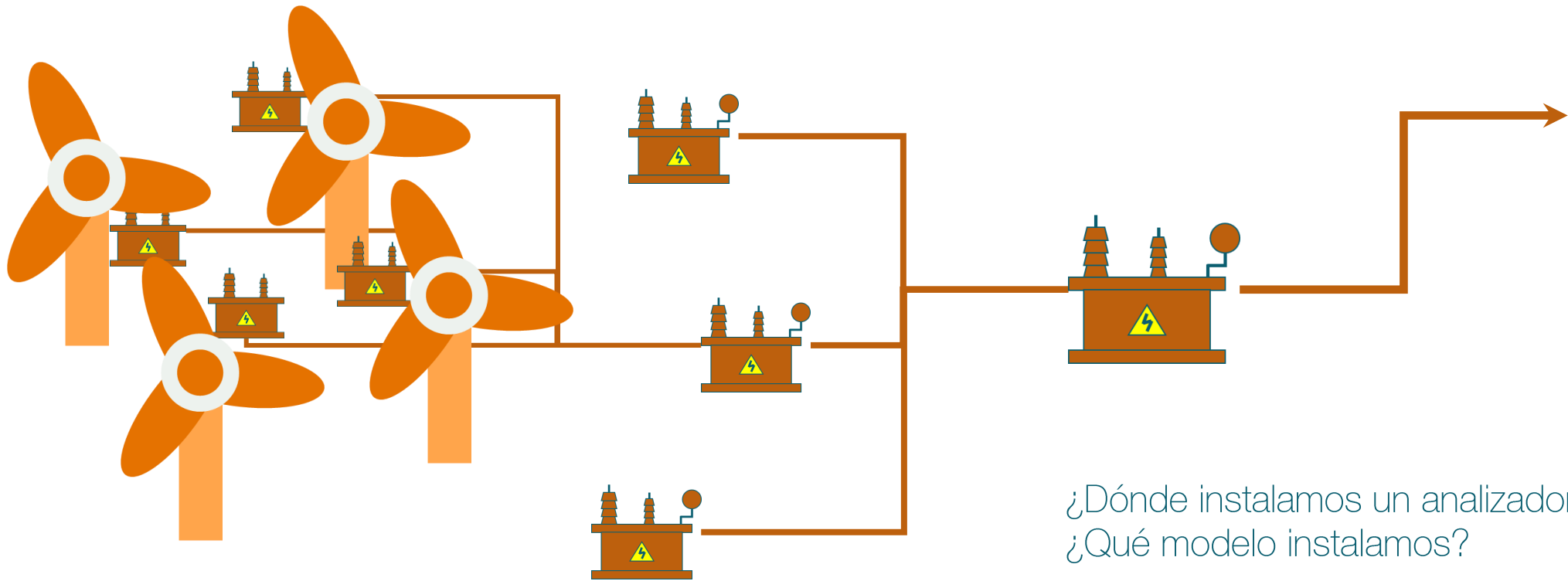
¿Vibraciones en continuo?  
¿Maletas?  
¿Análisis aceite?

¿Datos SCADA?  
¿LIDAR?  
¿Posicionadores?

¿Analizador de gases?  
¿Análisis aceites?

# ¿Supervisamos transformadores?

¿Podemos realmente supervisar?



¿Dónde instalamos un analizador de gases?  
¿Qué modelo instalamos?



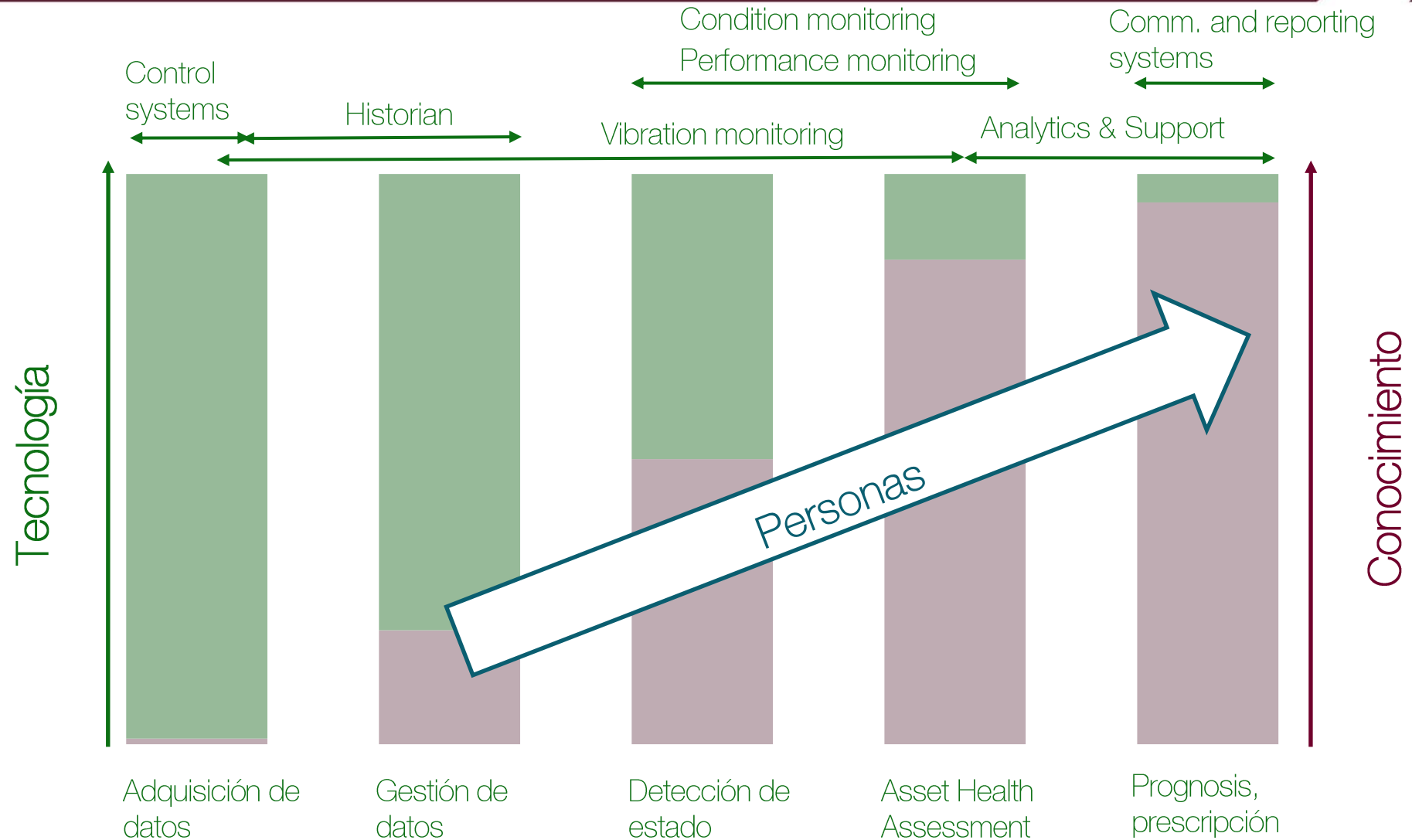
La supervisión ha de alinearse con el marco del negocio:

1. Los equipos cuyo fallo tenga mayor impacto en el negocio.
2. Los equipos de mayor impacto y con mayor probabilidad/historial de fallo.
3. Mismos equipos en diferentes marcos de negocio pueden tener necesidades de supervisión también distintas

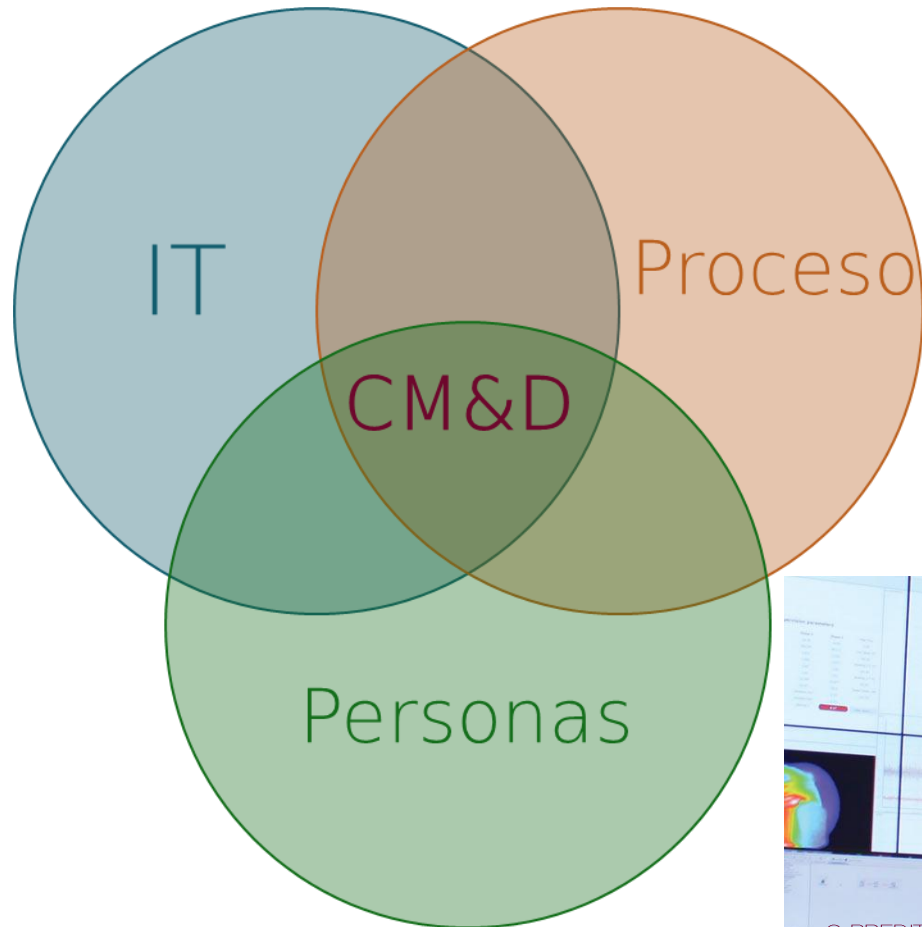
CÓMO SUPERVISAR



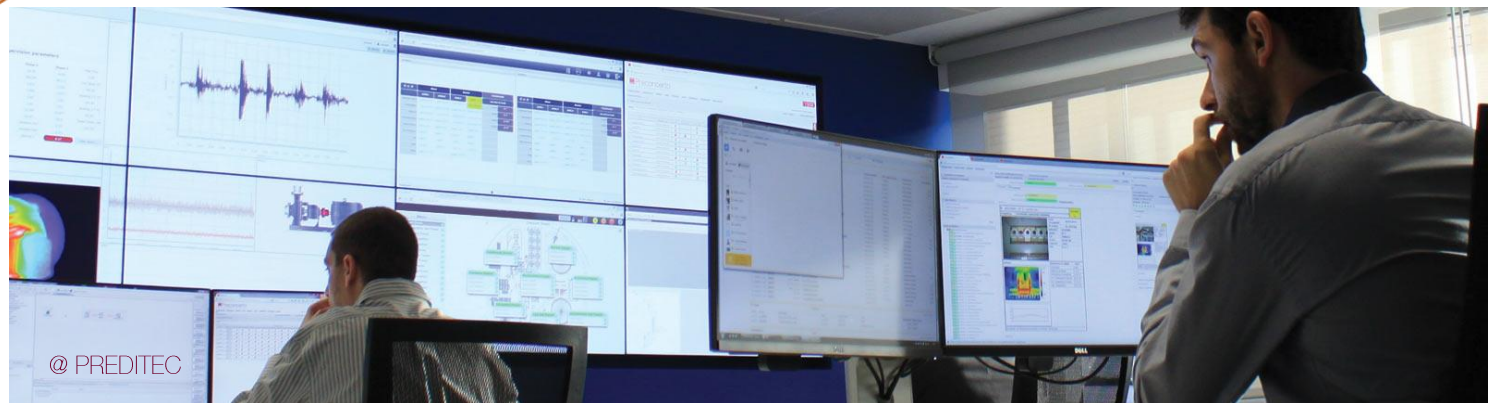
# Supervisión: Transformación de datos en información útil



# Las bases de la supervisión



Personas supervisando  
procesos mediante  
tecnologías informáticas  
avanzadas



# La componente humana

## Proceso

- Conocen al equipo humano de planta
- Saben cuáles son las necesidades
- Conocen los equipos físicos de la instalación
- Hacen las preguntas adecuadas

&

## Data Scientist / Expertos

- Saben extraer “petróleo” de los datos
- Optimizan el proceso de análisis
- Implantan rápidamente las propuestas teóricas

&

## Equipo TI

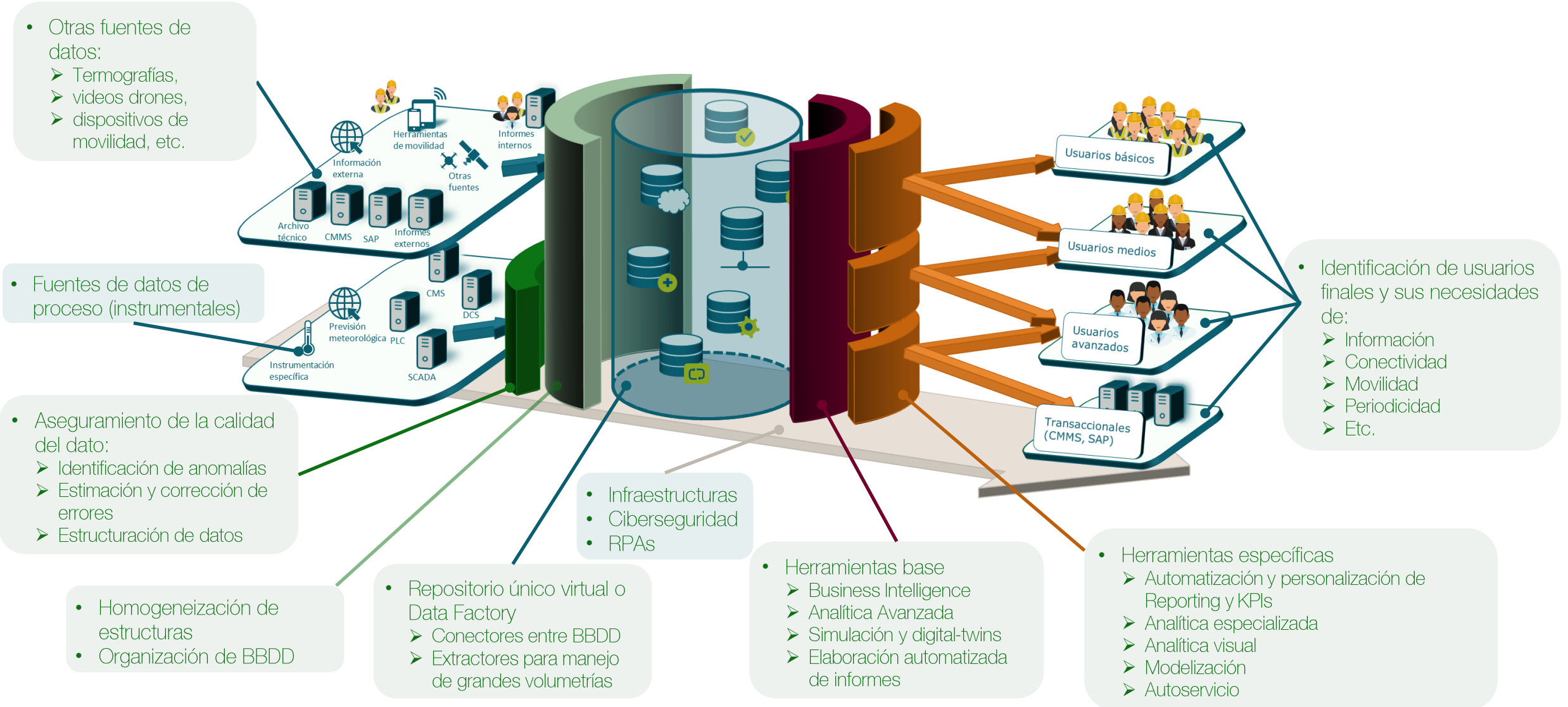
- Aseguran que los datos llegan correctamente
- Resuelven ágilmente los problemas tecnológicos
- Implantan rápidamente las soluciones técnicas
- Conocen los límites de las infraestructuras

Tip: Estrategia ganadora

## Estrategia ganadora

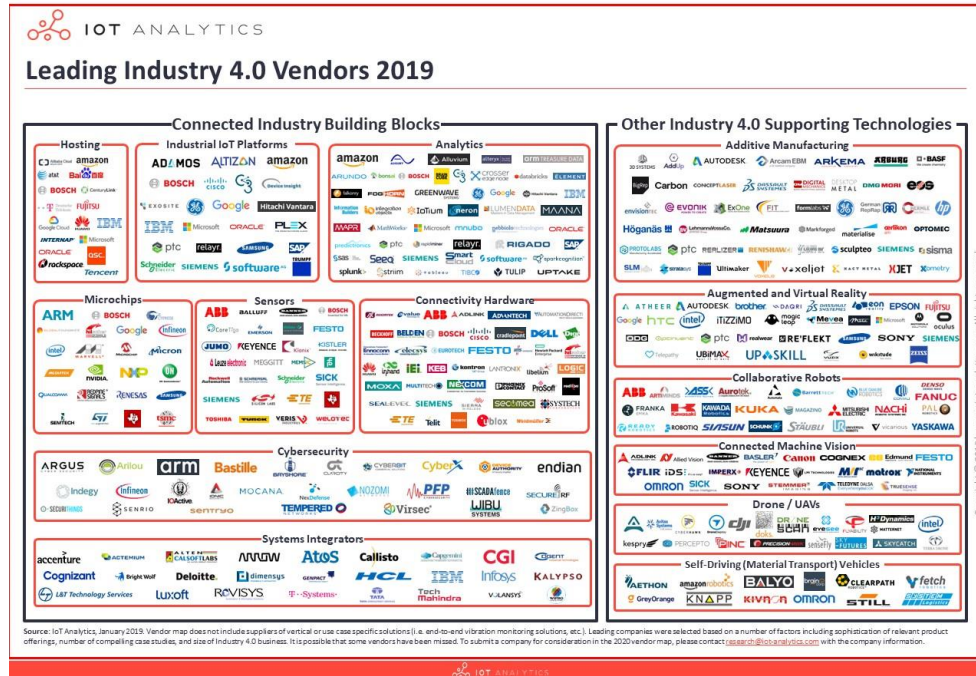
- ✓ Estar al servicio de las instalaciones
- ✓ Escuchar, proponer y aconsejar

# La componente tecnológica





# Selección de la componente tecnológica



La selección de los diferentes componentes tecnológicos no es trivial. Debe de considerar aspectos como:

- Coste inicial de la inversión
- Coste de mantenimiento periódico
- Curva de aprendizaje del equipo humano
- Sencillez de herramientas
- Facilidad de pilotaje y despliegue a nueva flota
- Etc.





## El proceso de supervisión

1. Es un proceso de personas altamente cualificadas y especializadas, que supervisan el proceso de generación eólica utilizando herramientas muy sofisticadas.
2. El modelo de relación del CMD con las instalaciones es crítico para su buen funcionamiento.
3. Los elementos tecnológicos han de ser elegidos tras un detenido análisis: empieza sencillo y prepárate para crecer.

# CONCLUSIONES



# Conclusiones básicas

## La supervisión remota...

1. ... se integra con la **estrategia del negocio** porque impacta en la **cuenta de resultados** desde el primer momento.
2. ... debe enfocarse primeramente en los “**pain point**”, siempre que podamos supervisar.
3. ... es una cuestión de **personas con alto grado de cualificación** apoyadas en la **tecnología**

# Para construir un sistema eficiente

## La supervisión remota...



Seguimiento on-line de KPIs

Integración con  
Despacho

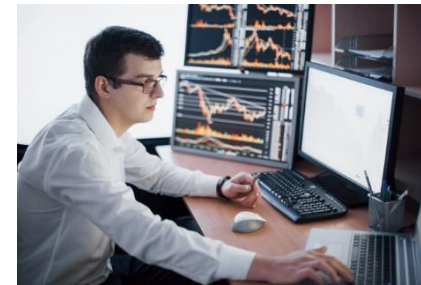


Integración con  
GMAO / OTs

Integración con  
Sala de Ofertas



Integración con  
Logística de repuestos



... es esencial para la transformación digital

¡Muchas gracias!



Grupo Álava