



Tecnologías aplicadas a la Mecatrónica 4.0

Posgrado de Técnicas para la
Digitalización en la Industria

Sesión 1 – Mantenimiento Predictivo I

Marc Jené: marc.jene@upc.edu



Calendario

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves
ENERO	16	17	18	19 S1 – Mantenimiento Predictivo I
	23	24 NO HAY CLASE!	25	26 S2 – Mantenimiento Predictivo II
	30	31 S3 – Visita a Omron (análisis de vibraciones)	01	02 S4 – Visita a Omron (análisis de vibraciones)
FEBRERO	06	07 S5 – Visita a Omron (análisis de vibraciones)	08 S6 – Introducción a gemelos digitales	09



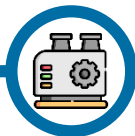
Objetivos de la sesión

- Tipos de mantenimiento.
- Introducción al Mantenimiento Predictivo (MP).
- Explicación ejemplo motor NASA.
- Jupyter Notebook motor NASA.

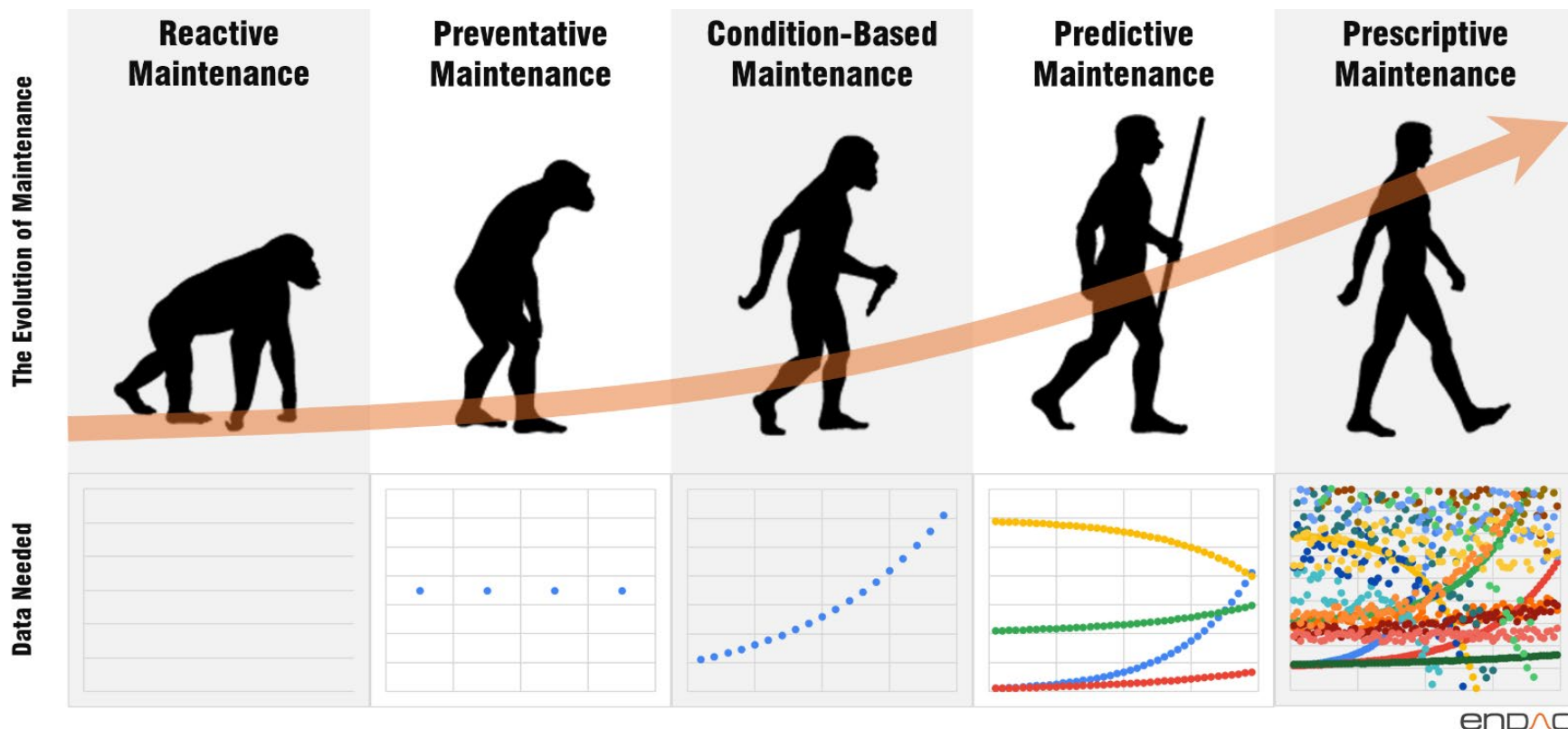


Objetivos de la sesión

- **Tipos de mantenimiento.**
- Introducción al Mantenimiento Predictivo (MP).
- Explicación ejemplo motor NASA.
- Jupyter Notebook motor NASA.



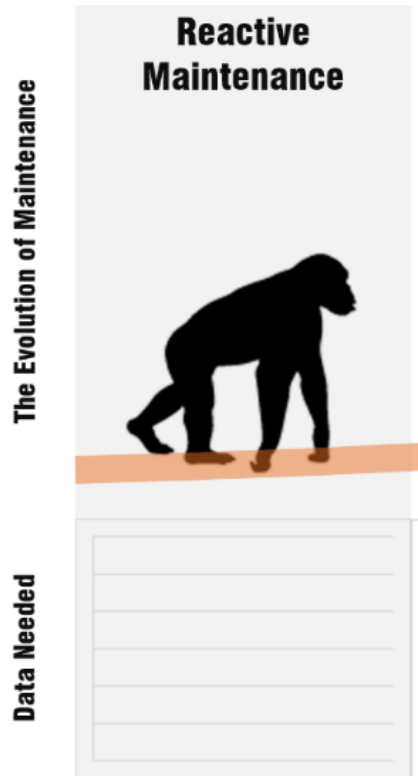
Tipos de mantenimiento



<https://blog.endaq.com/differences-between-condition-based-predictive-and-prescriptive-maintenance>



Mantenimiento reactivo



El **mantenimiento reactivo** no depende en absoluto de los datos, sino que espera al fallo.

Las medidas correctivas sólo se centran en arreglar el equipo y hacer que vuelva a funcionar. En muchos casos, se tiene que cambiar el equipo entero.

Algunos tipos de mantenimiento reactivo son:

- **El mantenimiento de emergencia:** cuando se estropea equipo importante. Se prioriza delante de otros procesos.
- **El mantenimiento de averías:** cuando un componente se estropea inesperadamente y requiere de tareas de reparación costosas.
- **El mantenimiento correctivo:** se realiza antes de que la máquina se estropee del todo. Por ejemplo, cuando se encuentran defectos en la línea de producción.
- **Run-to-failure:** es una estrategia planificada en la que se ordena deliberadamente a un activo que funcione hasta que se averíe.



Mantenimiento reactivo

Pros:

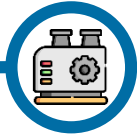
- Los costos a corto plazo son menores (sin costes de puesta en marcha).
- No se necesita planificación.
- Sin inspecciones semanales ni servicios planificados, se necesita menos personal de mantenimiento.

Contras:

- Las paradas imprevistas de equipos esenciales provocan altas pérdidas.
- Las reparaciones de emergencia y los costes de sustitución de equipos crean un presupuesto impredecible
- La falta de piezas de repuesto disponibles retrasa las reparaciones.
- Costos a largo plazo pueden ser mayores.

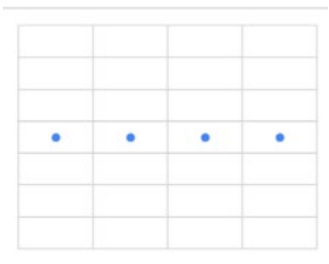
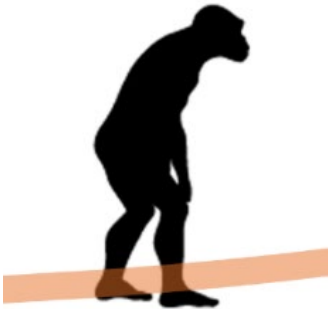
¿Cuándo puede tener sentido?





Mantenimiento preventivo

Preventative Maintenance



El **mantenimiento preventivo** consiste en mantener los activos mediante una limpieza, lubricación, inspección y sustitución de piezas periódicas.

El mantenimiento preventivo puede reducir el tiempo de inactividad de los equipos y mantener a raya las reparaciones sorpresa. Alarga la vida útil de los componentes.

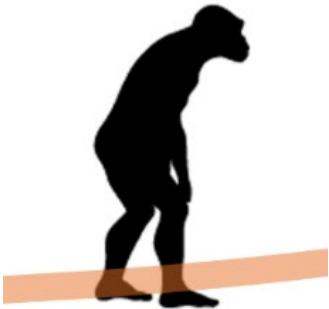
Hay dos tipos de mantenimiento preventivo:

- **Mantenimiento basado en el calendario:** también conocido como mantenimiento periódico. Se establece un programa de mantenimiento recurrente basado en el tiempo. Según el tipo de activo, los intervalos pueden ser semanales, mensuales, trimestrales o anuales.
- **Mantenimiento basado en el uso:** confía en las operaciones que hace una máquina.



Mantenimiento preventivo

Preventative Maintenance



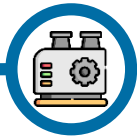
Pros:

- Menos tiempo de inactividad de los equipos.
- Mayor duración de los activos.
- Menos interrupciones de las operaciones críticas.
- Mayor eficiencia (los equipos en buen estado rinden más)

Contras:

- Costes iniciales: mantener los equipos en buen estado requiere una inversión.
- Más mano de obra, por lo que necesitará más personal disponible.
- Posibilidad de mantenimiento excesivo.
- Algunos componentes se cambiarán antes de que lleguen al final de su vida útil.

¿Cuándo puede tener sentido?



Mantenimiento basado en las condiciones

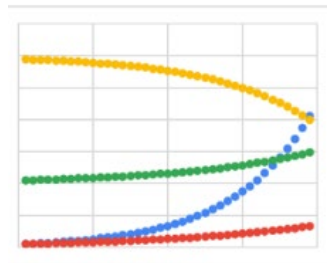
Condition-Based Maintenance



El **mantenimiento basado en las condiciones** consiste en supervisar el rendimiento de los equipos y la gestión de activos con inspecciones visuales, pruebas programadas y dispositivos sensores para determinar el momento más rentable para realizar el mantenimiento.

El **mantenimiento predictivo** es una forma avanzada de mantenimiento planificado que supervisa las condiciones de los activos en tiempo real. La estrategia proactiva se basa en sensores que alertan a los equipos de mantenimiento cuando es necesario un mantenimiento preventivo para mantener unos niveles óptimos de rendimiento.

Predictive Maintenance



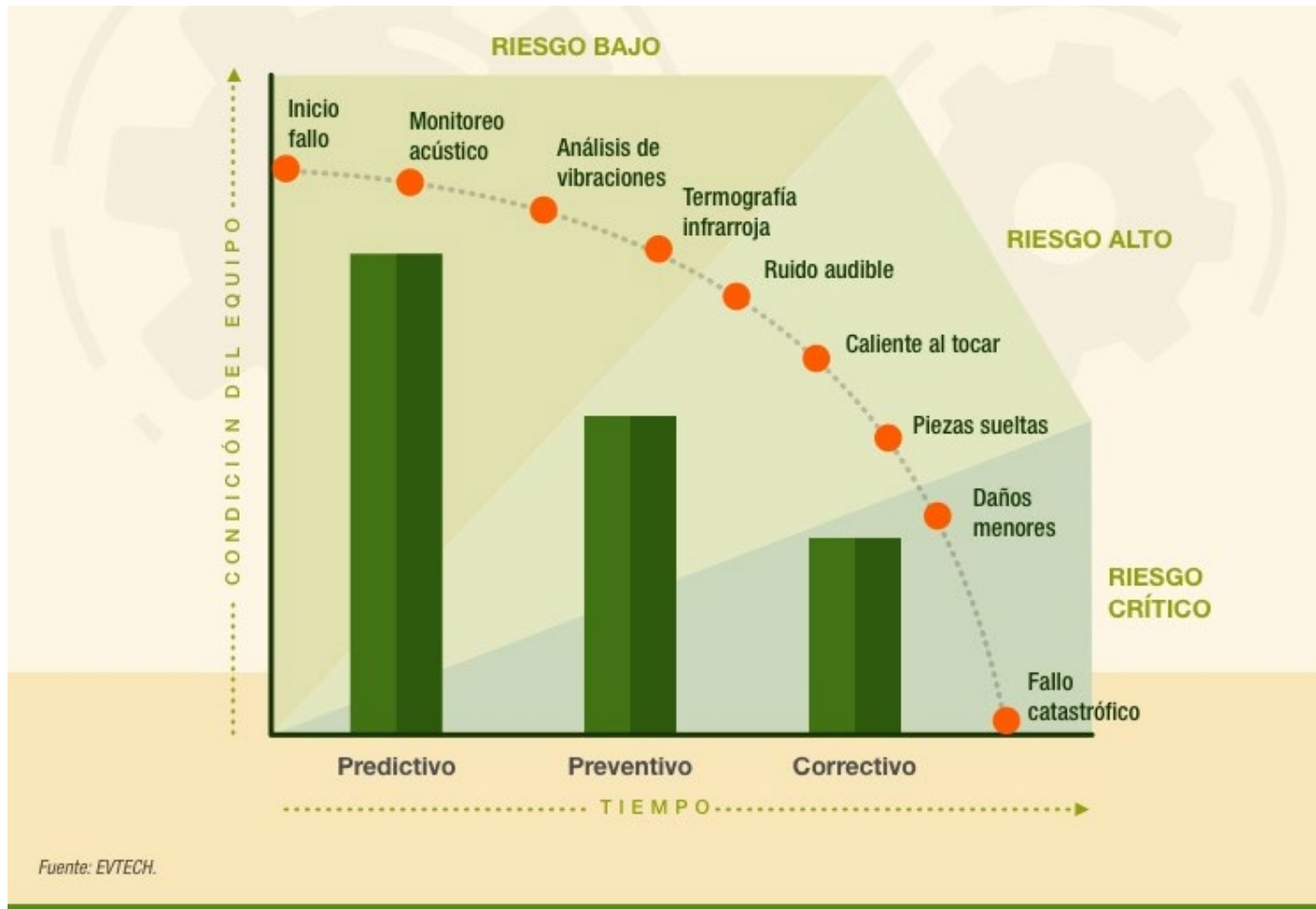


Mantenimiento basado en las condiciones

Mantenimiento basado en las condiciones	Mantenimiento predictivo
Se basa en diagnósticos basados en el estado (ej. vibraciones, temperatura, presión, velocidad, tensión) para indicar cuándo es necesario el mantenimiento.	Combina diagnósticos basados en el estado (ej. vibraciones, temperatura) con fórmulas predictivas complejas para predecir cuándo puede ser necesario el mantenimiento.
Se basa en reglas estáticas para la toma de decisiones.	Se basa en reglas dinámicas para la toma de decisiones.
Muy sensible al ruido.	Menos sensible al ruido.
Forma optimizada de mantenimiento preventivo basada en algoritmos de detección, diagnóstico y pronóstico continuos para informar sobre el mantenimiento.	Mantenimiento preventivo tecnológicamente avanzado basado en el reconocimiento algorítmico de patrones de las máquinas.
Alerta a los técnicos en el momento exacto en que algo va mal.	Predice fallos futuros con tecnología inteligente.



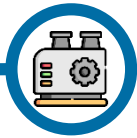
Mantenimiento predictivo de motores, máquinas, aerogeneradores ...





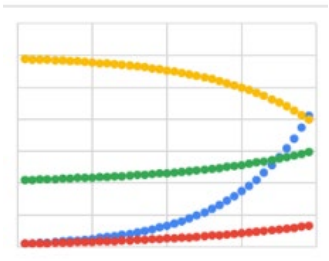
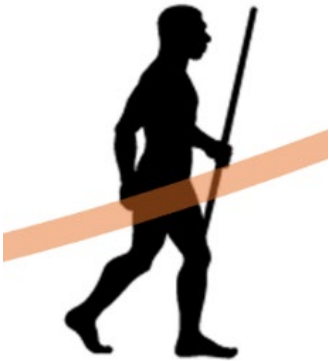
Objetivos de la sesión

- Tipos de mantenimiento.
- **Introducción al Mantenimiento Predictivo (MP).**
- Explicación ejemplo motor NASA.
- Jupyter Notebook motor NASA.



Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



El mantenimiento predictivo (PdM) utiliza los datos de los equipos para fundamentar las decisiones de mantenimiento rutinario. El PdM incluye tecnologías de aprendizaje automático capaces de establecer patrones de referencia del "funcionamiento normal de los equipos".

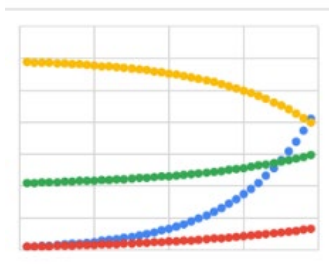
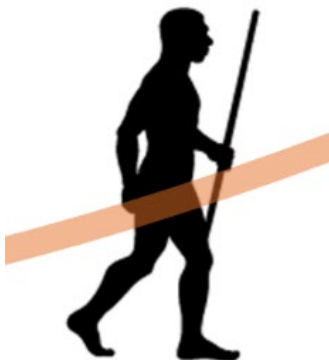
El objetivo del mantenimiento predictivo es triple:

- Maximizar el tiempo de funcionamiento, mejorar la fiabilidad y aumentar la productividad reduciendo el número de averías imprevistas.
- Reducir los costes operativos realizando las tareas de mantenimiento antes de que se conviertan en excesivas en costes, mano de obra y tiempo.
- Prolongar la vida útil de los activos realizando el mantenimiento antes de que se produzcan fallos en los equipos.



Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



El mantenimiento predictivo es el futuro. Y no es sólo una teoría que se discute en las aulas universitarias; algunas de las empresas más grandes del mundo en **fabricación**, **aviación** y **sanidad** están experimentando increíbles ganancias en eficiencia, productividad y ahorro como resultado de sus programas de mantenimiento predictivo.

A diferencia del mantenimiento preventivo, con el PdM no existe el riesgo de realizar demasiado o demasiado poco trabajo de mantenimiento.

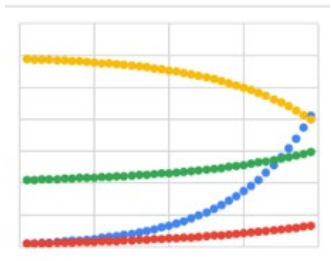
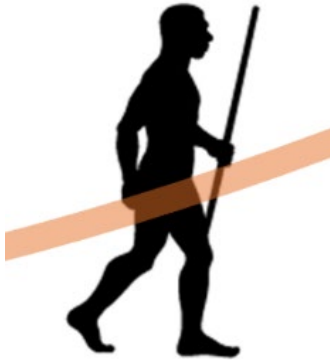
Algunos datos:

- Según el Departamento de Energía de EE.UU., un programa de mantenimiento predictivo funcional puede aumentar la rentabilidad de la inversión hasta diez veces.
- También puede reducir las averías de los activos en un 75 por ciento.
- Esto se traduce en una reducción del 45% del tiempo de inactividad y del 30% de los costes de mantenimiento.



Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



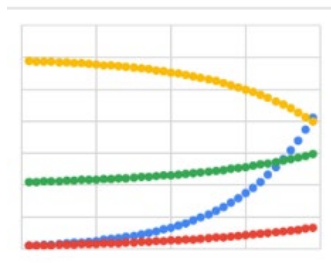
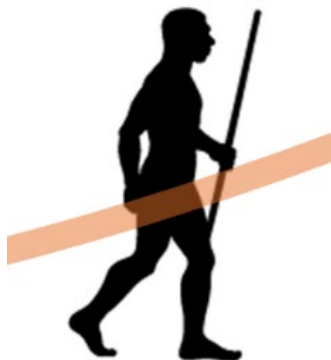
Como funciona?

1. Se instalan sensores al equipo a mantener.
2. Se recogen datos de estos sensores y datos operativos del equipo.
3. Se identifican las referencias y se establecen los parámetros necesarios.
4. Ejecutar el equipo como de costumbre.
5. Algun sensor detecta una anomalía en el sistema.
6. Se crea una orden de trabajo y se realiza la acción de mantenimiento.
7. Volvemos al paso 4.

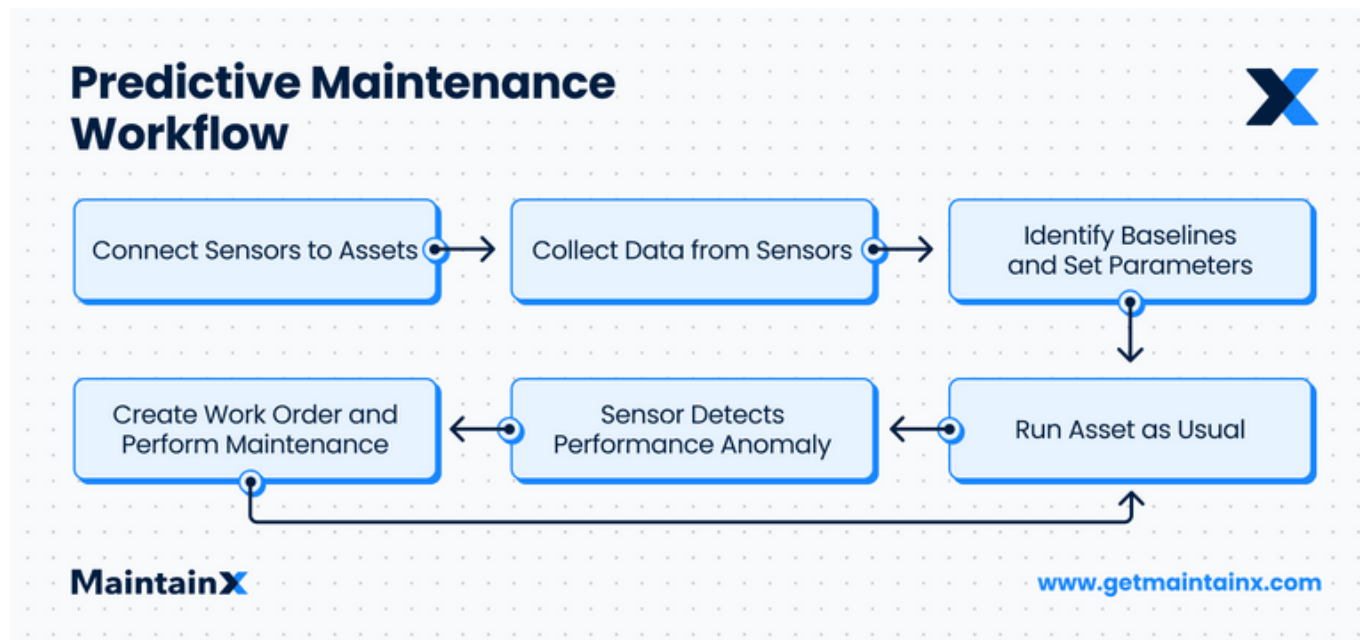


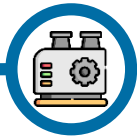
Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



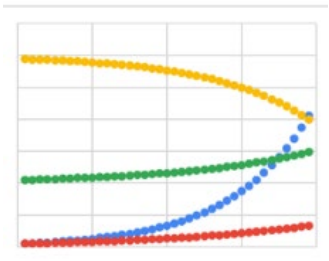
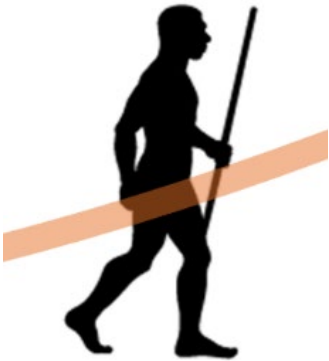
Como funciona?





Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



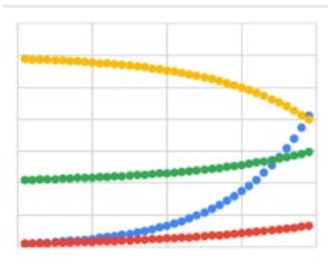
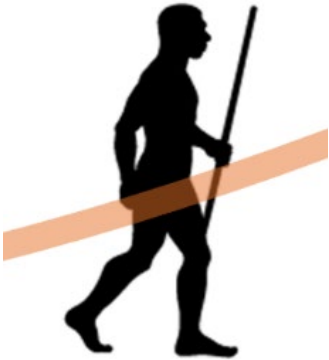
Tipos de mantenimiento predictivo:

- **Análisis vibracional:** Utilizado para maquinaria de alta rotación en plantas de fabricación; ayuda a detectar piezas sueltas de equipos, desalineación, desequilibrio y desgaste de rodamientos.
- **Análisis acústico sónico:** Se utiliza tanto para maquinaria de baja como de alta rotación; es similar al análisis vibracional pero se centra en medidas proactivas de lubricación.
- **Análisis acústico ultrasónico:** Identifica sonidos de tensión y fricción en un rango ultrasónico; se utiliza para equipos mecánicos y eléctricos. Este tipo de mantenimiento predictivo en particular es excelente para anticiparse a averías inminentes.
- **Análisis por infrarrojos:** Adecuado para una serie de activos porque no depende de la velocidad de rotación o de la sonoridad de un activo; se puede utilizar para identificar problemas de flujo de aire, refrigeración y tensión del motor.



Mantenimiento predictivo

Predictive Maintenance



Ejemplos de mantenimiento predictivo:

- **Las empresas de servicios públicos** utilizan el PdM para evitar cortes que podrían ser perjudiciales y costosos. Por ejemplo, algunas compañías eléctricas utilizan drones equipados con sensores para cartografiar las redes de servicios públicos e identificar los árboles que están demasiado cerca de las líneas eléctricas y corren el riesgo de caer sobre ellas.
- **El sector del transporte** también es pionero en el mantenimiento predictivo. Se prevé que la industria, en concreto el transporte ferroviario, gastará casi 30.000 millones de dólares en proyectos de IoT en los próximos 15 años, con el objetivo de reducir los costes de mantenimiento imprevistos y mejorar la seguridad y la eficiencia.
- **Las plantas de fabricación** utilizan cámaras de infrarrojos para controlar la temperatura de los equipos y evitar sobrecalentamientos inesperados.



Mantenimiento predictivo y Machine Learning

Qué papel juega el Machine Learning en el Mantenimiento Predictivo?

- Permite predecir la vida útil restante (**RUL – Remaining Useful Life**) de un equipo.
- Puede **señalar los comportamientos irregulares**, detectando anomalías mediante el análisis de time series.
- **Diagnóstico de fallos** y recomendación de acciones de mitigación o mantenimiento después del fallo.

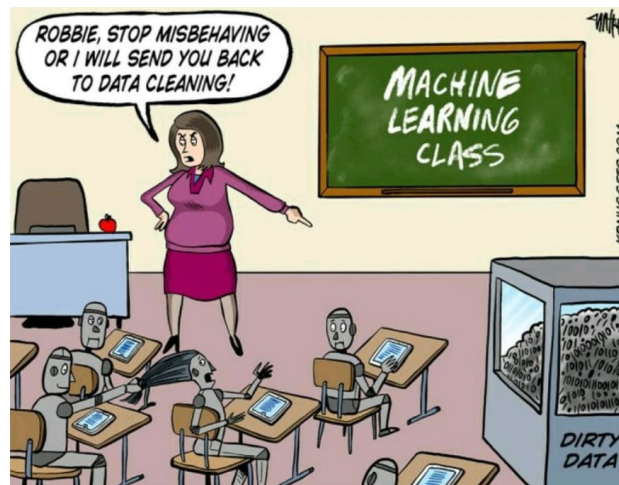


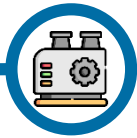


Mantenimiento predictivo y Machine Learning

El éxito de los modelos de mantenimiento predictivo, depende de 3 componentes principales:

- Tener los **datos** correctos disponibles (relevantes, suficientes y de calidad).
- **Entender** bien el problema (Feature Engineering).
- **Evaluar** las predicciones apropiadamente (Evaluación del modelo).

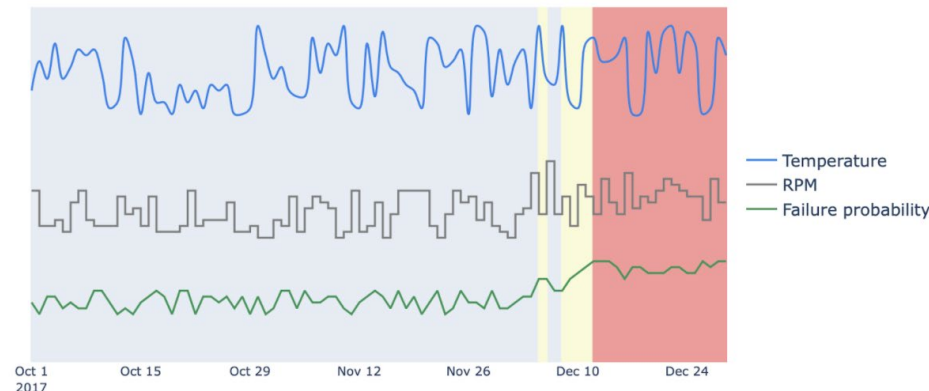




Mantenimiento predictivo y Machine Learning

Predicción de RUL

- Se necesitan datos estáticos e históricos, y que todos los eventos esten clasificados (ya sea con un número de ciclo o la fecha).
- En la industria 4.0, la regresión puede utilizarse para calcular una estimación de la vida útil restante (RUL) de un activo.
- **¿En qué contexto podríamos usar algoritmos de clasificación?**





Objetivos de la sesión

- Tipos de mantenimiento.
- Introducción al Mantenimiento Predictivo (MP).
- **Explicación ejemplo motor NASA.**
- Jupyter Notebook motor NASA.



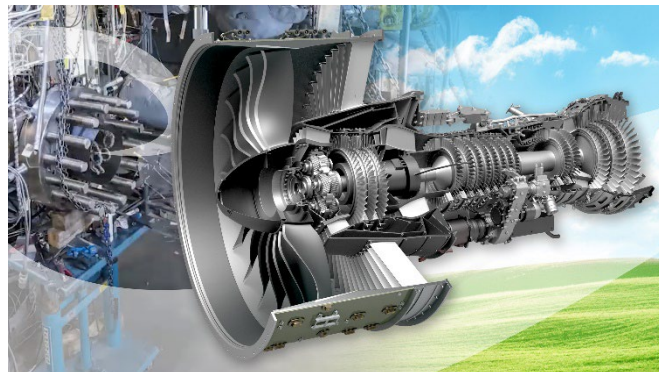
Ejemplo motor NASA

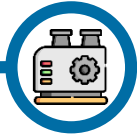
Introducción

Ejercicio de mantenimiento predictivo de un motor turbofán.

Los datos con los que trabajaremos provienen de una simulación realizada por la NASA.

La simulación de la degradación del motor se llevó a cabo utilizando el Commercial Modular Aero-Propulsion System Simulation (C-MAPSS). Se simularon cuatro conjuntos diferentes bajo distintas combinaciones de condiciones operativas y modos de fallo. Se registraron varios canales de sensores para caracterizar la evolución de los fallos.



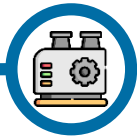


Ejemplo motor NASA

Dataset

Enlace <https://data.nasa.gov/Aerospace/CMAPSS-Jet-Engine-Simulated-Data/ff5v-kuh6>

- El dataset consta de múltiples series temporales multivariantes.
- Ya vienen divididos en entrenamiento y prueba.
- Cada serie temporal procede de un motor diferente.
- Hay tres ajustes operativos que tienen un efecto sustancial en el rendimiento del motor (también se incluyen en los datos).
- El motor funciona con normalidad al principio de cada serie temporal y desarrolla un fallo en algún momento de la serie.



Ejemplo motor NASA

Dataset

Enlace <https://data.nasa.gov/Aerospace/CMAPSS-Jet-Engine-Simulated-Data/ff5v-kuh6>

- Los datos se facilitan en forma de archivo de texto comprimido con 26 columnas de números, separadas por espacios.
- Cada fila es una instantánea de los datos tomados durante un único ciclo operativo, cada columna es una variable diferente.
- Las columnas corresponden a:
 1. Número de unidad
 2. Tiempo (en ciclos)
 3. Operational Setting 1 (2 y 3)
 4. Sensor measurement 1 (hasta 26)



Ejemplo motor NASA

Objetivo

Desarrollar un modelo que sea capaz de:

1. Predecir la RUL (en ciclos) según las variables disponibles.
2. Clasificar un punto con la variable objetivo binaria “Últimos 15 Ciclos” (SI o NO).

Preguntas:

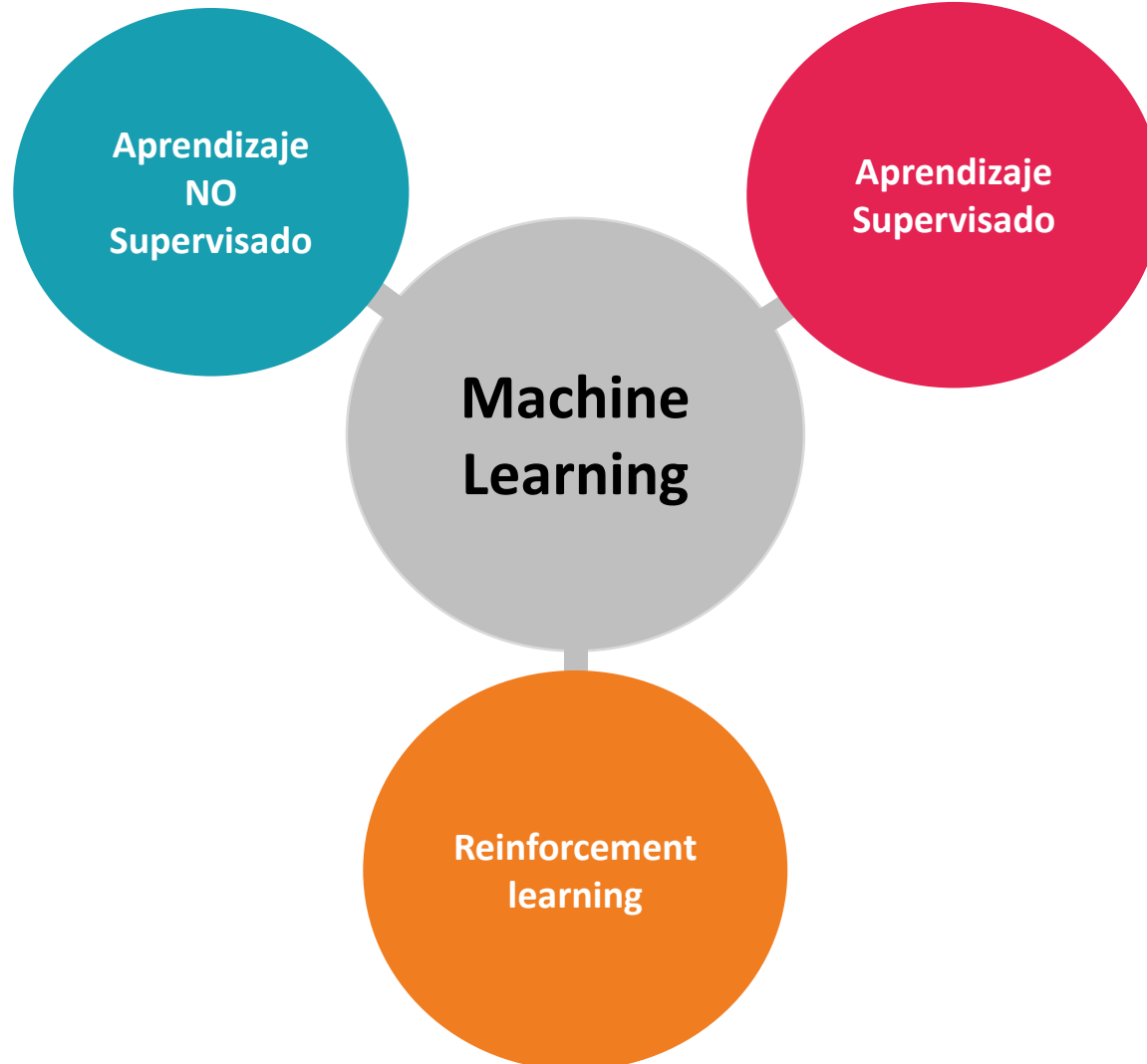
¿Qué algoritmos debemos usar?

¿Qué pasos deberemos seguir?

Vamos a hacer un breve repaso.

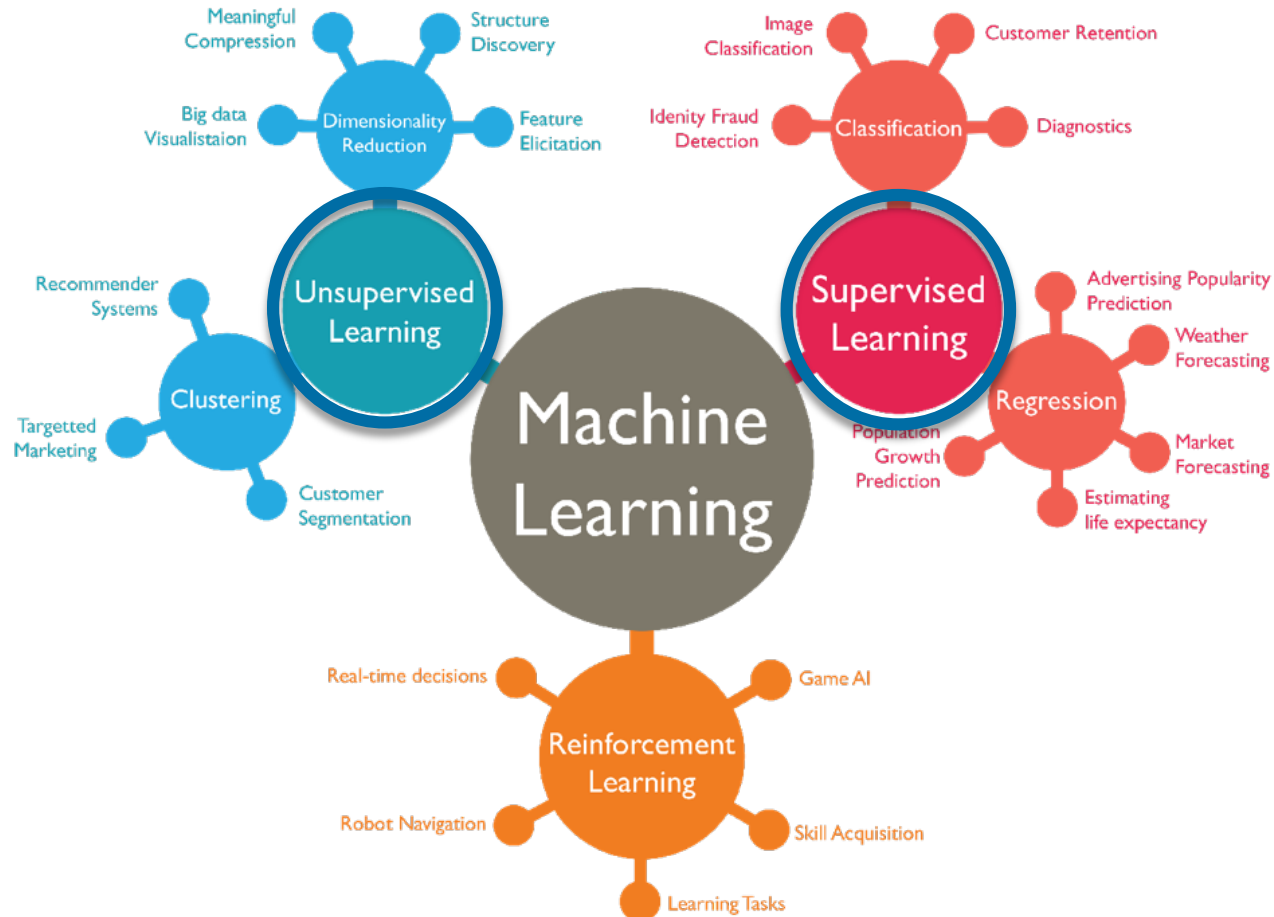


Tipos de Machine Learning





Tipos de Machine Learning

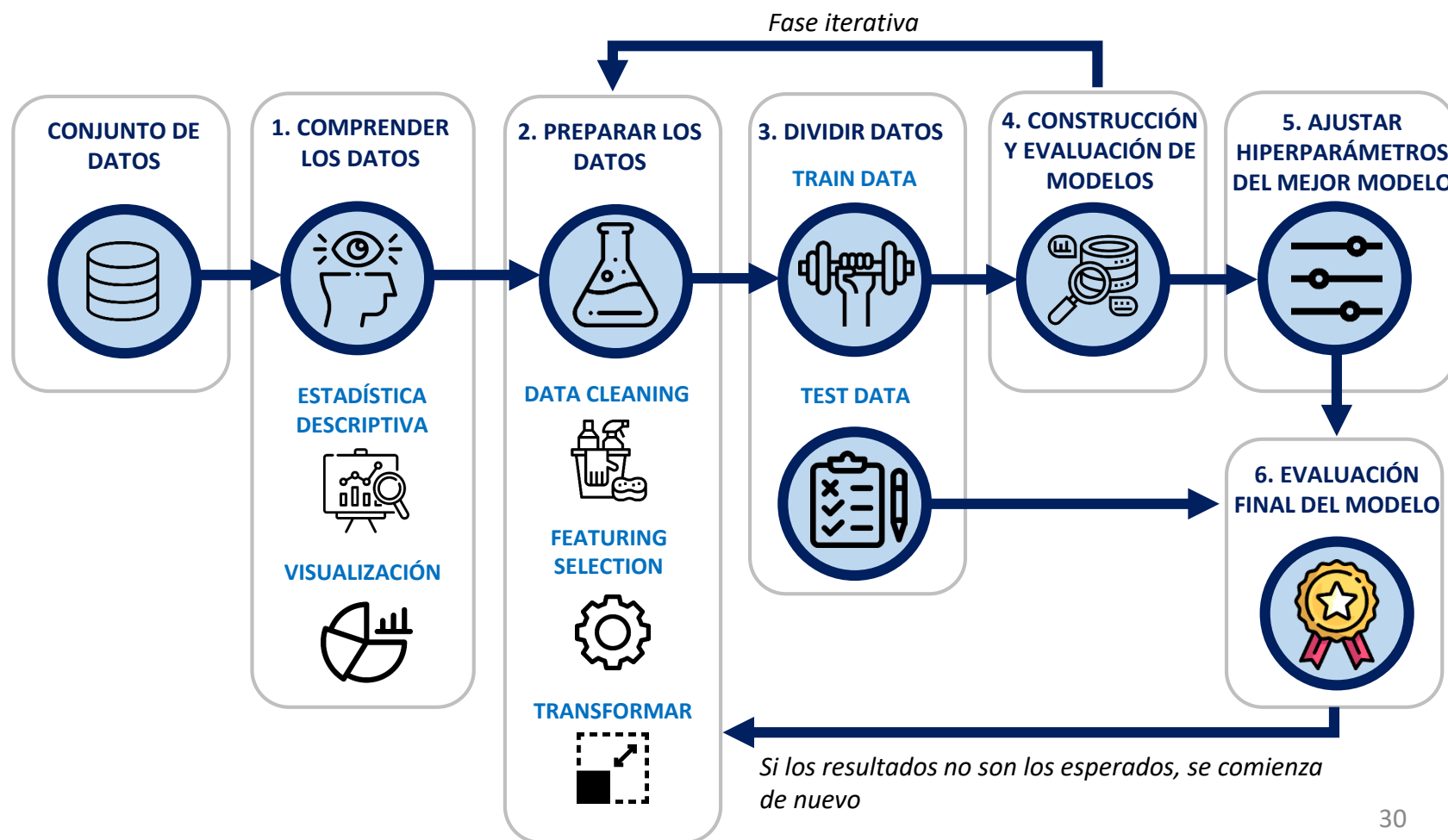


Source: Oracle AI and Data Science Blog.

<https://blogs.oracle.com/datascience/types-of-machine-learning-and-top-10-algorithms-everyone-should-know-v2>



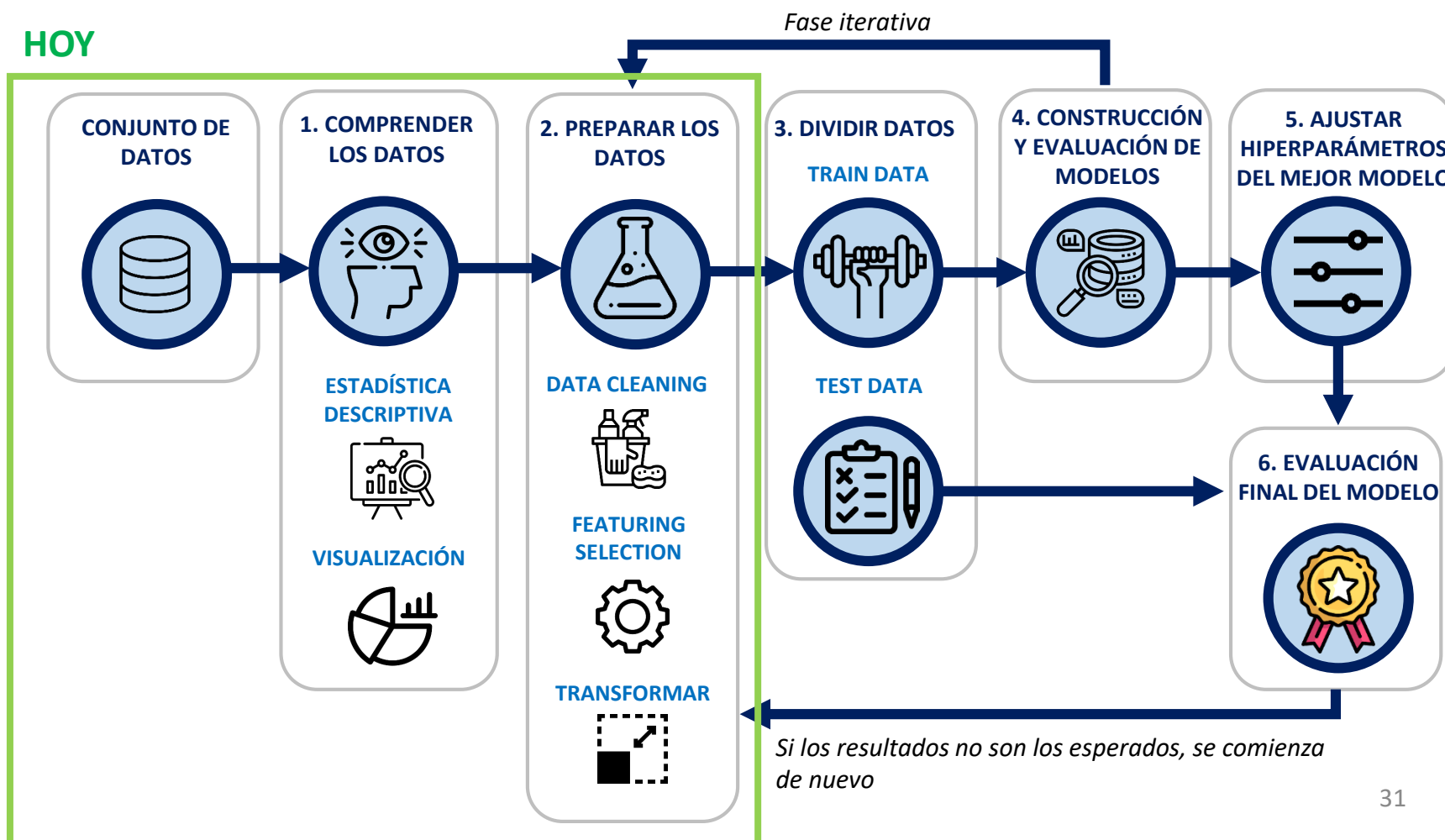
Crear un modelo de Machine Learning





Crear un modelo de Machine Learning

HOY





Objetivos de la sesión

- Tipos de mantenimiento.
- Introducción al Mantenimiento Predictivo (MP).
- Explicación ejemplo motor NASA.
- **Jupyter Notebook motor NASA.**