



*“Optimización del ciclo de vida en el buque de guerra:  
manufactura, mantenimiento y monitorización”*



Antonio Fernández Jove, Antonio Mackinlay y José M<sup>a</sup> Riola

Organizan:







UNIVERSIDADE DE VIGO



Universidad Carlos III de Madrid



Sainsel

# POLÍTICA INDUSTRIAL





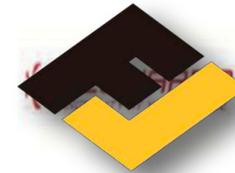
Creación de una Base Industrial y Tecnológica



HECHO EN COLOMBIA



Capacidad Industrial

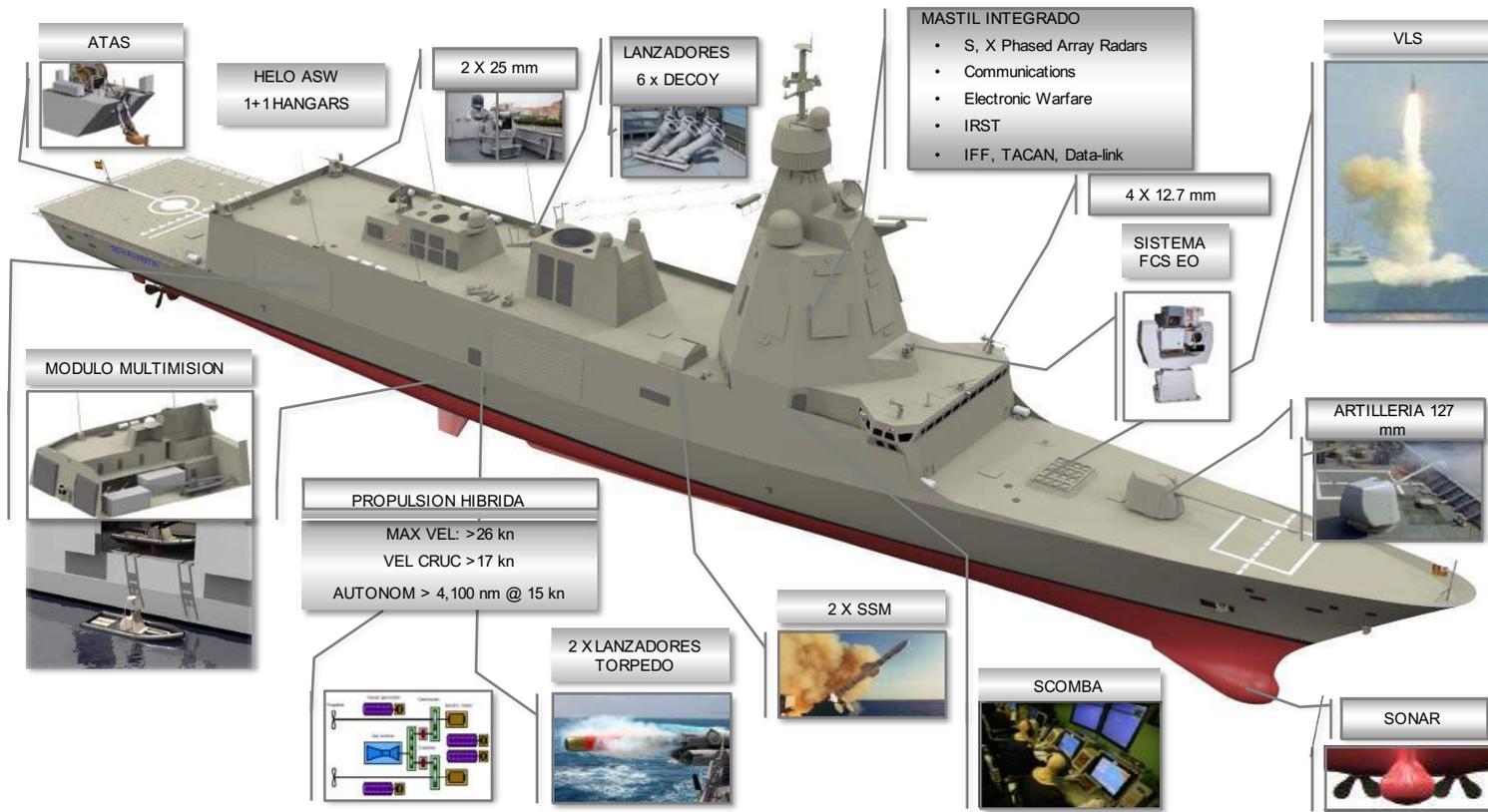


**Dimensiones Principales:**

Eslora 145 m  
Manga: 18.6 m  
Calado 4.95 m

**Habitabilidad:**

Dotación Reducida: 150 pax  
Adicional : aprox 38 pax





Colombia  
mar 2019



CONGRESO INTERNACIONAL DE  
**VI DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL**



**COPINAVAL**  
CARTAGENA DE INDIAS - COLOMBIA

**XXVI**

CONGRESO PANAMERICANO DE  
INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE  
MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA





Colombia  
mar 2019



CONGRESO INTERNACIONAL DE  
**VI DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL**



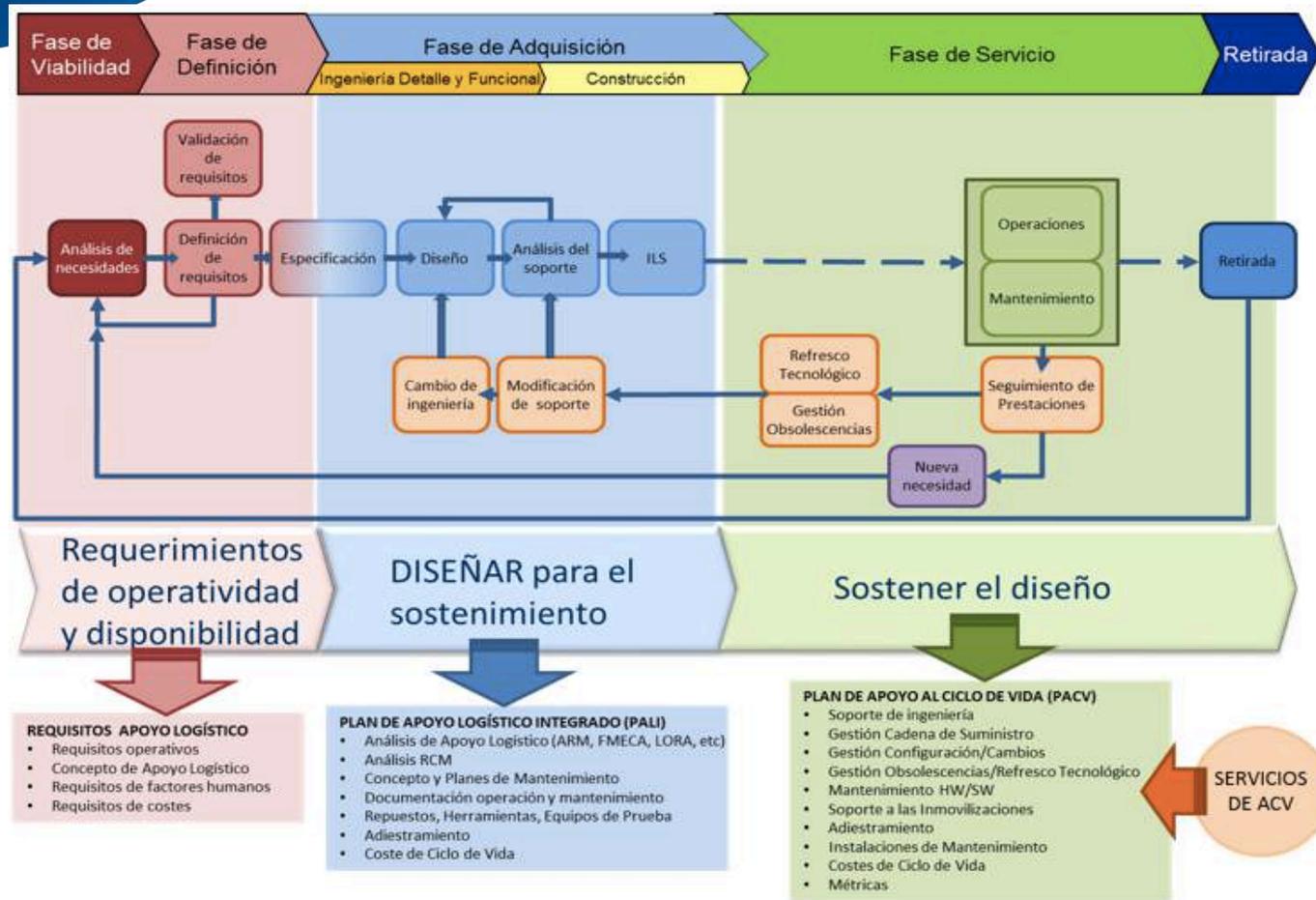
COPINAVAL  
CATEGORÍA DE INDIAS - COLOMBIA

**XXVI**  
CONGRESO PANAMERICANO DE  
INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE  
MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA

El buque de guerra es un sistema de armas complejo, que requiere una estrategia de apoyo a largo plazo (30-40 años)



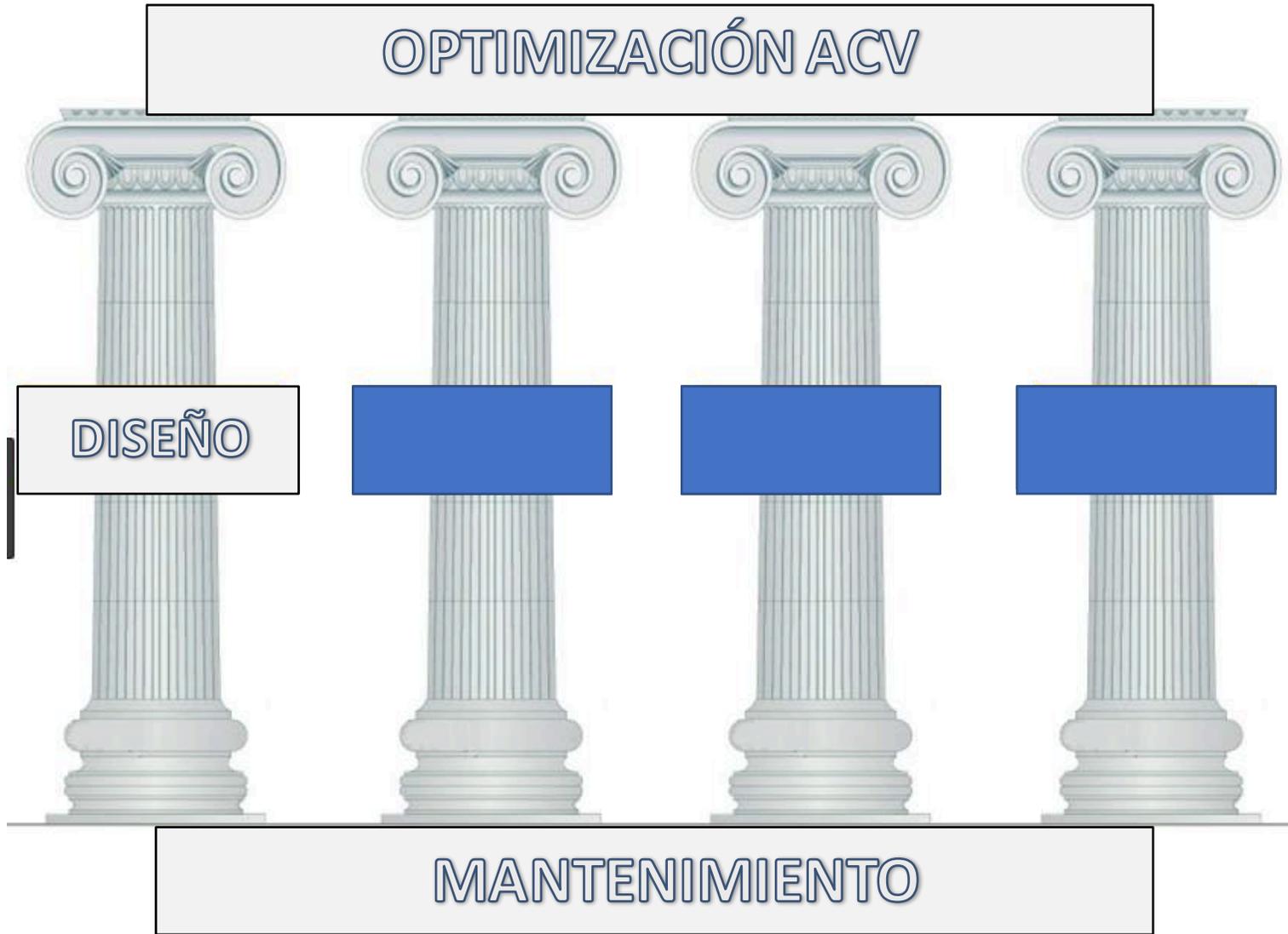
**El Apoyo Logístico debe comenzar desde las fases iniciales del Ciclo de Vida (CdeV)**



OPTIMIZACIÓN ACV

DISEÑO

MANTENIMIENTO





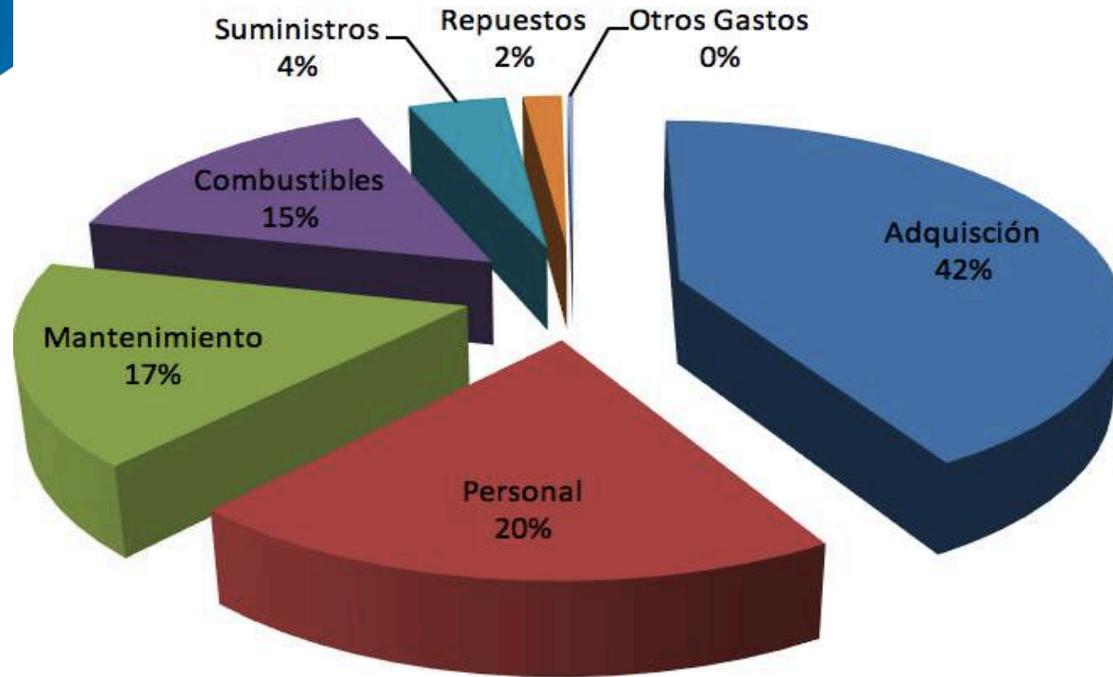
# Presupuesto Militar

Hubo un grueso recorte

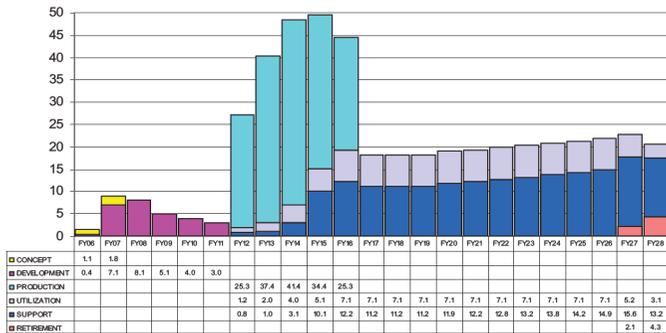




## Coste Total del Ciclo de Vida

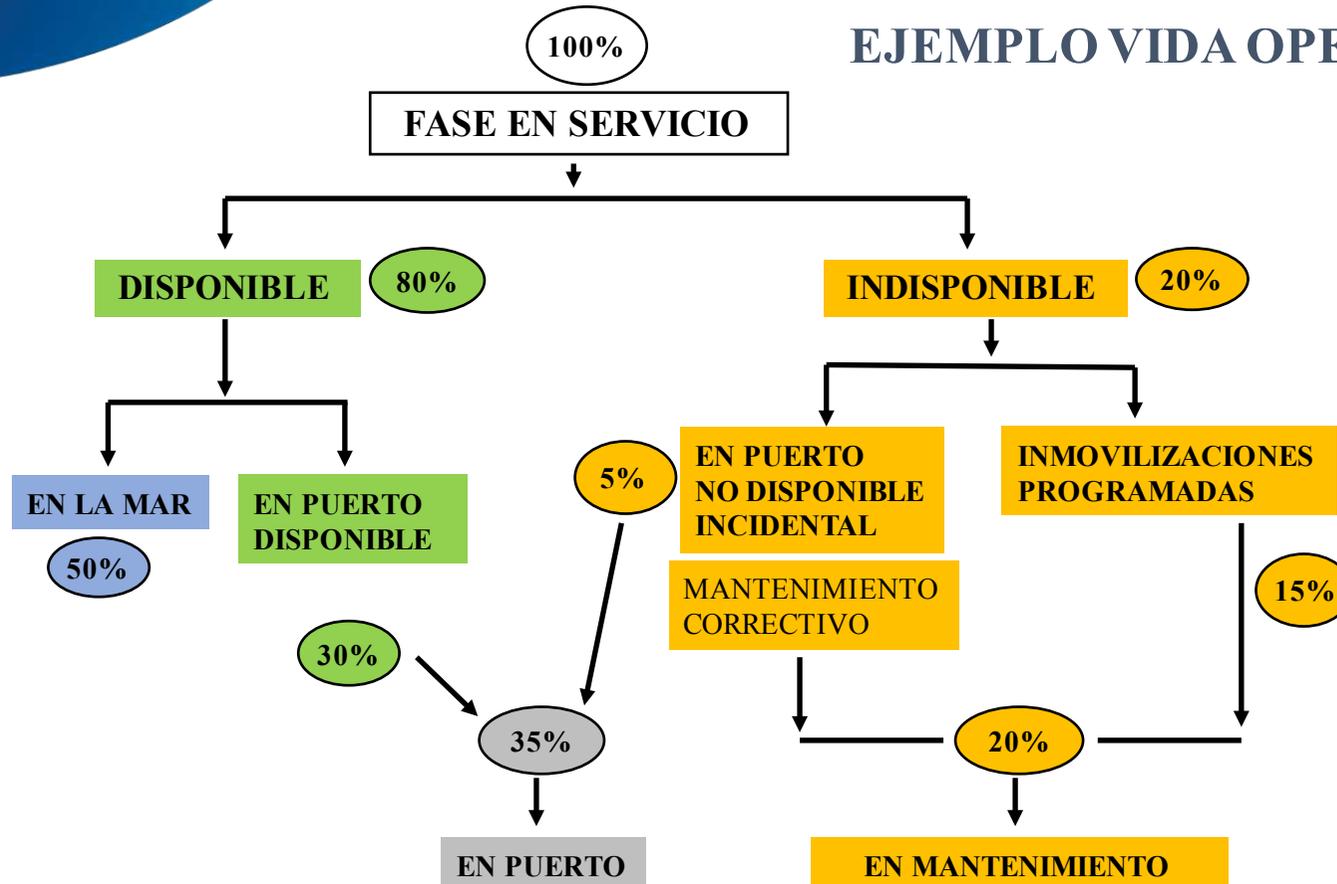


**XXVI**  
 CONGRESO PANAMERICANO DE  
 INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE  
 MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA



Ejemplo de Perfil Financiero del Ciclo de Vida

## EJEMPLO VIDA OPERATIVA:

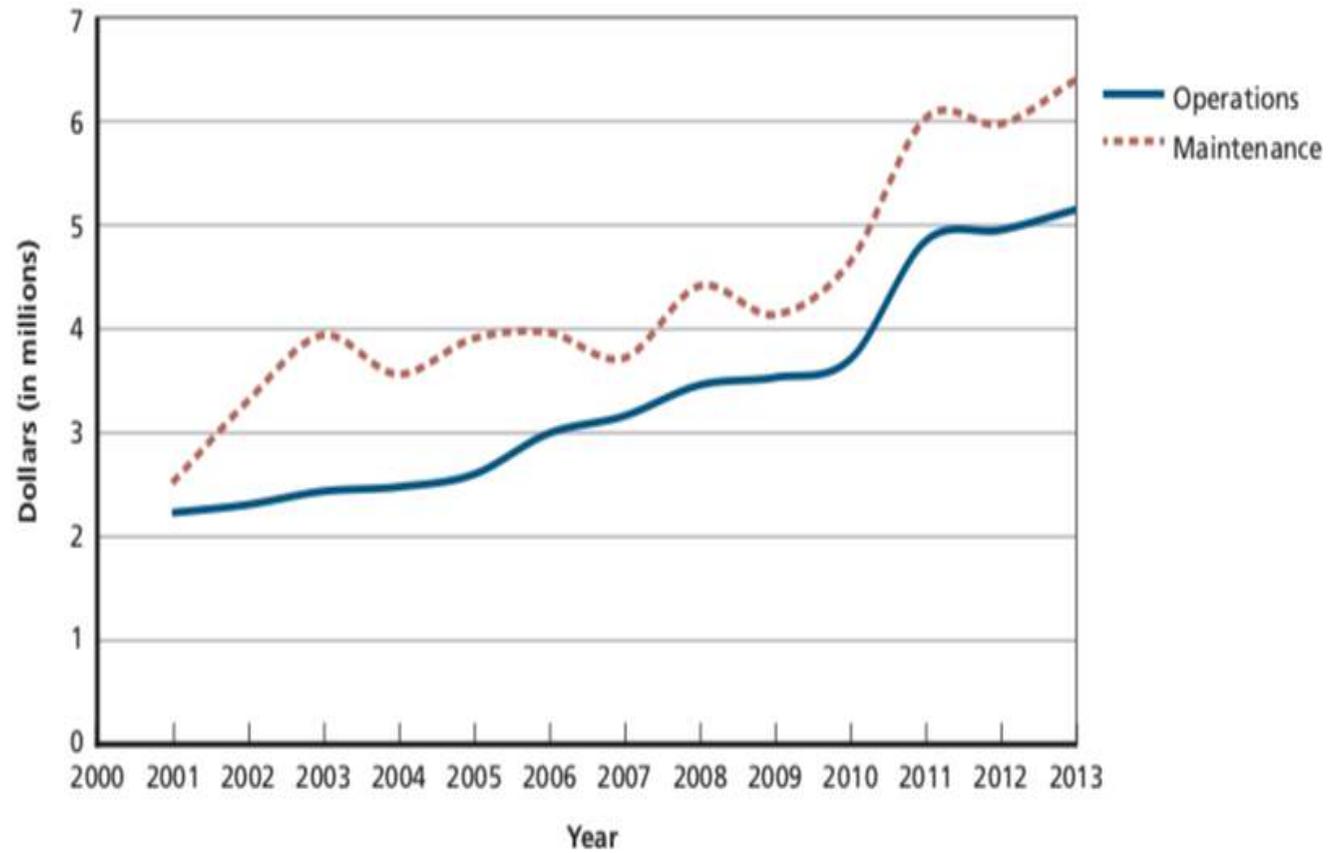


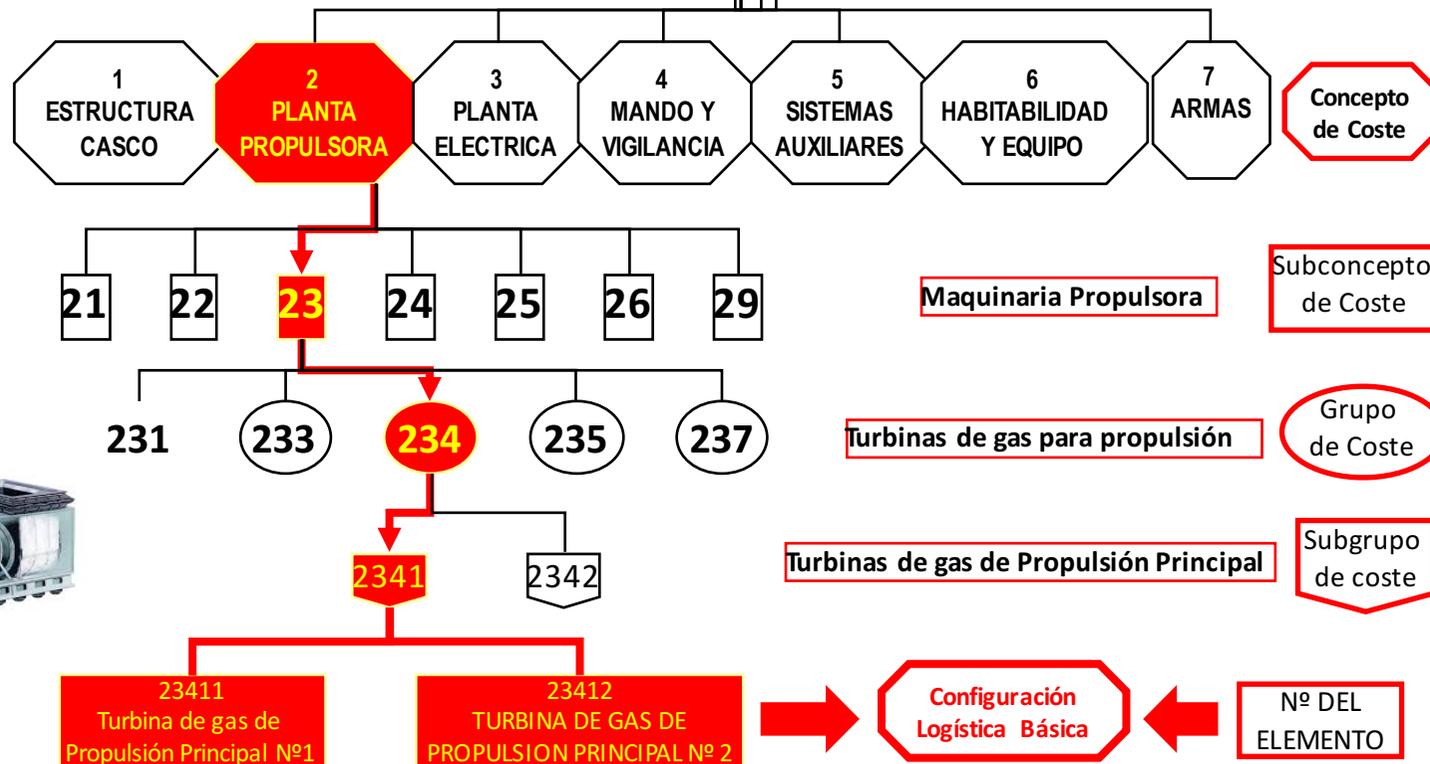
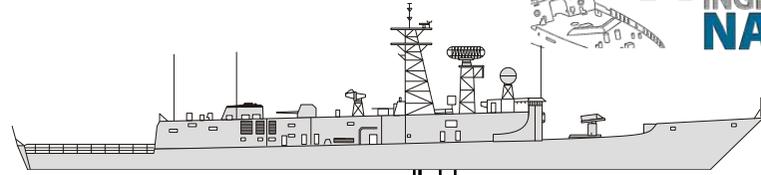


CONGRESO INTERNACIONAL DE  
**VI DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL**

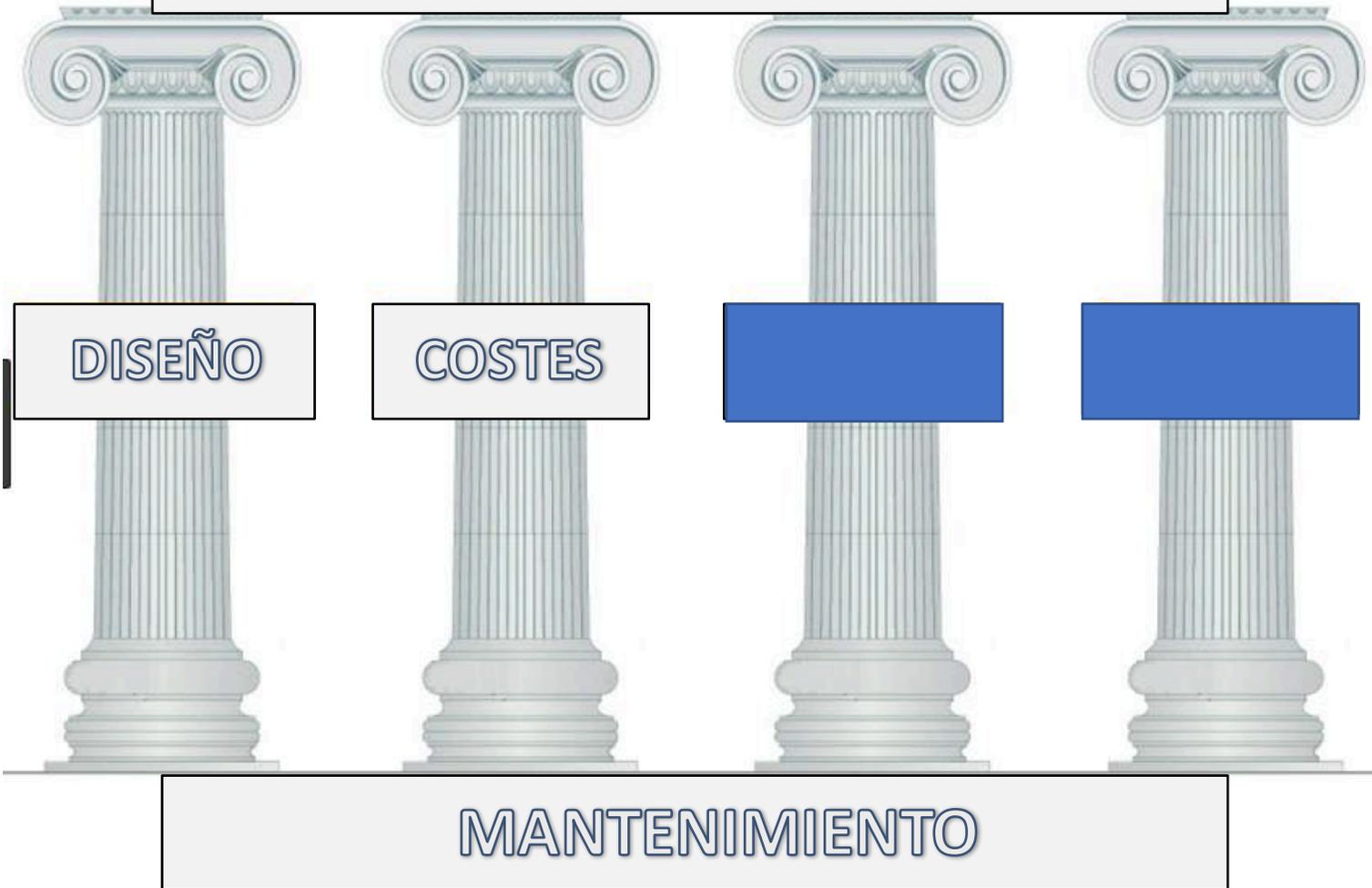


**XXVI**  
CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA





# OPTIMIZACIÓN ACV



## Digitalización en el sector naval





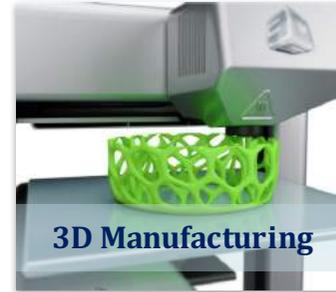
**Cloud**



**Cyber Security**



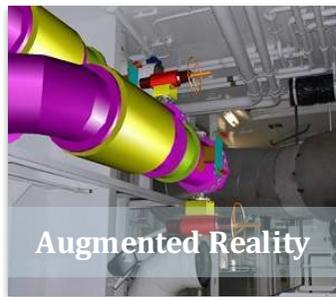
**Big Data**



**3D Manufacturing**



**IoT**



**Augmented Reality**



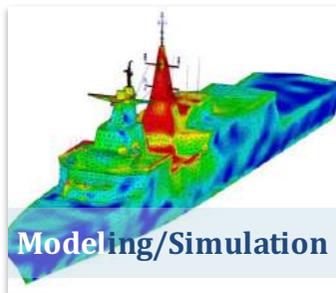
**UAVs**



**Robotics**



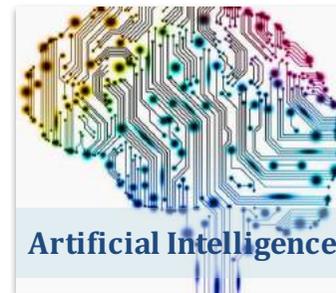
**New material**



**Modeling/Simulation**



**Digital Backbone**



**Artificial Intelligence**



Colombia  
mar 2019



CONGRESO INTERNACIONAL DE  
**VI DISEÑO E INGENIERÍA NAVAL**



**COPINAVAL**  
CATEDRA DE INDIAS - COLOMBIA

**XXVI**

CONGRESO PANAMERICANO DE  
INGENIERÍA NAVAL, TRANSPORTE  
MARÍTIMO E INGENIERÍA PORTUARIA

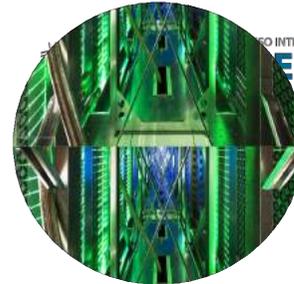




# Buque 4.0



CONECTADO



DIGITAL



AUTONOMO

**XVI**  
CONGRESO PANAMERICANO DE  
INGENIERIA DE LA NAVAL, TRANSPORTE  
E INGENIERIA PORTUARIA

**Integración de todos los buques a una red de la Flota “Armada 4.0”**

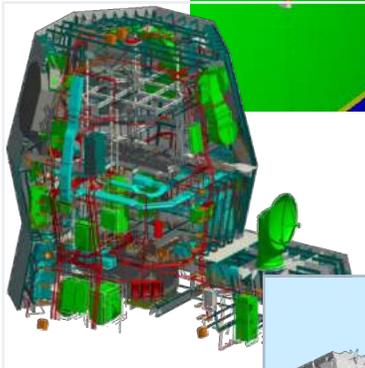
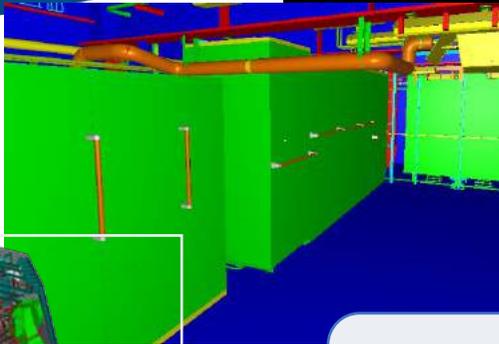
**Estudiar datos (Big Data) generados por el buque (navegación, combate...)**

**Control y mantenimiento remoto del buque. Monitorización desde tierra.  
Mantenimiento predictivo (CBM) y confiabilidad (RCM)**

**Mantenimiento a bordo con realidad aumentada**

**Buque autónomo – reducción de dotación**

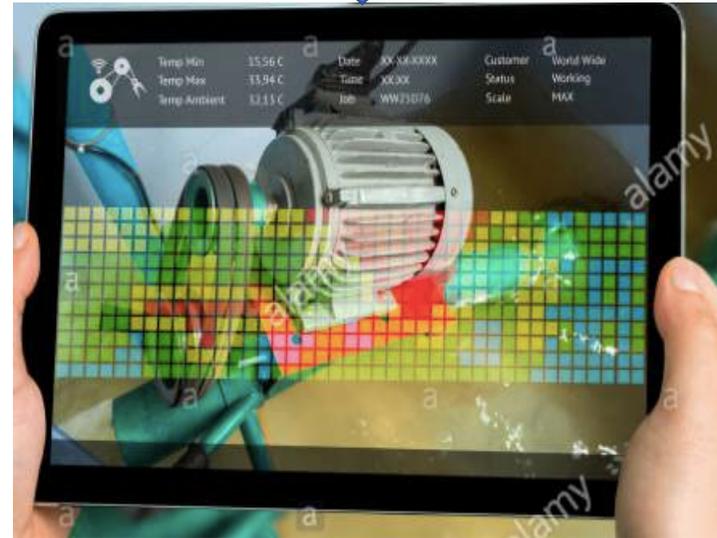
**Generación de repuestos a bordo - impresión 3D**



**El modelo 3D es la base de  
la maqueta/gemelo digital**



Logística



Logística



Industria auxiliar



## Industria auxiliar



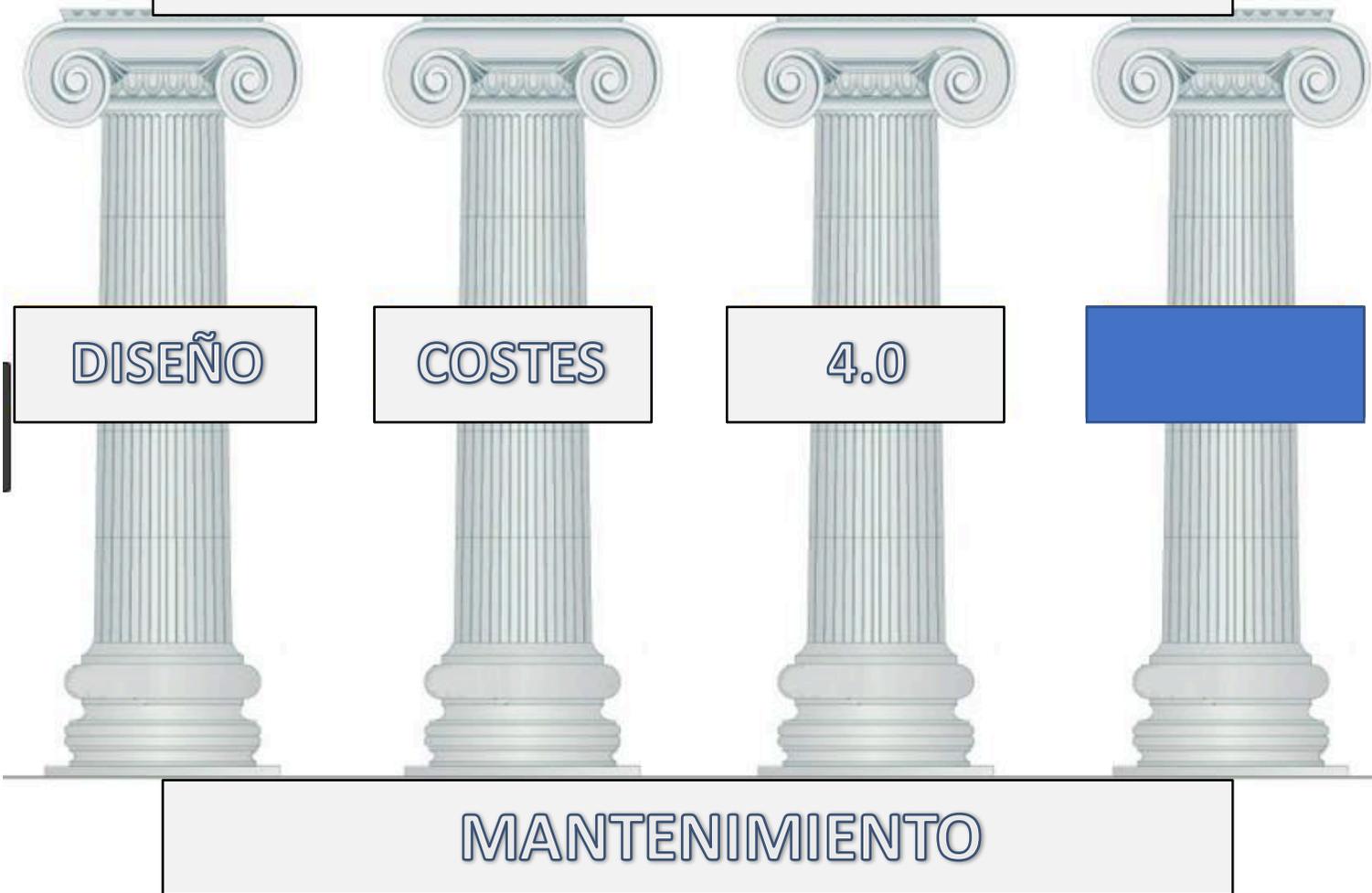
Personal formado en 4.0



**Nuevos Modelos de Negocio**



# OPTIMIZACIÓN ACV



DISEÑO

COSTES

4.0

MANTENIMIENTO

El **Apoyo Logístico Integrado (ILS)**, es “un conjunto de disciplinas técnicas que se aplican de manera coordinada e interrelacionadas durante el ciclo de vida de un sistema de armas para asegurar su Disponibilidad Operacional”.

El **Plan de Apoyo Logístico Integrado** define y regula la gestión, organización, programas, hitos y documentación a obtener de las tareas del Apoyo Logístico Integrado (ALI) que deben ser desarrolladas por la Armada o por el Contratista.





## ETAPAS PALI

### 1ª ETAPA: DISEÑO Y DESARROLLO

DEFINICIÓN de las necesidades de Apoyo Logístico



**PLANES PALI**

### 2ª ETAPA: CONSTRUCCIÓN

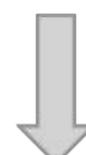
OBTENCIÓN del Apoyo Logístico



**ELEMENTOS PALI**

### 3ª ETAPA: SERVICIO

ACTUALIZACIÓN del Apoyo Logístico



**ALI**



## PLANES GENERALES

- Plan General de Ingeniería Logística
- Plan General de Gestión de la Configuración
- Plan General de Gestión del Apoyo Logístico Integrado

## PLANES PARCIALES

- Plan Parcial de Recursos Informáticos
- Plan Parcial de Mantenimiento
- Plan Parcial de Equipos de Prueba y Aparatos de medida
- Plan Parcial de Aprovisionamiento
- ...

## PLAN PARCIAL DE MANTENIMIENTO





Cada 15.000 km  
(preventivo)

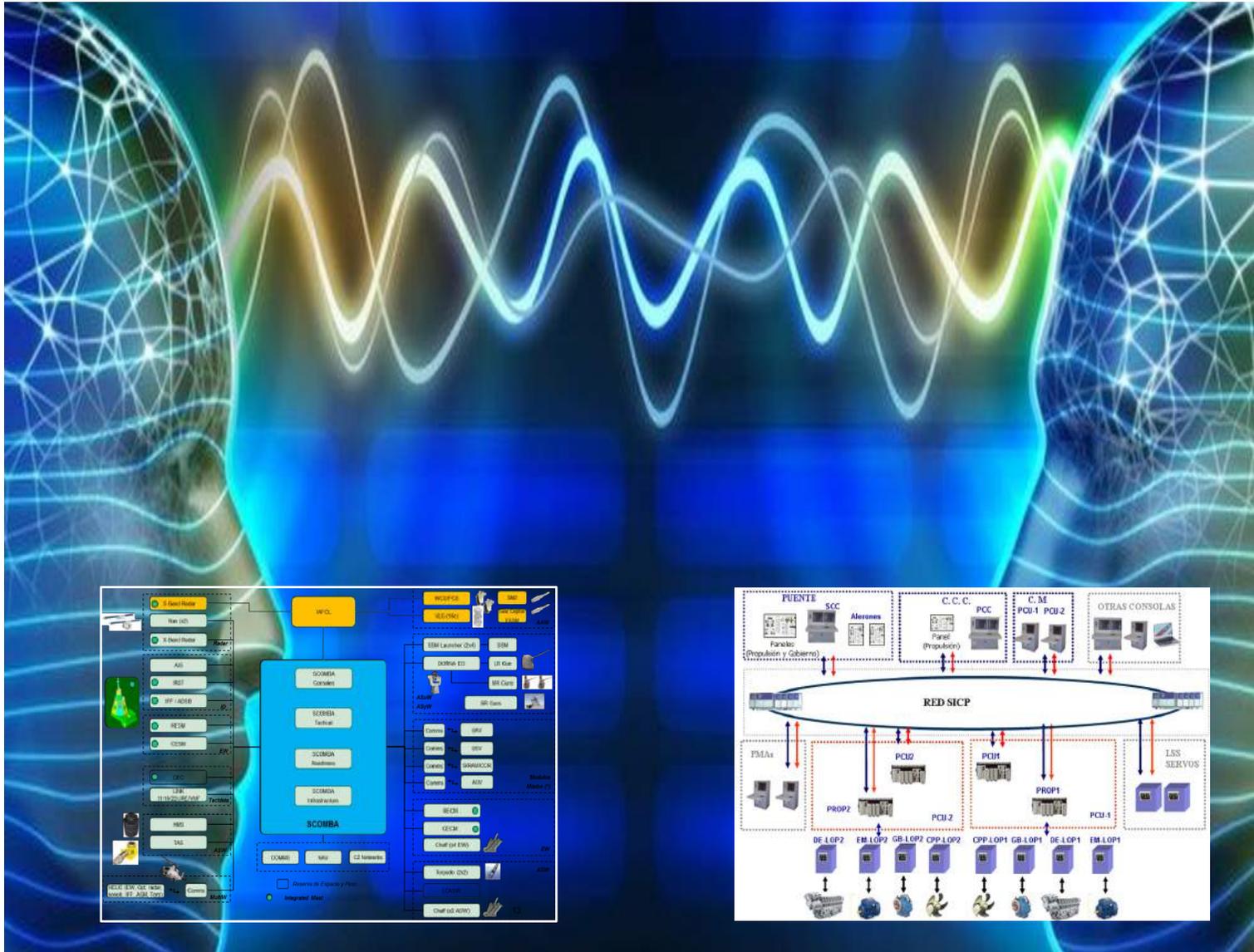
Hasta  
romper

Inspección  
continua  
(sensor  
RCM)

Inspección  
varilla  
(CBM)

**Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:** metodología para determinar las actividades de mantenimiento (Predictivo, Preventivo, Correctivo...)







Señales dinámicas

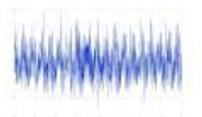
Clasificación

Parametrización

Reglas de diagnóstico

Machine Learning

Visualización



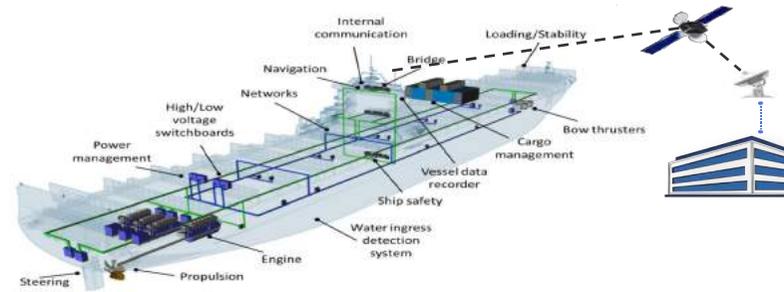
Espectros y ondas

- Estados de máquina
- Influencia de máquinas adyacentes
- Condiciones de navegación
- Rangos de RPM y Carga

Parámetro	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Velocidad	km/h	10.0	rpm	1500
Carga	ton	100	rpm	1500
Temperatura	°C	50	rpm	1500
Presión	bar	10	rpm	1500
Acústico	dB	100	rpm	1500
Termografía	°C	50	rpm	1500
Presión	bar	10	rpm	1500

- Datos extraídos de la señal dinámica
- Datos de proceso



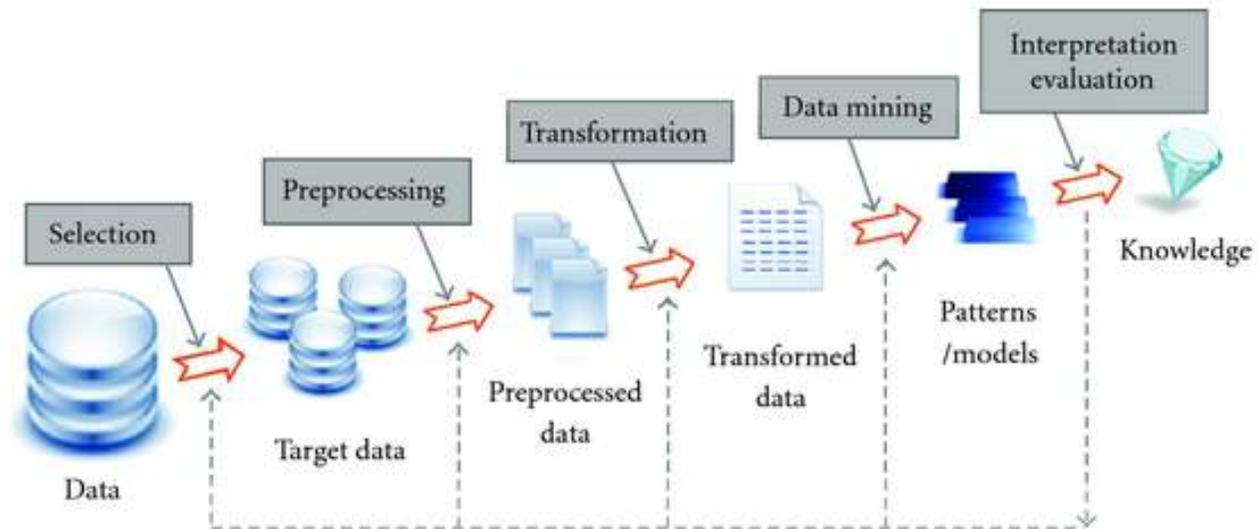


## ‘Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada’

- Captura a bordo de datos en 32 buques
- >30.000 señales por buque
- Los datos se envían por satélite o LAN



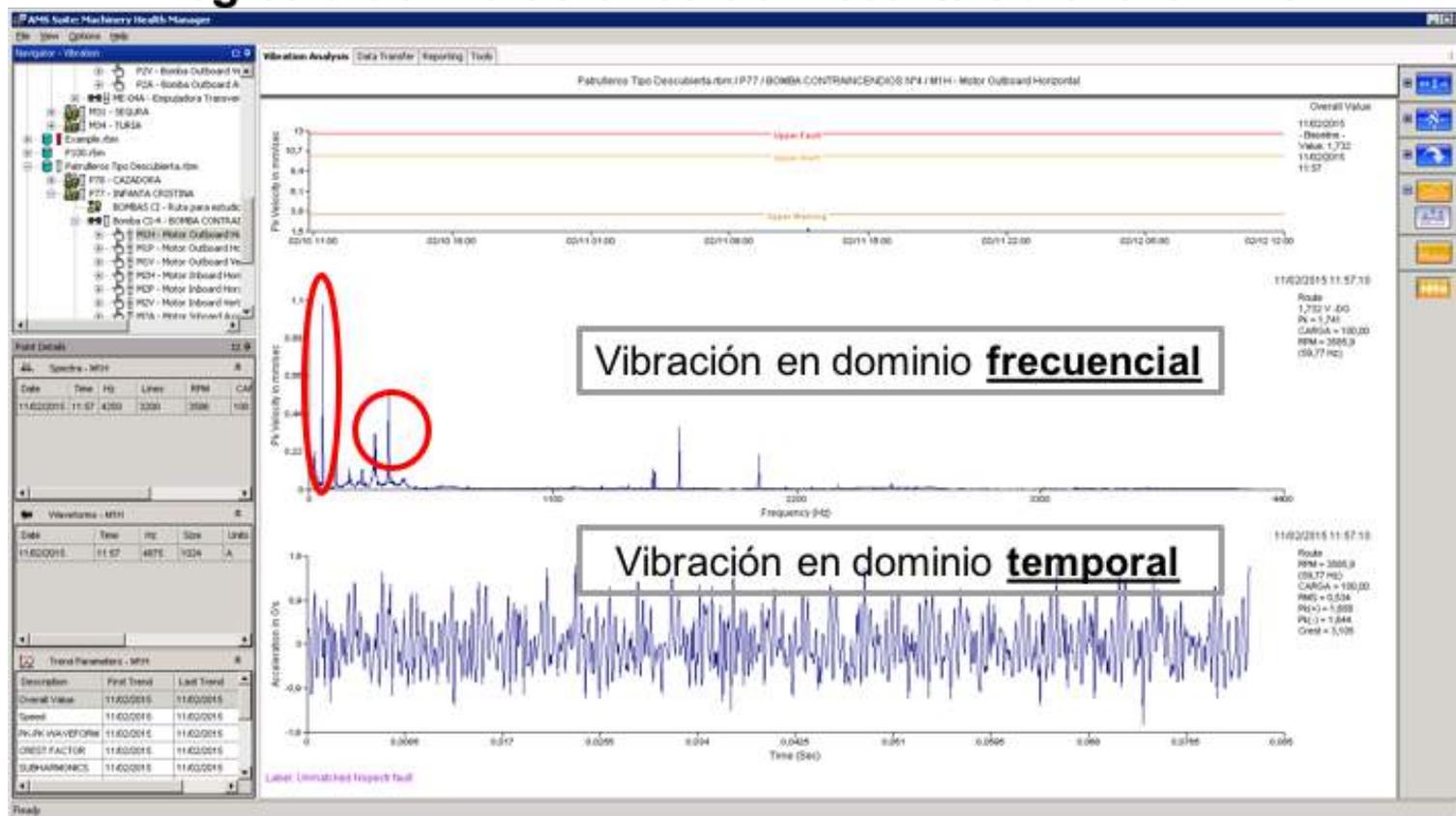
- El volumen de **datos que genera una flota tiene las 4 Vs** que definen a un sistema *Big Data*: **Volumen, Velocidad, Variedad y Veracidad**
- Capacidad de **detectar patrones de comportamiento** y hacer **regresión de parámetros** clave en el mantenimiento sobre equipos embarcados
- **OBJETIVO → GENERAR VALOR A PARTIR DE DATOS**



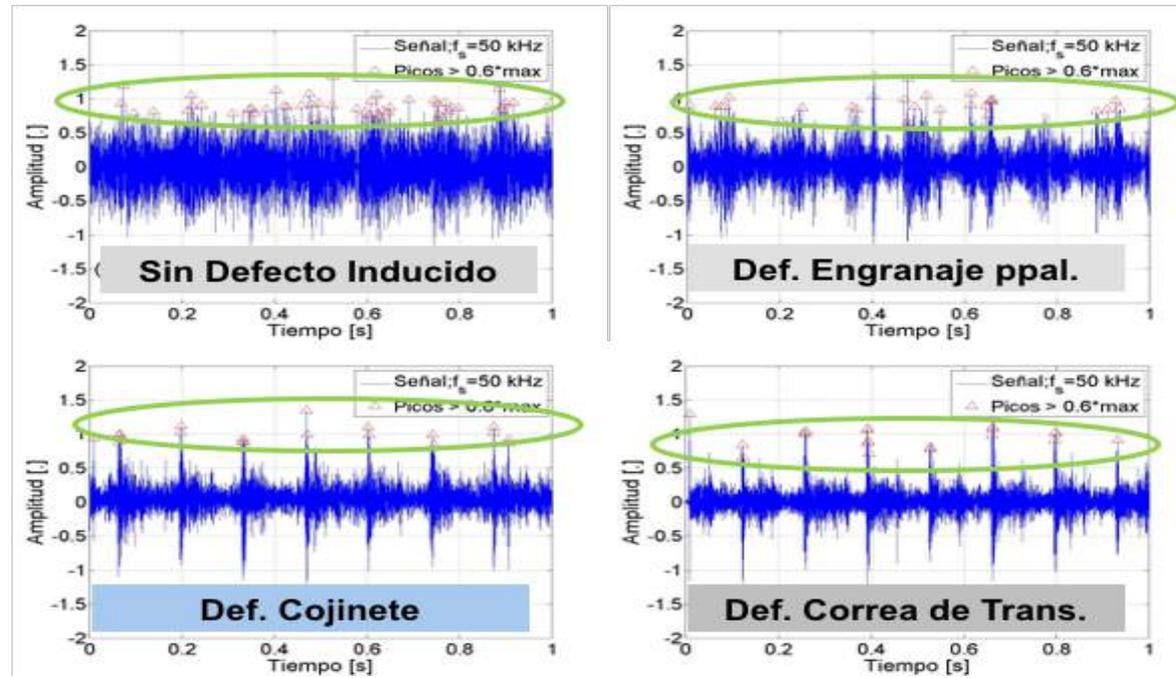
900 medidas de vibraciones de un motor con distintos defectos inducidos (4 estados) se especifican parámetros mecánicos que definen la vibración

Frecuencia de muestreo  $f_s=50$  kHz; tiempo de medida  $t=1$  s

## Registro de vibraciones de motor // Software AMS

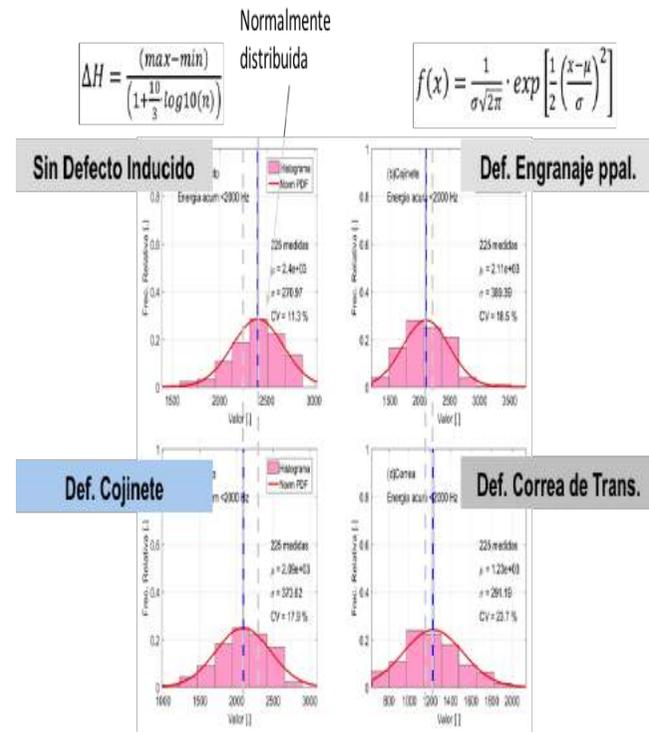
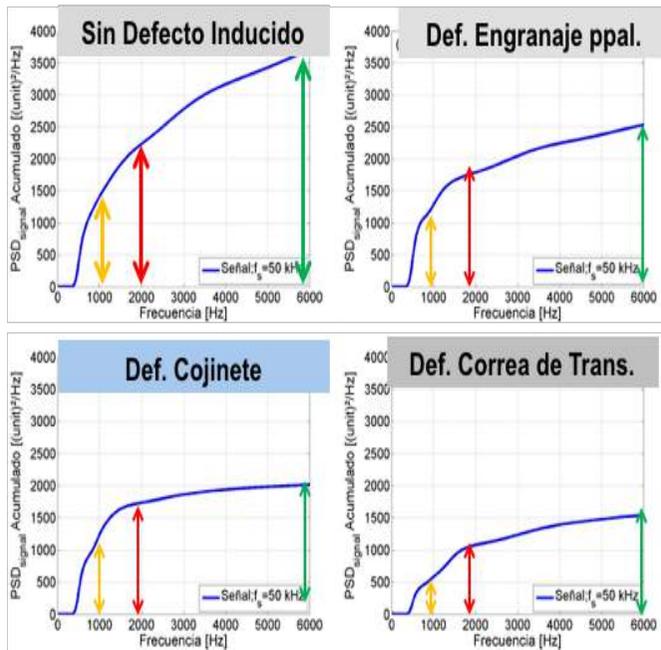


- **4 Estados** de motor considerados. **225 medidas** por cada uno



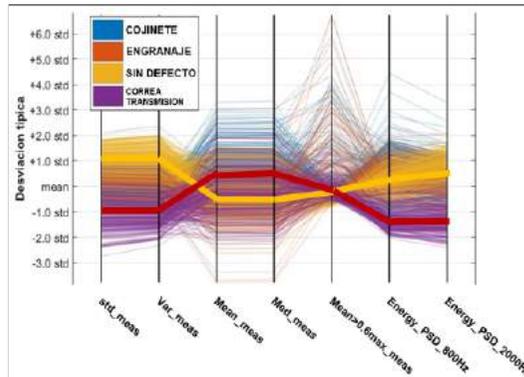
- Energía acumulada por frecuencia excitada

Densidad espectral de energía  $PSD = \frac{2 \cdot |FFT(x)|^2}{L}$



Parámetros de señal		
Dominio Temporal	1	Máximo del vector meas. (max)
	2	Desv. típica del vector meas. ( $\sigma$ )
	3	Varianza del vector meas. ( $\sigma^2$ )
	4	Media del vector meas.
	5	Mediana del vector meas.
	6	Desv. típica de los picos meas. $>0.6 \cdot \max$
	7	Media de los picos meas. $>0.6 \cdot \max$
Dominio Frecuencial	8	Valor del pico en PSD para $0 < f < 450$ Hz
	9	Frec. del pico en PSD para $0 < f < 450$ Hz
	10	Valor del pico en PSD para $450 < f < 500$ Hz
	11	Frec. del pico en PSD para $450 < f < 500$ Hz
	12	Valor del pico en PSD para $500 < f < 600$ Hz
	13	Frec. del pico en PSD para $500 < f < 600$ Hz
	14	Valor del pico en PSD para $800 < f < 1000$ Hz
	15	Frec. del pico en PSD para $800 < f < 1000$ Hz
	16	Energía desarrollada en PSD hasta $f=500$ Hz
	17	Energía desarrollada en PSD hasta $f=800$ Hz
	18	Energía desarrollada en PSD hasta $f=2000$ Hz

Distribución de los 900 para 7 de los 18 parámetros planteados

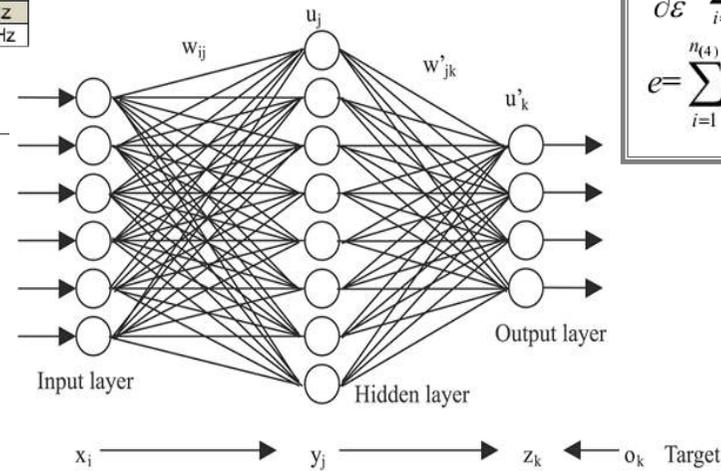


$$\frac{\partial y_i}{\partial \omega_{jk}^{(1)}} = x_j a_k^{(2)} (1 - a_k^{(2)}) \cdot \left[ \sum_{p=1}^{n_3} \omega_{kp}^{(2)} a_p^{(2)} (1 - a_p^{(3)}) \omega_{pi}^{(3)} \right] \cdot y_i (1 - y_i)$$

$$\frac{\partial y_i}{\partial u_i^{(2)}} = a_k^{(3)} (1 - a_k^{(3)}) \omega_k^{(3)} y_i (1 - y_i)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \varepsilon} = \sum_{i=1}^{n(4)} \frac{\partial e}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial \varepsilon}$$

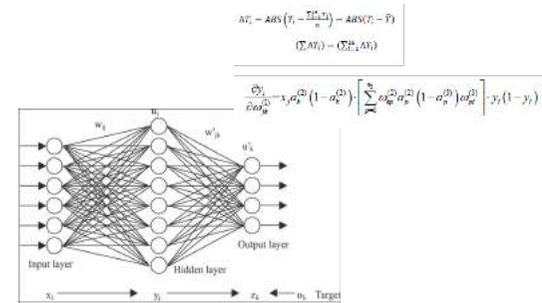
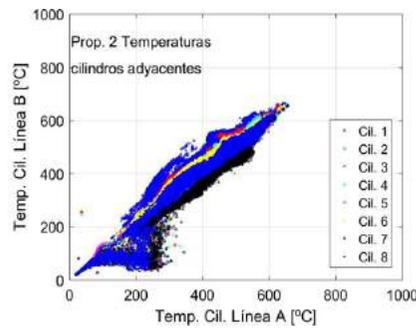
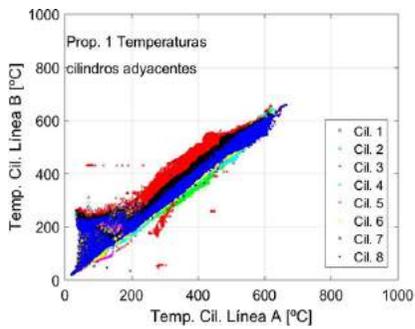
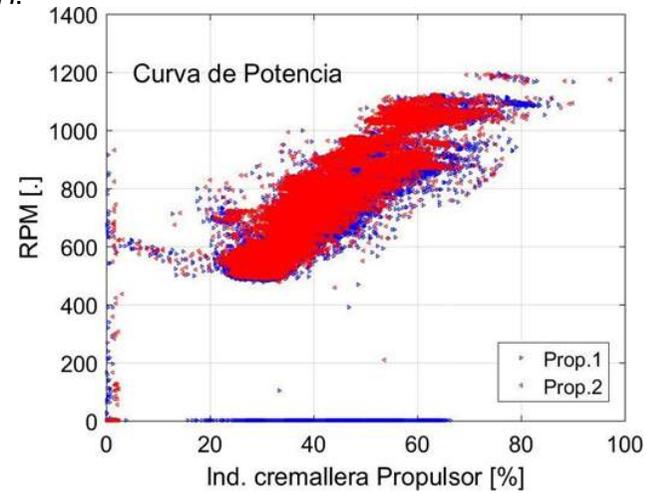
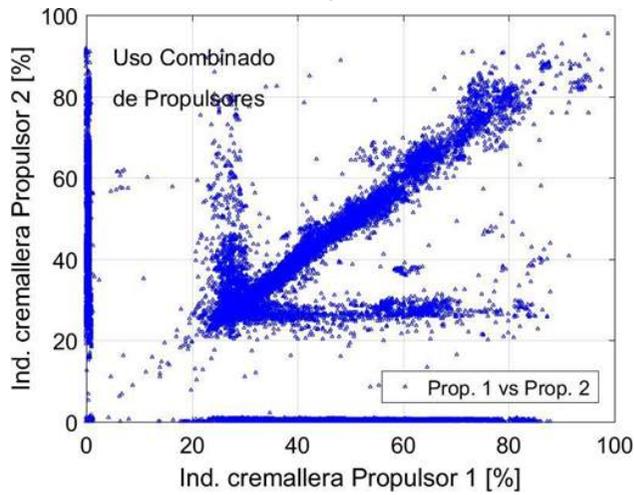
$$e = \sum_{i=1}^{n(4)} \frac{1}{2} (s_i - y_i)^2$$



- Ya sea de clasificación o regresión, el objetivo es iterar valores de pesos que conectan neuronas adyacentes para producir el menor error cuadrático (*MSE*) posible a la salida.
- Tres etapas datos: Entrenamiento (70%) con datos sin defecto y con defectos, Validación (15%) y Test (15%)

✓ **Ejemplo temperatura cilindros motor:**

- ✓ el Índice de Cremallera (*IC*)
- ✓ las revoluciones por minuto del propulsor (*RPM*)
- ✓ la temperatura media de las dos líneas de cilindros ( $\bar{T}$ )
- ✓ la temperatura de gases de escape por cilindro  $T_i$ .



# OPTIMIZACIÓN ACV

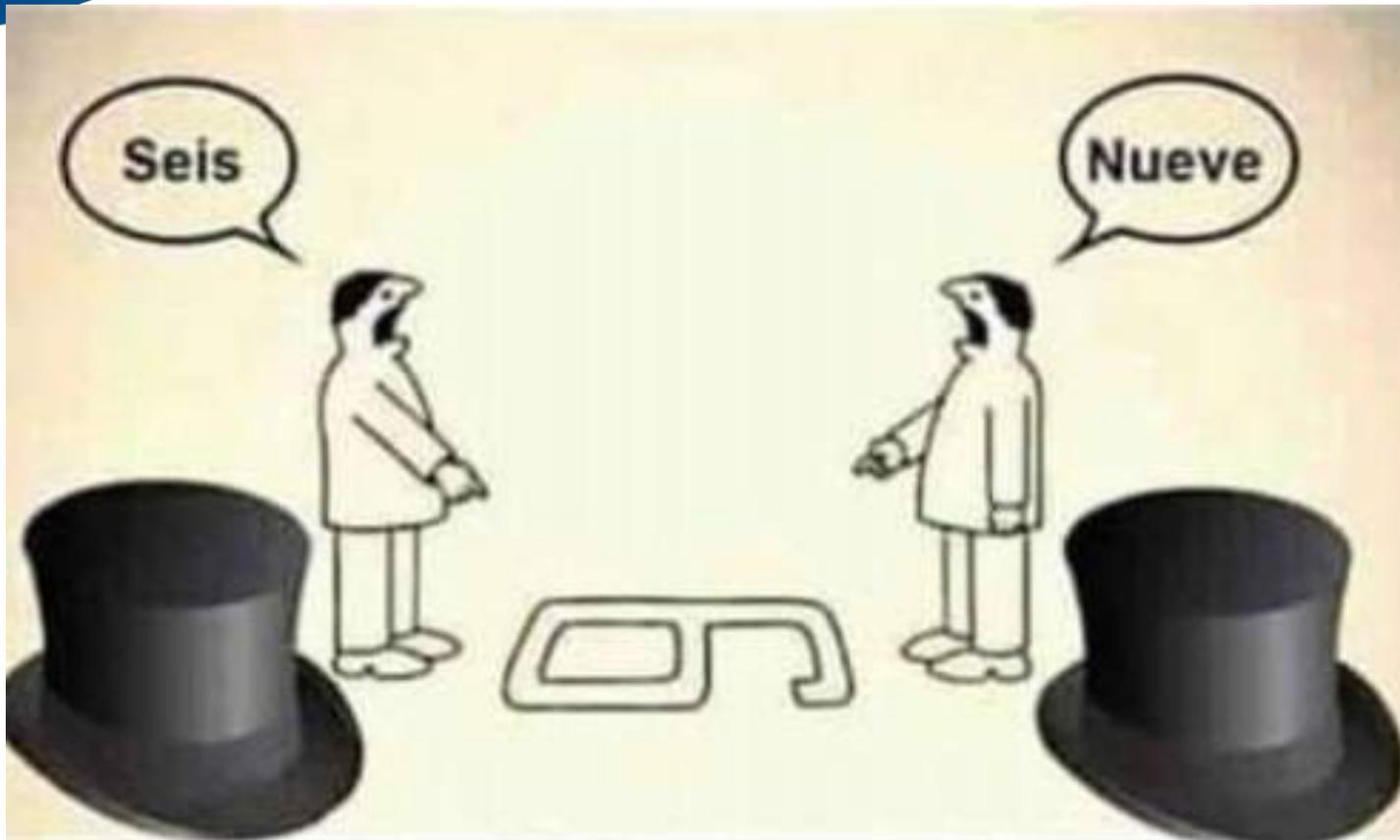
DISEÑO

COSTES

4.0

ANÁL. DIST







Marzo 13 al 15, 2019

Cartagena de Indias, Colombia  
Centro de Convenciones Julio Cesar Turbay Ayala



[josemaria.riola@upm.es](mailto:josemaria.riola@upm.es)

